



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Marília Dantas da Silva

ANÁLISE DE ESTACAS PARCIALMENTE EMBUTIDAS EM ROCHA

Recife
2023

MARÍLIA DANTAS DA SILVA

ANÁLISE DE ESTACAS PARCIALMENTE EMBUTIDAS EM ROCHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.

Coorientadora: Profa. Dra. Bernadete Ragoni Danziger.

Recife

2023

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

S586a Silva, Marília Dantas da.
Análise de estacas parcialmente embutidas em rocha / Marília Dantas da Silva. – 2023.
490 f.: il., fig., tab., abrev. e siglas.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho.
Coorientadora: Profa. Dra. Bernadete Ragoni Danziger.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2023.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia civil. 2. Estaca parcialmente embutida em rocha. 3. Capacidade de carga. 4. Ensaio de carregamento dinâmico e estático. I. Coutinho, Roberto Quental (Orientador). II. Danziger, Bernadete Ragoni (Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2023-203

MARÍLIA DANTAS DA SILVA

ANÁLISE DE ESTACAS PARCIALMENTE EMBUTIDAS EM ROCHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Doutora em Engenharia Civil. Área de concentração: Geotecnia.

Aprovada em: 27/02/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roberto Quental Coutinho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Bernadete Ragoni Danziger (Coorientadora)
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Robson Ribeiro Lima (Examinador interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Faíçal Massad (Examinador Externo)
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Francisco de Rezende Lopes (Examinador externo)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Paulo Gustavo Cavalcante Lins (Examinador externo)
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Wilson Cartaxo Soares (Examinador externo)
Centro Universitário de João Pessoa

Dedico esse título a TODAS as MULHERES, Heroínas de Tejucupapo, em especial a minha mãe e minha irmã. Somos RESISTÊNCIA!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me agracia com tantas oportunidades e por ter me dado força e coragem para chegar até aqui. À minha mãe Maria da Hora agradeço o exemplo de garra e determinação, por estar sempre ao meu lado me apoiando em tudo que preciso. Ao meu pai Eronildo Dantas (in memoriam) por ter me ensinado a sonhar e acreditar em mim, desde sempre. Aos meus irmãos Antônio e Marili Dantas por terem me incentivado e apoiado, sendo meu abrigo seguro. Às queridas Dona Zitinha e minha avó Maria agradeço por todo amor. A Paulo Henrique agradeço por toda paciência, convivência e dias mais leves e felizes. Ao prof. Dr. Roberto Coutinho pela orientação, incentivo, convívio e cada gesto de confiança recebido por todos esses anos. À profa. Dra. Bernadete Danziger pela orientação, dedicação, amizade e confiança. Professores, meus sinceros agradecimentos! À Universidade Federal de Pernambuco e todo seu corpo docente e administrativo, por todos os aprendizados e oportunidades. À banca examinadora, pelas contribuições e disponibilidade. Aos amigos que me inspiraram e me ajudaram a chegar até aqui. À empresa GEOMEC pela disponibilização dos dados. Enfim, pelo privilégio do convívio com todos que acima citei e aqueles que de alguma forma contribuíram... minha gratidão.

RESUMO

No dimensionamento de estacas parcialmente embutidas em rocha, os principais fatores que influenciam a resistência e deformabilidade da rocha e a transmissão de cargas da estaca para a rocha são de extrema relevância para o comportamento das estacas. Embora os métodos empíricos sejam úteis para elaboração de projetos, eles foram desenvolvidos a partir de conjuntos de dados específicos e limitados, apresentando diferenças nas condições geológicas, métodos de perfuração das estacas e outras características. Esse tipo de fundação, mesmo sendo frequentemente utilizado no Brasil, ainda é um tema de pesquisa pouco estudado. Este trabalho de pesquisa apresenta um caso de estacas raiz parcialmente embutidas em rocha localizado na Zona Oeste da Região metropolitana do Recife, na cidade de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil. O maciço rochoso é constituído de depósitos antigos, formados principalmente por granitos de diversas composições, gnaisses e xistos, intensamente deformados por diversos processos tectônicos sobrepostos. Perfurações rotativas e percussivas identificaram o que foi considerado “topo rochoso” em profundidades que variam da superfície a 12,70 metros, sendo que os primeiros metros perfurados em rocha são sempre descritos como sendo de baixa qualidade, apresentando baixa recuperação, alteração acentuada e fraturamento intenso. Os resultados de resistência a compressão foram bastantes variáveis, no intervalo de 12,3 até 121,4 MPa, indicando que tais valores devem ser considerados com muito cuidado e devem incluir outros parâmetros principais da rocha na análise, como as descontinuidades do maciço rochoso. Alguns ensaios de laboratório foram realizados com o propósito de caracterizar, classificar o maciço rochoso e estimar a capacidade de carga das estacas, utilizando os resultados de resistência a compressão uniaxial da rocha intacta, principal parâmetro para o dimensionamento. Os resultados de 99 ensaios de carregamento dinâmico permitiram a comparação entre a resistência mobilizada no fuste e na ponta, com a capacidade de carga e suas parcelas estimadas a partir dos principais métodos conhecidos na literatura (ROSEMBERG & JOURNEAUX (1976), HORVATH (1978), MEIGH & WOLSKI (1979), POULOS & DAVIS (1980), CABRAL & ANTUNES (2000), ROWE & ARMITAGE (1987), AASHTO (1996), ZHANG & EINSTEIN (1998), ESPAÑA (2011) e XU et al. (2020)). Na previsão de capacidade de carga também foi considerada a resistência

lateral devido à penetração da estaca no solo residual. Como a ruptura não foi atingida nos ensaios dinâmicos, a capacidade estimada foi muito superior à resistência mobilizada. A resistência lateral suportada pelo solo ficou entre 28% e 35% da capacidade total mobilizada. Os métodos de cálculo España (2011), Cabral & Antunes (2000) e AASHTO (1996) alcançaram os resultados mais consistentes em relação à capacidade mobilizada obtida nos testes de carregamento. Numa composição realizada a partir dos diferentes métodos de cálculo, os melhores resultados encontrados foram obtidos através da resistência lateral do solo estimada por Aoki-Velloso (1975) associada à resistência da rocha estimada por España (2011), seguida por Cabral & Antunes (2000) e AASHTO (1996). Os cinco ensaios de carregamento estáticos indicaram carga de ruptura convencionais (extrapoladas) maiores que a resistência mobilizada nos 99 ensaios de carregamento dinâmico. Os ensaios estáticos e alguns dos ensaios dinâmicos foram também analisados pelo método de interpretação de Massad (1992, 1993), com modelo concebido e aplicado por Massad em diversas outras publicações. Este modelo matemático permite a separação das parcelas de atrito mobilizado no solo e na rocha, com distribuições compatíveis com aquelas obtidas das análises tipo CAPWAP. Como os ensaios não chegaram próximos à ruptura, foram retro-analisados parâmetros de deformabilidade do trecho em rocha. A variabilidade dos valores de módulos encontrados situou-se numa ampla faixa, conforme esperado, em razão da alteração acentuada e fraturamento intenso do material de embutimento das estacas. Em relação à resistência mobilizada por atrito na rocha, em função da resistência à compressão simples dos corpos de prova extraídos do material do material rochoso, não foram obtidas correlações confiáveis, também justificada pela elevada alteração e intenso fraturamento.

Palavras-chaves: estaca parcialmente embutida em rocha; capacidade de carga; ensaios de carregamento dinâmico e estático.

ABSTRACT

In the design of piles partially embedded in rock, the main factors that influence the strength and deformability of the rock and the transmission of loads from pile to rock are of utmost relevance to pile behavior. Although useful, most empirical methods were developed by comparing limited databases from specific regions, presenting differences in geological conditions, drilling methods and other features. The research deals with a case of piles partially embedded in rock located in the West Zone of the Recife Metropolitan Region, in the town of São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brazil. The rock mass consists of ancient deposits, formed mainly by granites of different compositions, gneiss and schists. The deposits have been intensely deformed by several superimposed tectonic processes. Rotative and percussive perforations identified what was considered a "rocky top" at depths ranging from the surface to 12.70 meters, and the first meters drilled in rock are always described as being of low quality, presenting low recovery, marked alteration and intense fracturing. The results of compressive strength were quite variable, ranging from 12.3 to 121.4 MPa, indicating that such values should be considered very carefully and should include other main parameters of the rock in the analysis, such as the discontinuities of the rocky massif. Some laboratory tests were carried out with the purpose of characterizing, classifying the rocky mass and estimating the load capacity of the piles, using the results of uniaxial compression resistance of intact rock, the main parameter for design. Results from 99 dynamic loading tests enabled comparison between the mobilized lateral and mobilized pile toe resistance, with the estimated capacity obtained from the design methods known in the literature (ROSEMBERG & JOURNEAUX (1976), HORVATH (1978), MEIGH & WOLSKI (1979), POULOS & DAVIS (1980), CABRAL & ANTUNES (2000), ROWE & ARMITAGE (1987), AASHTO (1996), ZHANG & EINSTEIN (1998), ESPAÑA (2011) e XU et al. (2020)). In the prediction, the lateral (shear) resistance due to pile penetration in residual soil was also considered. Because failure was not reached in the dynamic tests, the estimated capacity was much higher than the mobilized resistance. The lateral resistance mobilized by the soil was between 28% and 35% of the total mobilized capacity. The design method from España (2011), Cabral & Antunes (2000) and AASHTO (1996) achieved the most consistent results compared to the mobilized capacity obtained from

the dynamic loading tests. Five static loading tests indicated conventional failure loads greater than the mobilized resistance in the 99 dynamic tests. The static tests and some of the dynamic tests were also analyzed by the application of Massad's (1992, 1993) interpretation method. The model conceived by Massad was also applied by himself in several other publications. This mathematical model allows the separation of friction mobilized in soil and rock, with distributions compatible with those obtained from CAPWAP analyses. As the tests did not reach the pile failure, parameters of deformability of the rock were retro-analyzed. The variability of the values of Young module found was in a wide range, as expected, due to the marked alteration and intense fracturing of the rock. Regarding the resistance mobilized by friction in the rock, as a function of the uniaxial compressive strength of the specimens extracted from the rocky material, no reliable correlations were obtained, which was justified by the high alteration and intense fracturing of the rock mass.

Key words: piles partially embedded in rock; bearing capacity; dynamic and static test.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Determinação do valor GSI.....	40
Figura 2 –	Distribuição da carga aplicada ao longo do eixo axial da estaca: (a) Mobilização de fuste e (b) Mobilização de fuste e ponta.....	43
Figura 3 –	Comportamento interface estaca–rocha.....	43
Figura 4 –	Distribuição da tensão cisalhante na parede lateral, em relação ao comprimento do soquete.....	45
Figura 5 –	Influência das condições da parede lateral na resistência cisalhante.....	46
Figura 6 –	Transferência de Carga mobilizada pela base.....	48
Figura 7 –	Distribuição de Carga mobilizada pela base.....	49
Figura 8 –	Quadro para determinação de Nms.....	62
Figura 9 –	Resistência à compressão simples em função do tipo de rocha...	62
Figura 10 –	Resistência unitária lateral média em rocha com parede não rugosa.....	63
Figura 11 –	a) Geração da carga residual como reação à tendência de descarregamento; b) Carga adicional que produz deslocamentos apenas elásticos do fuste, decorrentes da reversão do atrito lateral negativo.....	70
Figura 12 –	Cargas residuais aprisionadas nas estacas após seu descarregamento (após cravação, prensagem ou carregamento prévio por uma prova de carga.....	72
Figura 13 –	Prova de carga numa estaca barrete rígida, primeiro e segundo carregamento.....	73
Figura 14 –	Relações de Camberfort modificadas por Massad (1992).....	74
Figura 15 –	Curva carga recalque teórica modelada por Massad (1992).....	76
Figura 16 –	Modelo estendido ao embutimento da estaca em solo mais resistente.....	84
Figura 17 –	Embutimento em solo mais resistente representado por solo homogêneo equivalente.....	89
Figura 18 –	Trecho do embutimento.....	89

Figura 19 – Valor de λ em função das características da ponta (λ_2) e do trecho do embutimento (k_2).....	91
Figura 20 – Variação de β' em função da carga no topo (P_0), k_1 e λ	94
Figura 21 – Ábaco para o método da parábola.....	98
Figura 22 – Ábaco para o método da exponencial.....	101
Figura 23 – Camadas de solo superior e inferior consideradas por Randolph e Wroth (1978), adaptadas de Velloso e Lopes (2014).....	103
Figura 24 – Modo de deformação do fuste (a) e tensões no elemento de solo (b).....	103
Figura 25 – Localização da área de estudo.....	110
Figura 26 – (a) Vista da Obra;(b) Fundação superficial em rasas profundidades.....	112
Figura 27 – (a) Perfuração por percussão e perfuração rotativa; (b) Secção típica – Setor Sudeste.....	114
Figura 28 – Localização de todas as sondagens realizadas na obra (EGT, 2011).....	116
Figura 29 – Localização das sondagens mistas representativas de cada Setor (em destaque) classificado da obra.....	123
Figura 30 – Situação do talude de corte do Setor Sudeste para análise dos parâmetros de descontinuidades.....	124
Figura 31 – Gráfico de correlação RQD x q_u setor Sudoeste.....	125
Figura 32 – Situação do talude de corte do Setor Sul para análise dos parâmetros de descontinuidades. Eventual presença de matacões ou zonas de rocha alterada com muitas fraturas próximo ao contato entre solo e rocha.....	126
Figura 33 – Gráfico de correlação entre RQD x q_u setor Sul.....	127
Figura 34 – Situação do talude de corte do Setor Sudoeste para análise dos parâmetros de descontinuidades, com presença de topo rochoso irregular e presença de rocha fraturada no contato com solo.....	128
Figura 35 – Gráfico de correlação entre RQD x q_u setor Sudoeste.....	129
Figura 36 – Situação do talude de corte do Setor Oeste para análise dos parâmetros de descontinuidades, com presença de topo rochoso irregular.....	130

Figura 37 – Situação do talude de corte do Setor Oeste apresentando falha geológica observada com rocha muito deformada e com propriedades geomecânicas muito ruins.....	130
Figura 38 – Gráfico de correlação entre RQD x qu setor Oeste.....	131
Figura 39 – Gráfico de correlação dos resultados médios de qu com RQD.....	134
Figura 40 – Deslocamento máximo medido no topo das estacas, DMX, correspondente à carga de serviço.....	141
Figura 41 – Resistência mobilizada do CAPWAP (valor médio) e sua distribuição no solo e na rocha para 99 estacas testadas.....	142
Figura 42 – Simulação 0.....	148
Figura 43 – Simulação 8.....	148
Figura 44 – Simulação 9.....	149
Figura 45 – Simulação 10.....	150
Figura 46 – Exemplo de ajuste de curvas medidas e calculadas da estaca E122.....	151
Figura 47 – Exemplo de ajuste de curvas medidas e calculadas da estaca E3088A.....	151
Figura 48 – Resistência mobilizada do DINEXP (valor médio) e sua distribuição no solo e na rocha para 46 estacas testadas.....	154
Figura 49 – Escolha das duas retas para a E122, ensaio de carregamento estático – Ensaio rápido.....	159
Figura 50 – Percentual de carga aplicada Q, suportada pelo atrito lateral, em relação à razão L/D.....	162
Figura 51 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por Massad, nas abcissas, e pelo CAPWAP, nas ordenadas.....	166
Figura 52 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por Massad, nas abcissas, e pelo DINEXP, nas ordenadas.....	166
Figura 53 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por DINEXP, nas abcissas e CAPWAP, nas ordenadas.....	167

Figura 54 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de	168
resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por Massad, nas	
abscissas e CAPWAP, nas ordenadas.....	
Figura 55 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de	168
resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por Massad, nas	
abscissas e DINEXP, nas ordenadas.....	
Figura 56 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de	169
resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por DINEXP, nas	
abscissas e CAPWAP, nas ordenadas.....	
Figura 57 – Capacidade de carga lateral estimada e capacidade lateral	172
mobilizada no solo.....	
Figura 58 – Capacidade de carga lateral estimada e capacidade lateral	174
mobilizada na rocha.....	
Figura 59 – Carga de carga na ponta estimada e mobilizada na rocha.....	175
Figura 60 – Capacidade de carga total estimada e mobilizada.....	178
Figura 61 – Tensão cisalhante estimada pelos métodos de cálculo e os	179
valores máximos e médios mobilizados pela interpretação do	
DINEXP em função da resistência à compressão da rocha.....	
Figura 62 – Resistência mobilizada por atrito em rocha interpretada pelo	180
programa DINEXP (valores máximos e médios) e pelo modelo de	
Massad (1992, 1993) nos ensaios dinâmicos e estáticos.....	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de Deere, com relação à qualidade da rocha.....	34
Tabela 2 – Sistema de Classificação Geomecânica RMR.....	37
Tabela 3 – Ajuste de Pesos Devido à Orientação das Descontinuidades.....	38
Tabela 4 – Classes de Maciços Rochosos Determinada a Partir do Valor Total.....	38
Tabela 5 – Significado das Classes de Maciço Rochoso.....	38
Tabela 6 – Guia para determinação do valor referente à condição das descontinuidades.....	38
Tabela 7 – Classes de maciços rochosos em função do parâmetro Q.....	39
Tabela 8 – Grau de rugosidade do fuste.....	46
Tabela 9 – Fatores de correção F1 e F2.....	51
Tabela 10 – Coeficiente k e α	52
Tabela 11 – Coeficientes α e β para estaca raiz.....	53
Tabela 12 – Valores de Kp.....	53
Tabela 13 – Valores de β_1 e β_2 em função do tipo de solo.....	54
Tabela 14 – Fórmulas empíricas para estimar a resistência cisalhante unitária em maciços rochosos.....	58
Tabela 15 – Valores de n.....	65
Tabela 16 – Resistência à compressão simples para diferentes tipos de rocha	66
Tabela 17 – Valores de α_1 segundo o tipo de rocha.....	67
Tabela 18 – Valores de α_2 em função do grau de alteração.....	68
Tabela 19 – Faixa de valores de μ	84
Tabela 20 – Coeficientes de rigidez relativa solo x estaca.....	87
Tabela 21 – Designação de Massad (1993) ao tipo de estaca em função do valor de λ	97
Tabela 22 – Quantidade de sondagens mistas e amostras por Setor.....	117
Tabela 23 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR, 1989 para o Setor Sudeste.....	119
Tabela 24 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR,1989 para o Setor Sul.....	120

Tabela 25 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR 1989, para o Setor Sudoeste.....	121
Tabela 26 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR 1989, para o Setor Oeste.....	122
Tabela 27 – RQD no Setor Sudeste.....	124
Tabela 28 – RQD no Setor Sul.....	126
Tabela 29 – RQD no Setor Sudoeste.....	128
Tabela 30 – RQD no Setor Oeste.....	131
Tabela 31 – Classificação dos Setores da obra.....	132
Tabela 32 – Estimativa de valores de coesão, ângulo de atrito e módulo de elasticidade.....	132
Tabela 33 – RQD para todos os Setores.....	133
Tabela 34 – Características das estacas raiz perfuradas em rocha.....	139
Tabela 35 – Distribuição estatística de Distribuição estatística de qu, RQD, comprimento da estaca no solo e na rocha e respectivos Setores	139
Tabela 36 – Distribuição estatísticas das resistências e razões mobilizadas pelo CAPWAP.....	142
Tabela 37 – Distribuição estatísticas das resistências e razões mobilizadas pelo DINEXP.....	153
Tabela 38 – Cargas de ruptura convencionais extrapoladas para os testes de carregamento estático de manutenção lenta e rápida interpretadas para as 5 estacas testadas.....	156
Tabela 39 – Resistência mobilizada comparada à carga de ruptura convencional do teste estático.....	157
Tabela 40 – Resultados da análise das provas de cargas estáticas pelo método de Massad.....	160
Tabela 41 – Resultados da análise dos ensaios dinâmicos pelo método de Massad.....	163
Tabela 42 – Resultados médios percentuais para Massad, CAPWAP e DINEXP.....	164
Tabela 43 – Distribuição estatística da resistência lateral mobilizada e estimada da estaca no solo.....	171

Tabela 44 – Distribuição estatística da resistência lateral mobilizada e estimada da estaca na rocha.....	173
Tabela 45 – Distribuição estatística da resistência de ponta mobilizada e estimada da estaca na rocha.....	175
Tabela 46 – Distribuição estatística da capacidade de carga total mobilizada e estimada da estaca.....	177

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ϕ	Diâmetro da estaca
ϕ_r	Diâmetro da estaca na rocha
$\bar{N}$	Valor médio do NSPT ao longo do fuste
$\bar{N}_p$	Valor médio entre NSPT imediatamente superior e imediatamente posterior à ponta da estaca
d_f	Ator de embutimento
A	Área da superfície ao longo do soquete
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_{lr}	Atrito lateral disponível na ruptura
A_p	Área de ponta da estaca
A_p	Seção transversal da estaca (m ²)
AS	Área da seção transversal
A_s	Área lateral do soquete
A_t	Área da ponta da estaca (ft ²)
B	Coeficiente angular da primeira Lei de Camberfort
C_0	Resistência à compressão simples da rocha (ksf)
CAPWAP	Case Pile Wave Analysis Program
CSIR	South African Council for Scientific and Industrial Research
CSX	Tensão máxima de compressão, média dos dois sinais de força
D	Diâmetro do círculo circunscrito à estaca (mm)
DMX	Deslocamento máximo da estaca durante o impacto
D_r	Diâmetro da estaca embutido no maciço rochoso
D_R	Diâmetro do soquete (diâmetro do trecho da estaca embutido em rocha)
E	Módulo de elasticidade do material da estaca
E_c	Módulo de elasticidade do concreto
ECD	Ensaio de carregamento dinâmico
E_{estaca}	Módulo de elasticidade da estaca
E_M	Módulo de deformação da rocha in situ em GPa

EMX	Energia máxima transferida para a estaca no golpe
E_r	Módulo de elasticidade da rocha
ES/h	Rigidez estrutural da estaca
F	Carga aplicada
F_1	Fator de correção proposto por Aoki-Velloso (1975)
F_2	Fator de correção proposto por Aoki-Velloso (1975)
f_{cj}	Resistência média do concreto à compressão prevista para a idade de j dias(MPa)
f_{ck}	Resistência característica do concreto à compressão (MPa)
f_{max}	Máximo atrito disponível
FMX	Tensão máxima de compressão, maior dos dois sinais de força
F_s	Fator de segurança adotado na prática da engenharia de fundações, variando de 2 a 3
J_a	Índice de influência da alteração das paredes das fraturas
J_n	Índice da influência do número de famílias das fraturas (descontinuidades)
J_r	Índice de influência da rugosidade das paredes das fraturas
J_v	Soma do número de fraturas
J_w	Índice de influência da ação da água subterrânea
K	Coeficientes que dependem do tipo de solo propostos por Aoki-Velloso (1975)
K_p	Coeficiente relacionado ao tipo de solo da ponta da estaca proposto por Décourt- Quaresma (1979;1996)
K_r	Rigidez da estaca, como elemento estrutural (pilar sem considerar a contenção lateral do solo)
L	Comprimento da estaca (m)
L/a	Razão do embutimento
L_r	Comprimento na rocha
L_R	Comprimento do soquete (comprimento da estaca embutido em rocha)
n	Fator de correção que leva em conta o grau de alteração e pequenas fraturas proposto por Cabral (1986) Cabral e Antunes (2000)

N	Valor médio do NSPT ao longo do fuste
NBR	Norma Brasileira
N _c	Fator de capacidade de carga
N _c	fator de capacidade de carga que depende da qualidade do maciço rochoso e do tipo de rocha
NL	Índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura ΔL
N _{ms}	Coefficiente determinado em função da qualidade e tipo da rocha
N _p	Índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca
P _{atm}	Pressão atmosférica (MPa)
P _h	Carga residual na ponta
P _{h/S}	Resistência residual unitária na ponta
p _o	Pressão de referência, adotada como 1MPa
P _r	Constantes que dependem de características do sistema solo – estaca
P _{v,adm}	Pressão admissível
q _{cm}	Resistência à compressão da rocha
Q _{l,r}	Resistência lateral do trecho embutido em maciço rochoso (kN)
Q _{l,s}	Resistência lateral do trecho embutido em solo (kN)
q _{máx}	Resistência de ponta (unitária)
q _p	Carga de ponta
Q _{p,r}	Resistência da ponta do trecho embutido em maciço rochoso (kN)
Q _{p,s}	Resistência da ponta do trecho da estaca em solo (kN)
q _{p,s}	Resistência de ponta unitária da estaca em solo, em MPa
Q _r	Carga de ruptura
Q _{SR}	Resistência lateral última
Q _{TR}	Resistência de ponta última
Q _{trab}	Carga de trabalho ou serviço
q _u	Resistência à compressão simples da rocha obtida a partir de ensaios de laboratório.
Q _{ult}	Capacidade de carga última da estaca (ruptura) (kN)

R	Coeficiente angular da segunda Lei de Camberfort
RMI	Rock Mass Index
RMR	Rock Mass Rating
RMX	Resistência estática mobilizada
R_p	Tensão de ruptura na ponta da estaca
RQD	Rock Quality Designation -Índice de qualidade da amostra de rocha ou do maciço
RSR	Rock Structure Rating
S	Espaçamento entre as descontinuidades
SPT	Ensaio de penetração padrão (standard penetration test)
SPT/SM	Standart Penetration Test; Sondagem Mecânica
SRF	Índice de influência do estado de tensões no maciço (Stress Reduction Factor")
TSX	Tensão máxima de tração calculada ao longo do fuste da estaca
U	Perímetro da seção transversal da estaca (m)
y	Deslocamento da estaca necessário para mobilizar todo atrito lateral
α	Coeficientes que dependem do tipo de solo propostos por Aoki-Velloso (1975)
α	Fator que depende do tipo de maciço rochoso e do tipo de rocha para utilizados em correlações empíricas para estimar tensão cisalhante unitária e/ou resistência unitária de ponta
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$	Parâmetros adimensionais que dependem do tipo de rocha, seu grau de alteração e o espaçamento das descontinuidades segundo España (2011)
α_e	Fator de modificação da resistência à compressão simples da rocha
β	Coeficiente que depende do tipo da estaca e do solo proposto por Décourt-Quaresma
β	Expoente empírico utilizado em correlações empíricas para estimar tensão cisalhante unitária e/ou resistência unitária de ponta
β_1	Fator que depende do tipo de solo proposto por Cabral (1986)

β_2	Fator que depende do tipo de solo proposto por Cabral (1986)
δ_0	Deformação elástica(mm)
Δ_L	Espessura do trecho considerado
λ	Rigidez relativa ao sistema estaca-solo
μ	Fator de majoração devido à carga residual
ν_c	Coefficiente de Poisson do concreto da estaca
ρ	Expoente empírico utilizado em correlações empíricas para estimar tensão cisalhante unitária e/ou resistência unitária de ponta
τ	Tensão cisalhante unitária
$\tau_{l,s}$	Resistência lateral unitária no trecho em solo, em MPa
$\tau_{m\acute{a}x}$	Tensão cisalhante máxima, resistência lateral máxima ou atrito lateral máximo
f_{cj}	Resistência média do concreto à compressão prevista para a idade de j dias, em megapascals
$f_s \text{ rocha}$	Tensão de atrito unitária na rocha
$f_s \text{ solo}$	Tensão de atrito unitária no solo
n	Fator que depende do tipo de maciço rochoso e do tipo de rocha para utilizados em correlações empíricas para estimar tensão cisalhante unitária e/ou resistência unitária de ponta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	26
1.1	OBJETIVOS.....	28
1.1.1	Objetivo Geral.....	28
1.1.2	Objetivos Específicos.....	28
1.2	ESTRUTURA DA TESE.....	29
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1	FUNDAÇÕES EMBUTIDAS EM ROCHA.....	31
2.2	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO.....	32
2.2.1	Caracterização Geomecânica.....	32
2.2.2	Ensaaios para Caracterização dos Maciços Rochosos.....	32
2.2.3	Classificações Geomecânicas.....	33
2.2.3.1	Rock Quality Designation (RQD)	34
2.2.3.2	Classificação de Bieniawski (Sistema RMR)	35
2.2.3.3	Sistema Q (BARTON et.al., 1974)	39
2.2.3.4	Sistema GSI.....	40
2.3	MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA NO EMBUTIMENTO EM ROCHA.....	42
2.3.1	Mobilização de Resistência Lateral.....	44
2.3.1.1	Geometria da estaca.....	44
2.3.1.2	Rugosidade da estaca.....	45
2.3.1.3	Método Construtivo.....	46
2.3.2	Mobilização de Resistência de Ponta.....	47
2.4	MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS EM SOLO E PARCIALMENTE EMBUTIDAS EM ROCHA.	49
2.4.1	Métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas em solo.....	50
2.4.1.1	Método Aoki-Velloso (1975)	51
2.4.1.2	Décourt-Quaresma (1978) modificado por Décourt (1996).....	52
2.4.1.3	Método Cabral (1986)	53

2.4.2	Métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas embutidas em maciço rochoso.....	54
2.4.2.1	Rosenberg e Journeaux, 1976.....	58
2.4.2.2	Horvath, 1978.....	59
2.4.2.3	Meigh e Wolski, 1979.....	59
2.4.2.4	Poulos e Davis, 1980.....	60
2.4.2.5	Rowe & Armitage, 1987.....	60
2.4.2.6	Método da AASHTO, 1996.....	61
2.4.2.7	Zhang e Einsten, 1998.....	64
2.4.2.8	Método de Cabral e Antunes, 2000.....	64
2.4.2.9	Método de España, 2011.....	66
2.4.2.10	Método de Xu, 2020.....	69
2.4.3	Análise dos testes de carregamento para estacas- Modelo de Massad (1995)	70
2.4.3.1	Comportamento da Curva Carga x Recalque.....	70
2.4.3.2	Método de Massad (1992)	73
2.4.3.2.1	<i>Método estendido de Massad (1993).....</i>	82
2.4.4	Contribuição de Randolph para a estimativa de recalques.....	102
2.4.4.1	Interação entre o Fuste da estaca e o solo.....	102
2.4.4.2	Interação entre a Base da Estaca e o Solo.....	106
2.4.4.3	Combinação do fuste com a base.....	107
2.4.4.4	Estaca Compressível.....	108
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	110
3.1	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	110
3.2	CARACTERÍSTICAS DA OBRA.....	111
3.3	FUNDAÇÕES DA OBRA.....	111
4	INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA REALIZADA.....	113
4.1	INVESTIGAÇÃO DE CAMPO.....	113
4.1.1	Investigações Mecânicas.....	113
4.1.2	Ensaio Geofísicos.....	114
4.2	ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	115
5	CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO.....	117
5.1	SETOR SUDESTE.....	123

5.2	SETOR SUL.....	125
5.3	SETOR SUDOESTE.....	127
5.4	SETOR OESTE.....	129
6	TESTES DE CARGAS EM ESTACAS.....	135
6.1	METODOLOGIA DO ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO - ECD.....	135
6.1.1	Equipamentos Utilizados.....	136
6.1.2	Procedimento para o ECD.....	136
6.1.3	Critérios de paralização dos ensaios.....	137
6.1.4	Resultados obtidos na execução dos ensaios de carregamento dinâmico.....	137
6.2	RETROANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO ATRAVÉS DO DINEXP.....	145
6.2.1	Principais observações apontadas na retroanálise.....	146
6.2.2	Resultados obtidos na retroanálise das 46 estacas.....	152
6.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO ESTÁTICO.....	155
6.4	ANÁLISE PELO MODELO DE MASSAD.....	157
6.4.1	Interpretação dos resultados dos ensaios estáticos.....	159
6.4.2	Interpretação dos ensaios dinâmicos pelo Método de Massad.....	162
6.4.3	Comparação entre as Interpretações dos ensaios dinâmicos: Massad, CAPWAP e DINEXP.....	164
7	PREVISÃO DA CAPACIDADE DAS ESTACAS RAIZ PARCIALMENTE EMBUTIDA EM ROCHA E SOLO.....	170
7.1	VERIFICAÇÃO DA TENSÃO CISALHANTE ATRAVÉS DAS ANÁLISES REALIZADAS.....	178
8	CONCLUSÕES.....	181
8.1	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	184
	REFERÊNCIAS.....	186
	APÊNDICE A – RESULTADOS CAPWAP DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO PARA AS 99 ESTACAS ENSAIADAS.....	198

APÊNDICE B – EXEMPLO DA ESTACA E122 E TODOS OS	203
GRÁFICOS DA SEPARAÇÃO DE CARGA LATERAL NO TRECHO	
NO SOLO E NA ROCHA.....	
APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO CISALHANTE	254
MOBILIZADA NO FUSTE PARA OS RESULTADOS CAPWAP	
PARA AS 99 ESTACAS ENSAIADAS.....	
APÊNDICE D – EXTRAPOLAÇÃO DAS PROVAS DE CARGAS	304
ESTÁTICAS.....	
APÊNDICE E – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS	340
ENSAIOS ESTÁTICOS (PCE) PELO MÉTODO DE MASSAD.....	
APÊNDICE F – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS	354
ENSAIOS DINÂMICO (PDA) PELO MÉTODO DE MASSAD.....	

1 INTRODUÇÃO

No dimensionamento de estacas parcialmente embutidas em rocha, os principais fatores que influenciam a resistência e deformabilidade da rocha e a transmissão de cargas da estaca para a rocha são de extrema relevância para o comportamento das estacas e para a elaboração dos projetos de fundações.

Muitos trabalhos internacionais abordam o tema fundações embutidas em rocha para análise da capacidade de carga, levando em consideração a caracterização do maciço rochoso e as particularidades muitas vezes específicas ao local de estudo, ratificando as dificuldades da temática.

Apesar de muito empregadas no Brasil, o comportamento das estacas embutidas em rocha é ainda de difícil previsão, principalmente em razão do número reduzido de casos instrumentados bem documentados na literatura. Desta forma, a maioria dos projetos elaborados costuma apresentar muitas incertezas, levando usualmente a um superdimensionamento. A falta de uma caracterização mais completa do maciço rochoso e a não disponibilidade de um maior número de resultados de ensaios da fundação resulta na mobilização de resistência, em condições de serviço, muito inferior à disponível por ocasião da ruptura.

Alguns autores, tais como: Rosenberg & Journeaux (1976), Horvath (1978) e Meigh & Wolski (1979) não consideram a resistência de ponta ao estimar a capacidade de carga em seus dimensionamentos. Rowe & Armitage (1987) e Seidel & Collingwood (2001) consideram que a maior parte da carga de trabalho da estaca é absorvida pela resistência lateral do fuste da estaca em rocha. Devido às incertezas em relação à limpeza adequada do fundo da estaca e o comportamento interface concreto/rocha, a resistência de ponta não é considerada no projeto. A resistência de ponta só pode ser considerada se os procedimentos executivos garantirem a limpeza adequada do fundo ou quando os testes de cargas realizados demonstrarem mobilização de resistência de ponta (ABNT, 2019).

A previsão da transferência de carga e a resistência lateral da estaca embutida em rocha é uma das principais questões no dimensionamento desse tipo de fundação. Os métodos empíricos utilizados para prever a resistência máxima mobilizada de estacas embutidas em rocha, estão relacionados à resistência uniaxial da rocha e aos resultados dos ensaios de carregamento.

Embora esses métodos empíricos sejam úteis para elaboração de projetos, eles foram desenvolvidos a partir de dados de regiões específicas e com caracterização do maciço, em geral, limitada, incluindo casos contemplando diferenças em suas feições geológicas, métodos de perfuração, entre outras condições. Consequentemente, nenhum desses métodos pode ser considerado satisfatório para uma previsão de caráter mais geral. Além disso, poucos empregam um índice de qualidade da rocha, como o RQD, que considera as descontinuidades do maciço rochoso que influenciam a resistência lateral (XU J. *et al.*, 2020).

No caso da maioria dos projetos de fundação em estacas embutidas em rocha, o mesmo é elaborado admitindo-se a hipótese de que a obra é constituída por apenas um único maciço, sendo considerada apenas a resistência à compressão simples da rocha, admitindo a menor resistência a compressão determinada nos ensaios, ou ainda utilizando base de dados da literatura. Porém parâmetros como RQD, frequência das descontinuidades, padrão das descontinuidades e a presença de água dentro do maciço rochoso, são de fundamental importância no dimensionamento da capacidade de carga.

O presente trabalho de pesquisa analisa resultados de um caso de obra que contempla um extenso banco de dados, incluindo 99 ensaios de carregamento dinâmico realizados em estacas parcialmente embutidas em rocha do tipo granítica e 5 ensaios de carregamento estático.

As estacas consistem em estacas-raiz moldadas no local, escavadas no solo e perfuradas na rocha. Tubos de revestimento metálico recuperável de condução penetrou até o topo da rocha. A partir deste nível, o método de perfuração envolveu a perfuração com martelo de fundo do poço assistida por ar comprimido.

Os testes dinâmicos foram realizados de acordo com a norma brasileira NBR 13208 (2007). A resistência na interface solo / rocha foi obtida em vários golpes com aumento de energia. O Pile driving analyzer (PDA) foi usado para aquisição de dados. Todos os dados dos testes dinâmicos foram analisados pelo conhecido CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) e 46 testes também foram analisados pelo programa DINEXP, concebido por Costa (1988), a fim de melhor investigar a resistência mobilizada. Métodos empíricos disponíveis para estacas parcialmente embutidas na rocha foram aplicados e comparados com os resultados dos ensaios.

Os testes de carregamento estático foram realizados com um primeiro carregamento lento mantido até 1,2 vezes a carga de serviço (critérios de

assentamento estabilizado) seguido de descarregamento completo. Os segundos incrementos de carga de curta duração (carregamento rápido) foram então realizados até o dobro da carga de serviço. Os testes de carga estática forneceram algumas informações sobre a relação entre a capacidade de suporte de ruptura convencional (extrapolada) e a resistência dinâmica mobilizada. A pesquisa discute os principais resultados e apresenta sugestões para elaboração de futuros projetos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Como serão observados nos próximos Capítulos, inúmeros fatores influenciam o mecanismo de interação estaca - solo.

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo fazer uma análise qualitativa e quantitativa desses fatores, tomando como base os dados de 99 (Noventa e nove) ensaios de carregamento dinâmico e 5 ensaios de carregamento estático em estacas parcialmente embutidas em rocha granítica, comparando com algumas propostas de estimativa de capacidade de carga para esse tipo de estaca, apresentando ajustes para o local em estudo.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Analisar a capacidade de carga de estacas parcialmente embutidas em rocha granítica, comparando a aplicação dos métodos empíricos com os resultados dos ensaios de carregamento dinâmico e a carga de ruptura convencional em um pequeno número de ensaios de carregamento estático
2. Classificar os maciços da obra, procurando identificar diferenças na caracterização/classificação que expliquem melhor a influência desses parâmetros na distribuição de carga das estacas.
3. Iniciar a organização de um banco de dados a partir dos resultados das análises CAPWAP realizadas para o golpe de mobilização da maior resistência, a fim de permitir a identificação de informações a serem utilizadas no futuro, garantindo maior confiabilidade;

4. Realizar avaliações analíticas que englobam estudos dos dados de execução das estacas e dos dados obtidos a partir dos ensaios realizados para obter parâmetros de projeto e de execução;
5. Comparar os valores de capacidade de carga e distribuição de resistência do ensaio de carregamento dinâmico a partir da retroanálise pelo método de Smith para os mesmos golpes instrumentados, através do programa DINEXP.
6. Analisar as tensões máximas unitárias em todas as estacas do trabalho, para tentar estabelecer um método de previsão da tensão cisalhante mobilizada para estacas embutidas em rocha granítica, no local de estudo
7. Interpretar os resultados à luz do modelo matemático de Massad (1992,1993) que permite, através do ensaio não instrumentado, aferir as parcelas de resistência laterais mobilizadas pelo trecho em solo, trecho em rocha e a parcela de ponta na rocha.

1.2 ESTRUTURA DA TESE

A presente tese aborda a análise das estacas parcialmente embutidas em rocha granítica, tendo sido dividida em oito Capítulos, conforme apresentado abaixo:

Capítulo 1 – Introdução geral acerca do tema estudado;

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica acerca das fundações embutidas em rocha, incluindo os fatores de influência no cálculo da resistência lateral, a transferência de carga para esse tipo de estaca, as classificações geomecânicas e alguns métodos de previsão de capacidade de carga para estacas parcialmente embutidas em rocha. Um resumo da aplicação do modelo matemático do método de Massad (1992, 1993) é também detalhado.

Capítulo 3 – Neste Capítulo são abordadas as características geológicas da área em estudo e apresentados os elementos de fundação utilizados.

Capítulo 4 – Neste Capítulo são detalhados os ensaios realizados na área em estudo.

Capítulo 5 – Este Capítulo apresenta a caracterização e classificação do maciço rochoso pelo sistema RMR.

Capítulo 6 – Neste Capítulo o Ensaio de Carregamento Dinâmico e Estático é apresentado e são discutidos os resultados obtidos;

Capítulo 7– São avaliados, neste Capítulo, os resultados dos ensaios de resistência uniaxial da rocha como uma tentativa de previsão da tensão cisalhante capaz de ser mobilizada em rocha granítica, ao se comparar com os resultados mobilizados obtidos dos experimentos realizados nas estacas testadas;

Capítulo 8 - Apresenta as conclusões obtidas e as sugestões para análises futuras não contempladas nesta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FUNDAÇÕES EMBUTIDAS EM ROCHA

A utilização de fundações embutidas ocorre quando é necessária a transferência de cargas elevadas da estrutura e as camadas superficiais do terreno não apresentam boas características mecânicas para assentamento das fundações, sendo necessário buscar melhores condições de apoio em grandes profundidades ou, ainda, quando o maciço rochoso, mesmo em menores profundidades, não apresenta resistência satisfatória.

Nesse tipo de fundação há uma tendência de emprego de projetos bastante conservadores, resultado da falta de estudos mais profundos sobre o assunto e ainda por desconhecimento da variabilidade e complexidade do material rochoso.

Cumprе destacar que apesar das fundações em rocha normalmente apresentarem uma resistência e rigidez maior para suporte de cargas da estrutura que as fundações assentes em solos, é preciso ser analisada a transferência de cargas para o maciço rochoso. Em algumas situações, a tensão mobilizada se aproxima da tensão disponível na ruptura. Ainda no caso de haver alguma descontinuidade orientada para uma direção particular, o apoio pode ser capaz de suportar uma carga menor, sendo da maior importância uma adequada caracterização e classificação do maciço rochoso.

Ademais, o processo executivo desse tipo de fundação também é uma questão da maior relevância, visto que pode influenciar diretamente na resistência total mobilizada. Muitas vezes, por não se conseguir retirar totalmente o material depositado no furo, o contato da estaca com o material do terreno natural é comprometido, diminuindo a resistência de ponta dessas estacas e fazendo com que a mobilização da capacidade de carga seja garantida apenas pela parcela do atrito lateral.

A realização de ensaios de carregamento estático possibilita um conhecimento melhor do comportamento. Porém, quando realizados, esses ensaios geralmente não são levados até a ruptura, além de serem onerosos tanto em tempo, quanto em custo direto. Ensaio de carregamento dinâmico, por vezes também chamados de provas de carga dinâmicas, têm visado promover o conhecimento sobre a capacidade de carga e minimizar essa deficiência do custo e do tempo do ensaio, mesmo com a expectativa

de não poder garantir a proximidade da ruptura, mas apenas a total mobilização de uma resistência inferior àquela disponível.

2.2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO

O comportamento do maciço não se restringe apenas à quantidade de descontinuidades, mas é influenciado pelas condições que essas descontinuidades apresentam e pela resistência da própria rocha. Se forem muito pequenas, as descontinuidades podem ser menos importantes. Portanto, algumas considerações sobre informações geológicas envolvidos tornam-se necessárias.

2.2.1 Caracterização Geomecânica

A prospecção e caracterização geotécnica são fundamentais na concepção de uma obra, influenciando todas as fases subsequentes, tanto as de projeto como as de execução. Baseados na caracterização geológico-geotécnica do maciço e nos esforços atuantes na estrutura, os profissionais envolvidos devem conceber e optar pelos métodos apropriados de construção, bem como prever soluções adequadas para as opções escolhidas.

2.2.2 Ensaios para Caracterização dos Maciços Rochosos

Constituem a base paramétrica dos estudos voltados ao aproveitamento dos maciços nas obras de Engenharia. Um tipo de ensaio consiste em submeter uma amostra de rocha a determinadas condições e solicitações em um sistema com variáveis controladas, monitorando-se o comportamento da rocha, observando e medindo as reações ocorridas. Com base nos ensaios se procede à Classificação Geomecânica (RQD, RMR, RSR...)

Tipos básicos de ensaios:

- Caracterização petrográfica: Além da identificação litológica, proporcionam informações sobre composição mineralógica, granulometria, textura e estruturas das rochas.

- Propriedades índices: Compreendem, basicamente, umidade, porosidade, massa específica, absorção de água, expansão, desgaste;
- Propriedades mecânicas: Resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, parâmetros de deformabilidade, podem ser determinados através de ensaios *in situ*, inclusive em furos de sondagens e em laboratórios.
- Propriedades hidráulicas (permeabilidade) compreendem a determinação da condutividade hidráulica, sendo que em geral é mais importante a condutividade das descontinuidades do que a da rocha intacta.

As principais ferramentas utilizadas com o objetivo de investigar a geologia e geotecnia de uma área de interesse incluem o mapeamento geológico, os ensaios geofísicos e as sondagens mecânicas.

O mapeamento geológico possibilita o acesso direto aos materiais que estão expostos na superfície, delimita os diferentes corpos presentes na área e coleta amostras para ensaios de laboratório. O estudo de geologia da área complementa informações.

Os ensaios geofísicos permitem determinar a distribuição, em profundidade, horizontes do maciço com parâmetros físicos similares, tais como velocidade de propagação de ondas acústicas e resistividade elétrica, que determinam indiretamente a distribuição e o posicionamento dos corpos geológicos, suas características físicas e tecnológicas. Esses ensaios não alteram as propriedades físicas do material ensaiado.

Com as sondagens mecânicas é possível definir com maior precisão as características dos materiais ao longo da linha de perfuração. Nessas sondagens descrevem-se testemunhos do solo e do maciço rochoso, variações litológicas, estruturas geológicas e as características geotécnicas dos materiais (ABGE 2011).

2.2.3 Classificações Geomecânicas

Dentre os diversos métodos de classificação de maciços rochosos, destacam-se: o “Rock Mass Rating” (RMR - Rock Mass Rating), também chamado de CSIR (organismo Sul Africano, onde Bieniawski desenvolveu sua classificação – 1973, revisado até 1989); e o sistema Q (Tunneling Quality Index), Barton, Lien and Lunde (1974) desenvolvidos no Norwegian Geotechnical Institute.

Porém, existem outros sistemas que os precederam e foram utilizados na sua formulação como é o RQD (Rock Quality Designation), o RSR (“Rock Structure Rating”) ou os de datas mais recentes como o sistema RMI (Rock Mass Index) e o GSI (Geological Strength Index).

As classificações mais utilizadas atualmente são as classificações de Bieniawski (1989), conhecida como sistema RMR, de Barton et. al, (1974), o sistema Q e o sistema GSI, Hoek (1994) e Marinos e Hoek (2005).

2.2.3.1 Rock Quality Designation (RQD)

Deere (1964) deu uma grande contribuição no desenvolvimento das classificações geomecânicas através da proposição de um índice capaz de quantificar o padrão geomecânico do maciço, obtido diretamente a partir da análise de testemunhos de sondagens convencionais. Este índice, denominado RQD “Rock Quality Designation”, que corresponde a recuperação de porções de testemunho de dimensões iguais ou superiores a 10 cm, obtidos em uma dada manobra da sondagem, utilizando-se diâmetro mínimo de 54,7mm, utilizando-se barrilete de tubo duplo.

Deere propôs uma relação entre o seu valor numérico, qualidade de engenharia da rocha (Hoek e Brown, 1980) no seu sistema de classificação (Goodman, 1989), Tabela 1.

Tabela 1 – Índice de Deere, com relação à qualidade da rocha

RQD (%)	Qualidade da Rocha
< 25	Muito ruim
25 – 50	Ruim
50 – 75	Regular
75 – 90	Bom
90 – 100	Excelente

Fonte: Goodman (1989)

Palmstrom (1982), sugeriu que, na falta de testemunho, pode-se estimar o RQD pelo número de descontinuidades por metro cúbico, como apresentada na equação 2.1.

$$RQD = 115 - 3,3J_v. \quad (2.1)$$

Sendo J_v a soma do número de fraturas por unidade de comprimento nas três direções do espaço, denominado contador volumétrico de juntas.

Hoek et.al (1994) afirmam que o objetivo principal do valor do RQD é indicar a qualidade do maciço rochoso in situ e, portanto, deve-se ter o máximo de cuidado e experiência na execução da sondagem. Logo é um parâmetro importante na classificação de outros sistemas, não sendo suficiente quando isolado, por não considerar fatores como orientação das descontinuidades, estado de tensão, tipo de preenchimento das descontinuidades etc.

2.2.3.2 Classificação de Bieniawski (Sistema RMR)

Até 1973, os estudos de classificação de maciços rochosos referiam-se apenas às escavações subterrâneas. A partir daquele ano, Bieniawski apresentou um novo sistema de classificação de maciços rochosos para túneis e aplicável a taludes. Essa classificação é obtida adicionando-se escores a parâmetros da maciço rochoso. Este sistema de classificação de Bieniawski, RMR (Rock Mass Rating), também é chamado de CSIR (South African Council for Scientific and Industrial Research) e foi aprimorado até 1989.

Bieniawski et.al (1976), introduziram algumas substituições importantes. O índice numérico do maciço rochoso, RMR, ficava então independente da estrutura a construir e se obtinha a partir de cinco parâmetros:

- i. Resistência da matriz rochosa (resistência à compressão simples);
- ii. RQD;
- iii. Frequência das descontinuidades (espaçamento);
- iv. Estado das juntas e (padrão das descontinuidades);
- v. Presença de água dentro do maciço rochoso (ação da água subterrânea).

Adicionalmente, o sistema incluiu um fator de ajuste, que é função da orientação das descontinuidades. Este fator de ajuste, segundo a orientação das descontinuidades é uma penalização aplicada às fundações de barragens (Tabela 3).

Somando-se os pesos destinados a cada parâmetro, considerando o fator de ajuste, encontrar-se-á o RMR, que é classificado em cinco intervalos de classe (I, II, III, IV, V), Tabela 4.

Não existe nenhuma orientação sobre a definição de cada classe. Ademais, se indicam uns valores médios da coesão e o ângulo de enrocamento para cada categoria de massa rochosa (Tabela 5), segundo cinco intervalos do índice RMR.

Bieniawski e Orr (1976) postularam uma correlação entre o índice RMR e o módulo de deformação "in situ" da massa rochosa.

Posteriormente Bieniawski (1979) realizou pequenas correções que pontuam os parâmetros (Tabela 2).

Em 1978 Bieniawski apresenta uma correlação para determinação do módulo de deformação do maciço rochoso em função do RMR, com valores superiores a 50 (Equação 2.2). Serafim e Pereira (1983), desenvolverem a equação 2.3, para o caso dos maciços com RMR inferiores a 50.

$$E_M = 2RMR - 100, \text{ para } RMR > 50 \quad (2.2)$$

$$E_M = 10^{(RMR-10)/40}, \text{ para } RMR < 50 \quad (2.3)$$

Onde:

EM: Módulo de deformação da rocha in situ em GPa.

Tabela 2 – Sistema de Classificação Geomecânica RMR

Parâmetros		Coeficientes					
1	Resistência da Rocha Intacta	Resistência à Compressão Puntiforme	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Para a faixa de valores inferior, é preferível usar o ensaio de compressão uniaxial
		Resistência à Compressão Uniaxial	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa 1 – 5 MPa < 1 MPa
	Peso		15	12	7	4	2 1 0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Peso		20	17	13	8	3
3	Espaçamento das Descontinuidades		> 2m	0.6 – 2m	200 – 600mm	60 - 200mm	< 60 mm
	Peso		20	15	10	8	5
4	Condição das Descontinuidades	Superfícies muito rugosas Não contínuas Sem abertura Paredes duras	Superfícies levemente rugosas Separação < 1mm Paredes duras	Superfícies levemente rugosas Separação < 1mm Paredes macias	Slickensides ou Preenchimento < 5 mm de largura ou Juntas abertas 1-5 mm, contínuas	Preenchimento macio > 5mm Ou Juntas abertas > 5mm, contínuas	
	Peso		30	25	20	10	0
5	Água Subterrânea	Fluxo por 10m de comprimento de túnel	Nulo Ou	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min ou	25–125 litros/min ou	> 125 litros/min ou
		Razão $\frac{\text{Pressão de água na junta}}{\text{Tensão principal maior}}$	0	< 0.1	0.1 - 0.2 ou	0.2 - 0.5 ou	> 0.5 ou
		Condições Gerais	ou Completamente seco	Água Intersticial	Úmido	Água sob pressão moderada	Graves problemas com água
	Peso		15	10	7	4	0

Fonte: Bieniawski (1989)

Tabela 3 – Ajuste de Pesos Devido à Orientação das Descontinuidades

Direção e Mergulho das Juntas		Muito Favorável	Favorável	Regular	Desfavorável	Muito Desfavorável
Valores	Túneis	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	Fundações	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	Taludes	0	- 5	-25	- 50	- 60

Fonte: Bieniawski (1989)

Tabela 4 – Classes de Maciços Rochosos Determinada a Partir do Valor Total

Valores	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe Número	I	II	III	IV	V
Descrição	Rocha muito boa	Rocha Boa	Rocha Regular	Rocha Pobre	Rocha Muito Pobre

Fonte: Bieniawski (1989)

Tabela 5 – Significado das Classes de Maciço Rochoso

Número da Classe	I	II	III	IV	V
Tempo Médio de Auto-suporte	10 anos para um vão de 5m	6 meses para um vão de 4m	1 semana para um vão de 3m	5 horas para um vão de 1.5m	10 minutos para um vão de 0.5m
Coesão do Maciço Rochoso	> 300 kPa	200 – 300 kPa	150 – 200 kPa	100 – 150 kPa	< 100 kPa
Ângulo de Atrito do Maciço Rochoso	> 450	350 – 450	250 – 350	150 – 250	< 150

Fonte: Bieniawski (1989)

Tabela 6 – Guia para determinação do valor referente à condição das descontinuidades.

Parâmetro	Pontuação				
Persistência	< 1m	1 – 3m	3 – 10m	10 – 20m	> 20m
	6	4	2	1	0
Abertura	Nenhum	< 0.1mm	– 1.0mm	1 – 5mm	> 5mm
	6	5	4	1	0
Rugosidade	Muito Rugosa	Rugosa	Levemente Rugosa	Suave	Espelhada
	6	5	3	1	0
Preenchimento Duro				Preenchimento Macio	
Preenchimento	Nenhum	< 5mm	> 5mm	< 5mm	> 5mm
	6	4	2	2	0
Grau de Alteração	Não Alterada	Levemente Alterada	Moderadamente Alterada	Altamente Alterada	Decomposta
	6	5	3	1	0

Fonte: Bieniawski (1989)

2.2.3.3 Sistema Q (BARTON et.al., 1974)

Barton, Lien e Lunde, (1974), pesquisadores do NGI (Norwegian Geotechnical Institute), propuseram um novo parâmetro (denominado de parâmetro “Q”), para quantificar o padrão geomecânico de um maciço rochoso, estabelecido especificamente para túneis, definido por:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \cdot \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \cdot \left(\frac{J_w}{SRF} \right) \quad (2.4)$$

onde:

RQD – índice geomecânico de Deere;

J_n – índice da influência do número de famílias das fraturas (descontinuidades);

J_r – índice de influência da rugosidade das paredes das fraturas;

J_a – índice de influência da alteração das paredes das fraturas;

J_w – índice de influência da ação da água subterrânea; e

SRF – índice de influência do estado de tensões no maciço (“Stress Reduction Factor”).

Observa-se claramente que as relações:

RQD/J_n – dependente do tamanho dos blocos do maciço rochoso;

J_r/J_a – dependente da resistência ao cisalhamento das superfícies das fraturas;

J_w/SRF – depende da tensão existente nos maciços rochosos.

Determinado o parâmetro Q, a classificação do maciço rochoso é sugerida pela Tabela 7.

Tabela 7 – Classes de maciços rochosos em função do parâmetro Q

Q	Classificação
400 a 1000	Excepcionalmente bom
100 a 400	Extremamente bom
40 a 100	Muito bom
10 a 40	Bom
4 a 10	Mediano
1 a 4	Pobre
0,1 a 1	Muito pobre
0,01 a 0,1	Extremamente pobre
0,001 a 0,01	Excepcionalmente pobre

Fonte: Barton *et al.* (1974)

2.2.3.4 Sistema GSI

Hoek (1994) apresentou um sistema de classificação denominado por GSI (Geological Strength Index) que fornece um parâmetro geotécnico que varia entre 5 e 100.

Através de um ábaco específico, pode ser realizada uma avaliação do maciço analisado em campo. A Figura 1 apresenta a versão proposta por Marinos e Hoek (2005).

Figura 1 – Determinação do valor GSI.

	CONDIÇÕES DE SUPERFÍCIE				
	MUITO BOA	BOA	REGULAR	FRACA	MUITO FRACA
ESTRUTURA	Diminuição da qualidade da superfície →				
 ROCHA ÍNCTA OU MACIÇA – amostras de rocha íntacta ou rocha <i>in situ</i> maciça, com descontinuidades muito espaçadas	90			N/A	N/A
 EM BLOCOS – massa rochosa constituída por blocos de forma cúbica, decorrente do encontro de três famílias de descontinuidades, bem imbricada e não perturbada	80	70			
 EM MUITOS BLOCOS – massa de blocos multifacetados e angulosos, decorrente do encontro de quatro ou mais famílias de descontinuidades, imbricada e parcialmente perturbada		60	50		
 EM BLOCOS / PERTURBADA / DESCONTÍNUA – estrutura dobrada, com blocos angulosos decorrentes da intersecção de muitas famílias de descontinuidades. Com acamamento ou xistosidade.			40	30	
 DESINTEGRADA – massa rochosa fracamente imbricada, intensamente quebrada, com mistura de blocos angulosos e blocos arredondados				20	
 LAMINADA / CISALHADA – ausência de blocos devido ao apertado espaçamento entre planos de xistosidade fraca ou planos de cisalhamento	N/A	N/A			10

Fonte: Malafaia (2007)

O valor do GSI de um maciço também pode ser estimado através do valor do sistema RMR. Assim, para maciços com $RMR > 18$, a relação entre estes dois índices faz-se através da seguinte expressão:

$$GSI = RMR'_{76} \quad (2.5)$$

Onde RMR'_{76} é a soma dos quatro primeiros parâmetros da versão de 1976 do RMR.

Para maciços rochosos com valores de $RMR < 18$, a correlação é expressa com base em Q' (igual ao Q , mas sem consideração dos parâmetros J_w e SRF):

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \quad (2.6)$$

Diferentes métodos de avaliação para classificação de maciço rochoso podem ser empregados, entretanto tais correções requerem uma análise detalhada, a fim de envolver as reais causas de instabilidade para o apoio das fundações.

As classificações estrangeiras, na sua maioria, foram desenvolvidas em países de clima temperado, onde a alteração da rocha é pouco importante, afetando apenas poucos metros na parte superior do maciço, enquanto nos países tropicais, a alteração atinge grandes profundidades, agindo nas fraturas e falhas, podendo ocorrer zonas alteradas até 50 metros abaixo do topo de rocha.

Qualquer classificação de maciço rochoso deve considerar que as rupturas, na maioria dos casos são governadas pelas descontinuidades e se produzem segundo superfícies formadas por uma ou várias juntas.

As classificações são vantajosas porque obrigam a quantificar as propriedades essenciais do terreno. Num projeto onde se classifica, é seguro que se faça um esforço de campo e o conhecimento do trecho do maciço comum a uma mesma classe simplificará a análise dos dados. Porém classificação como um único método, não deverá ser usada, porque simplifica excessivamente.

Foram apresentadas por Hoek (1995) as seguintes correlações com o RMR e Q :

$GSI = RMR_{89} - 5$ Aplicável para valores de $RMR > 23$ e considerando o maciço seco (valor 15 no parâmetro relativo à presença de água) e a orientação das descontinuidades com orientação muito favorável (valor 0 no parâmetro relativo à orientação das descontinuidades).

$GSI = 9 \ln Q + 4$, considerando o maciço seco e sujeito a tensões médias ($J_w/SRF=1$)

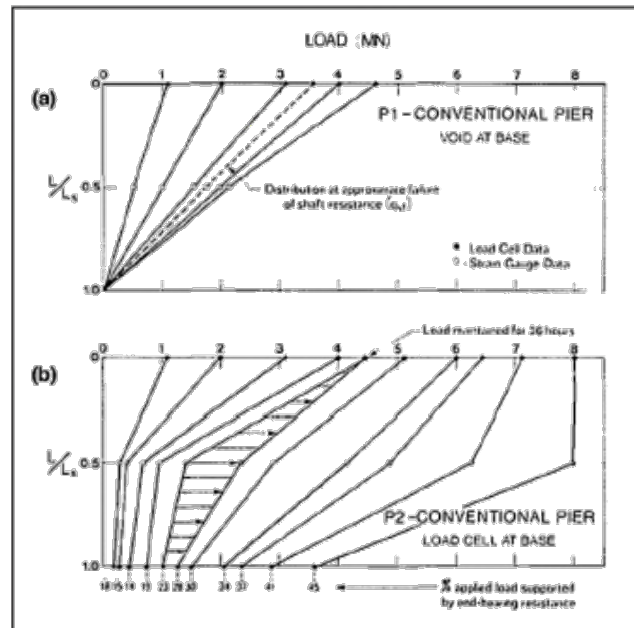
2.3 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA NO EMBUTIMENTO EM ROCHA

A carga aplicada ao topo da estaca é reduzida ao longo do eixo pela resistência ao cisalhamento no solo e na superfície de contato da estaca. Para cargas pesadas, parte da carga também é transferida para a ponta da estaca e o cisalhamento mobilizado ao longo do fuste pode atingir seu valor residual em parte ou em todo o comprimento. As diferenças neste comportamento devem-se principalmente às características da rocha no maciço rochoso ao longo do fuste da estaca. Uma caracterização adequada da rocha é então essencial para a avaliação da capacidade de carga final.

O carregamento das estacas embutidas em rocha pode ser transmitido pela carga lateral e pela ponta. O carregamento lateral resulta da adesão produzida pelo concreto da estaca no furo, seguida pelo cisalhamento na interface estaca-rocha quando a adesão inicial é perdida. O carregamento de ponta resulta do contato direto da estrutura na rocha (GOODMAN, 1989). Considerando os três componentes de resistência (cisalhamento na interface do solo da estaca, cisalhamento no contato da estaca com a rocha e resistência do ponta), a resistência de ponta é comumente desconsiderada em estacas embutidas na rocha devido às incertezas quanto à limpeza de fundo do furo (ABNT, 2019).

Horvath et al. (1983) analisaram a distribuição da tensão aplicada na estaca ao longo da lateral e na ponta. A Figura 2 apresenta o caso de estacas escavadas com fuste liso, notando-se a distribuição uniforme da carga ao longo do embutimento quando apenas a lateral é mobilizada (Figura 2 a). Essa uniformidade é perdida quando a ponta também é solicitada (Figura 2 b). Para carregamentos reduzidos, apenas pequena parte da carga é transferida para a ponta, sendo maior a mobilização da interface. No entanto, para carregamentos elevados, ocorre a transferência para a ponta, com o aumento crescente de carga na ponta à medida que a resistência lateral atinge o estado residual.

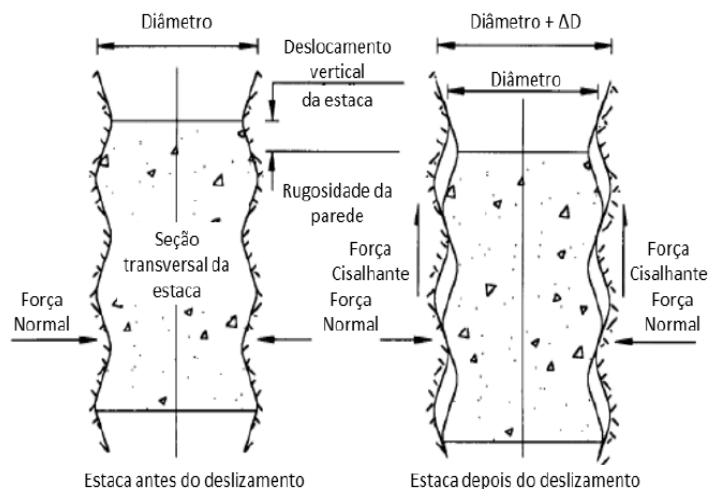
Figura 2 – Distribuição da carga aplicada ao longo do eixo axial da estaca:
(a) Mobilização de fuste e (b) Mobilização de fuste e ponta.



Fonte: Horvath et al. (1983)

Johnston e Lam (1989) apresentam o mecanismo de transferência, quando da aplicação de uma carga axial em uma estaca embutida em rocha. A transferência de carga é imediata para as tensões cisalhantes de adesão na interface rocha–estaca, essas tensões se desenvolvem, provocando deslocamentos verticais (Figura 3). A estaca poderá aumentar seu diâmetro, devido à diferença das rigidezes e resistências da rocha e do concreto, além da tensão normal crescer com o aumento da dilatação, aumentando dessa forma a resistência lateral.

Figura 3 – Comportamento interface estaca–rocha.



Fonte: Johnston e Lam (1989)

De acordo com Fleming et. al. (2009), os processos de transferência de carga e resistência lateral é um fenômeno complexo e depende das características da interface, do grau de rugosidade da rocha e suas propriedades. Os autores citados afirmam ainda que é comum relacionar a adesão lateral da rocha com os resultados de resistência à compressão uniaxial.

2.3.1 Mobilização de Resistência Lateral

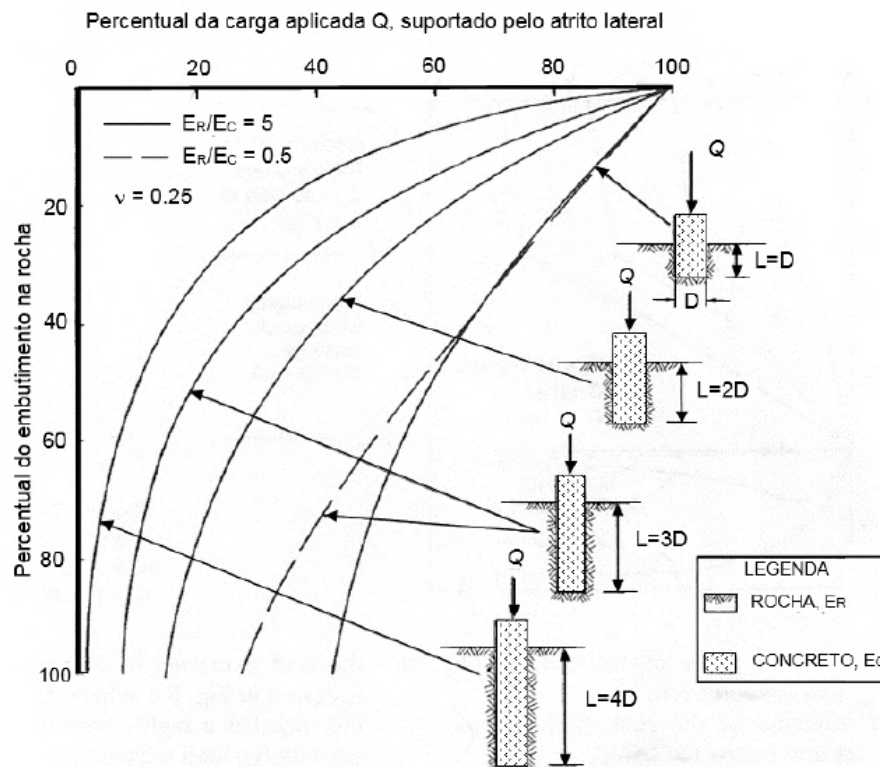
Vários autores mostram que a resistência lateral é predominante na mobilização de resistência ao carregamento axial de estacas. Somente após a ocorrência de deslocamentos por atrito na interface estaca-rocha, há a distribuição de carregamento para a ponta da estaca (LADANYI; DOMINGUE, 1980; WILLIAMS; PELLIS, 1981; ROWE; ARMITAGE, 1987).

O mecanismo de mobilização da resistência lateral na interface estaca-rocha é função dos seguintes parâmetros principais (LADANYI; DOMINGUE, 1980; WILLIAMS; PELLIS, 1981; WILLIAMS et al., 1980; KULHAWY; GOODMAN, 1987): resistência do material mais fraco (rocha ou estaca); geometria da estaca, rugosidade e processo executivo da estaca.

2.3.1.1 Geometria da estaca

Segundo Pells et al. (1980), a geometria da estaca é fator de influência no comportamento de estacas lisas, visto que elas representam uma ruptura abrupta e grande perda de resistência ao cisalhamento na interface. Devida a não uniformidade da tensão de cisalhamento observada pelos autores, eles adotam a tensão média como representativa da mobilização da estaca. Conforme pode ser observado na Figura 4, Juvêncio (2015), baseado nos estudos realizados por Osterberg e Gill (1973), diz que à medida que a relação L/D aumenta, onde L é o comprimento da estaca e D o diâmetro, parte da carga aplicada é progressivamente transferida às paredes laterais.

Figura 4 – Distribuição da tensão cisalhante na parede lateral, em relação ao comprimento do soquete.



Fonte: adaptado de Osterberg & Gill (1973)

Observa-se também que quando a geometria da estaca apresenta uma razão $L=4D$, quase toda a carga mobilizada é a lateral do trecho embutido em rocha, já quando a razão é $L=D$, 50% da carga aplicada se transmite as paredes do trecho embutido.

2.3.1.2 Rugosidade da estaca

A rugosidade de uma estaca em geral, contribui para a resistência ao cisalhamento e por isso vem sendo tema de estudos para muitos pesquisadores.

Pells et al. (1980) propuseram uma classificação (Tabela 8) para a rugosidade construída dos seus modelos reduzidos de laboratório, na tentativa de descrever o grau de rugosidade do fuste. Apesar dessa classificação não abranger todas as condições de rugosidade observadas na prática, ela tem sido amplamente usada, representando uma classificação comum e universal para a rugosidade de fuste (MASCARENHAS, 2018).

Tabela 8 – Grau de rugosidade do fuste

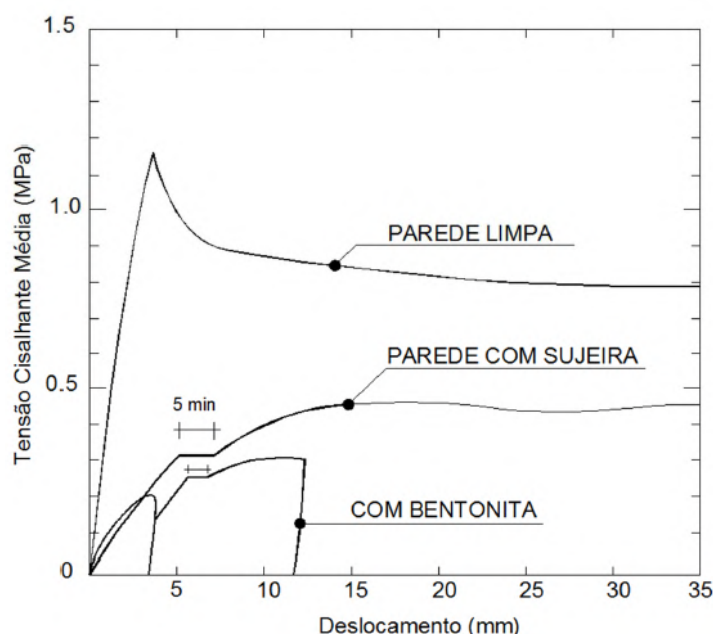
Rugosidade	Descrição
R1	Paredes laterais do embutimento lisas, ranhuras ou dentes menores que 1mm de profundidade
R2	Ranhuras com profundidades entre 1 e 4 mm, largura maior que 2 mm e espaçamento de 50 a 200 mm
R3	Ranhuras com profundidades entre 4 e 10 mm, largura maior que 5 mm, espaçamento de 50 a 200mm
R4	Ranhuras ou ondulações e profundidades maiores que 10 mm, largura maior que 10 mm, espaçamento de 50 a 200mm

Fonte: Pells *et al.* (1980)

2.3.1.3 Método Construtivo

O processo executivo da estaca é outro fator que influencia diretamente na resistência lateral das estacas. Williams e Pells (1981) analisaram estacas instrumentadas com e sem o uso de bentonita, que é utilizada para garantir a estabilidade da escavação na rocha. A Figura 5 mostra o efeito da lama bentonita no valor da resistência lateral, onde observa-se que para as estacas com rugosidade, o efeito da bentonita foi pouco significativo. Enquanto para as estacas com rugosidade equivalente menor que 10mm de profundidade, 20mm de largura eles recomendaram que o valor de projeto da resistência lateral seja reduzido para 25 %. Visto que quando utilizada a bentonita, a presença dos fragmentos interfere na tensão cisalhante da interface concreto/rocha reduzindo a mesma.

Figura 5 – Influência das condições da parede lateral na resistência cisalhante.



Fonte: adaptado de Williams & Pells (1981)

Horvath et al. (1984) e diversos autores sugerem construir ranhuras na parede do furo a fim de aumentar a resistência lateral da estaca. A presença das ranhuras ou rugosidade pode aumentar a resistência lateral em 100% para alguns casos.

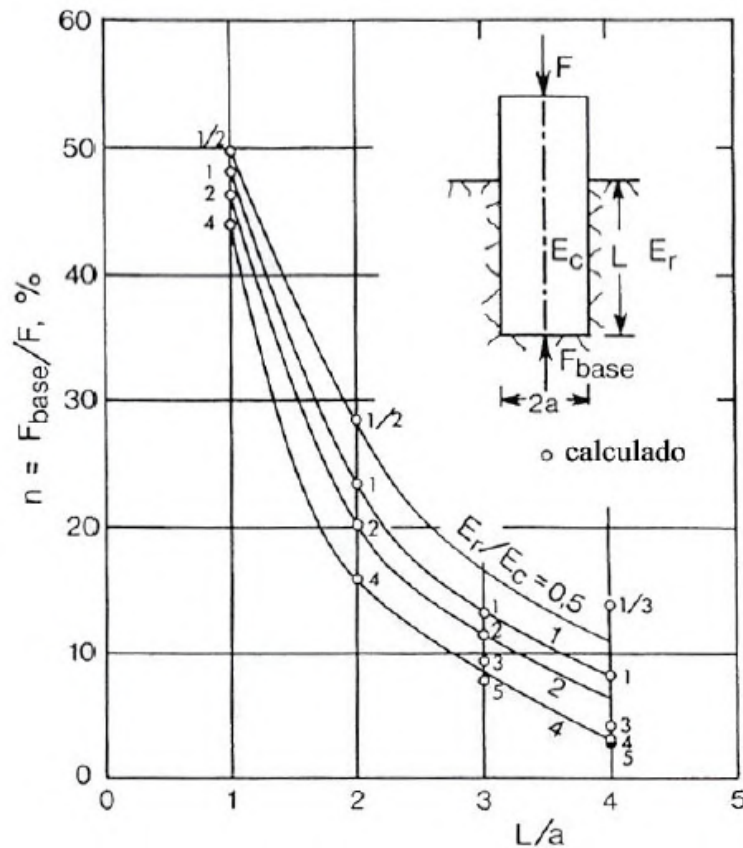
2.3.2 Mobilização de Resistência de Ponta

As metodologias de cálculos mais antigas consideravam apenas a carga mobilizada na ponta, desprezando a resistência lateral. Porém no fim da década de 1970 e início da década de 1980, vários trabalhos foram elaborados, demonstrando que parte significativa da carga aplicada é suportada pela resistência lateral com transferência muito reduzida para a ponta da estaca (LADANYI; DOMINGUE, 1980).

Uma representação gráfica da transferência de carga pode ser observada na Figura 6, onde Osterberg e Gill (1973), Ladanyi (1977) sugerem um ábaco para determinar a carga transferida para a base. A carga mobilizada na base “n” em função da carga aplicada “F” é dada em função da razão do embutimento (L/a) e razão entre os módulos de elasticidade da rocha e do concreto (E_r/E_c). Na figura observa-se que quando a relação entre o módulo de elasticidade da rocha e da estaca é igual a 0,5, a carga mobilizada na ponta é aproximadamente 11% da carga total, para uma estaca com comprimento 4 vezes maior que o raio (a).

Quanto mais resistente for a rocha constata-se que menor é a parcela de carga que chega à ponta. Ainda sobre a Figura 6, há um fator de segurança embutido no ábaco, visto que os resultados apresentados são valores de projeto.

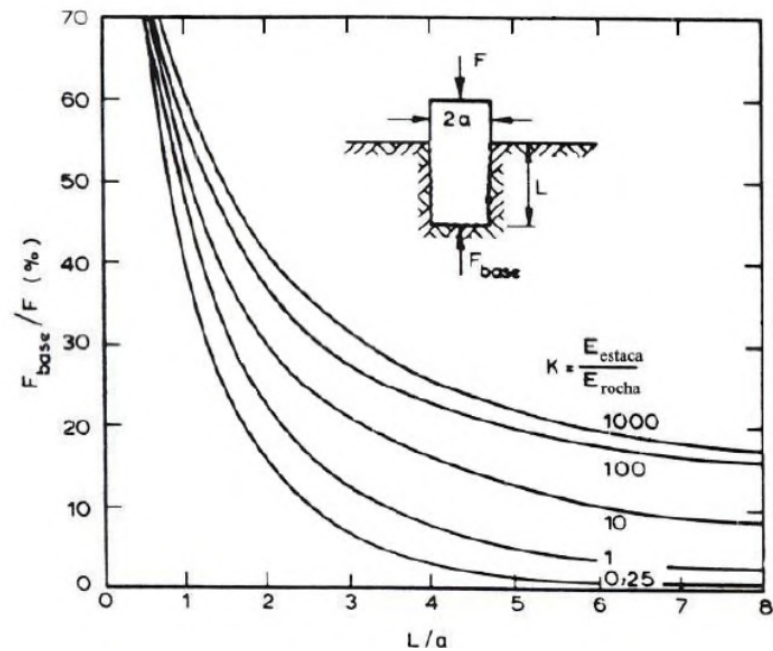
Figura 6 – Transferência de Carga mobilizada pela base.



Fonte: adaptado de Landanyi (1977)

Pells e Turner (1979) também apresentam uma proposta para determinar o percentual da carga transferida para a ponta, esses estudos foram realizados em rochas sedimentares. O gráfico $F_{base}/F(\%) \times L/a$ em função da razão entre os módulos de elasticidade do embutimento (E_{estaca}/E_{rocha}), considera uma faixa mais extensa de geometrias e rigidez de estacas embutidas em rocha normalmente encontradas na prática e admite não haver falhas internas no concreto e na rocha e se surgissem, aconteceriam na interface estaca-rocha (Figura 7).

Figura 7 – Distribuição de Carga mobilizada pela base.



Fonte: adaptado de Pells & Turner (1979)

Os valores da Figura 7 são de projetos e foram calculados com um fator de segurança embutido no gráfico igual a 3.

Quanto menor a relação entre os módulos de elasticidade da estaca e da rocha, menor a carga transferida para a ponta. Considerando as Figura 6 e Figura 7, para $K=1$ e $L/a=3$, ou seja, o comprimento da estaca é 3 vezes maior que o raio, chega-se em um resultado que a carga transferida para a ponta da estaca é aproximadamente 12%, havendo assim boa concordância entre os autores.

2.4 MÉTODOS PARA PREVISÃO DA CAPACIDADE DE CARGA DE ESTACAS EM SOLO E PARCIALMENTE EMBUTIDAS EM ROCHA

A previsão da capacidade de carga das fundações é um dos principais aspectos de projeto, de modo que a compreensão e o cálculo se tornam o principal foco de uma concepção.

Diversas metodologias, predominantemente empíricas e semiempíricas, foram propostas ao longo do tempo para fazer previsões do comportamento e da capacidade de carga das estacas em solo e embutidas em rochas. Todavia, muitas vezes há a necessidade de serem realizadas algumas alterações de projetos de fundações

quando são verificadas condições no maciço rochoso diferentes do previsto, sobretudo quando não são realizadas investigações do subsolo aprofundadas.

Para as estacas parcialmente embutidas em rocha, as metodologias empíricas utilizam valores obtidos nos ensaios de carregamento, sendo possível conseguir diretamente a estimativa do atrito lateral unitário e da resistência de ponta unitária, não sendo necessária a estimativa dos parâmetros geotécnicos, com base nas investigações realizadas, como nos métodos analíticos.

2.4.1 Métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas em solo

Como o deslocamento da estaca para atingir o pico de resistência lateral na rocha é muito menor do que no solo, a resistência lateral do solo também é desconsiderada em vários métodos. No presente trabalho a resistência do solo foi estimada por formulações semiempíricas utilizadas no Brasil (AOKI; VELLOSO 1975, DÉCOURT & QUARESMA (1978); E CABRAL, (1986)). Para esses métodos a NBR 6122/2019, determina um fator de segurança global igual a 2 para o cálculo da carga admissível.

Em geral, a capacidade de carga de uma estaca em solo é apresentada pela soma entre a resistência lateral ($Q_{l,s}$) e a parcela referente a resistência na ponta da estaca ($Q_{p,s}$), equação 2.7.

$$Q_{ult} = Q_{l,s} + Q_{p,s} \quad (2.7)$$

As parcelas de resistência lateral em solo e da ponta da estaca são apresentadas, concomitantemente pelas equações que se segue:

$$Q_{l,s} = U \sum T_{l,s} \Delta L \quad (2.8)$$

$$Q_{p,s} = q_{p,s} A_p \quad (2.9)$$

Onde:

U = perímetro da seção transversal da estaca (m);

A_p = seção transversal da estaca (m²);

$T_{l,s}$ = resistência lateral unitária no trecho em solo, em MPa;

ΔL = espessura do trecho considerado;

$q_{p,s}$ = resistência de ponta unitária da estaca em solo, em Mpa.

2.4.1.1 Método Aoki-Velloso (1975)

Modelo semiempírico para determinação das cargas em estacas com base no SPT. A resistência lateral da estaca é definida conforme equação 2.8, sabendo que a resistência do solo no fuste da estaca é encontrada usando a Equação 2.10.

$$\tau_{l,s} = \frac{\alpha k N_L}{F_2} \quad (2.10)$$

Onde:

F_2 = fator de correção, Tabela 9;

α e K coeficientes que dependem do tipo de solo, Tabela 10;

N_L = índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura ΔL ;

A resistência de ponta é apresentada por:

$$Q_{p,s} = (K N_p) / F_1 A_{p,s} \quad (2.11)$$

Em que:

N_p = índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca;

F_1 = fator de correção, Tabela 9;

Os valores de F_1 e F_2 para os diferentes tipos de estacas estão indicados na tabela abaixo:

Tabela 9 – Fatores de correção F_1 e F_2

Tipo de estaca	F_1	F_2
Franki	2.50	$2F_1$
Metálica	1.75	$2F_1$
Pré Moldada	$1 + D/0.80$	$2F_1$
Escavada	3.00	$2F_1$
Raiz, Hélice contínua e ômega	2.00	$2F_1$

Fonte: Cintra *et al.* (2010)

Os valores de “e” para os diferentes tipos de solo estão indicados na tabela abaixo:

Tabela 10 – Coeficiente k e α

Solo	K (Mpa)	α (%)
Areia	1.00	1.4
Areia siltosa	0.80	2.0
Areia siltoargilosa	0.70	2.4
Areia argilosa	0.60	3.0
Areia argilossiltosa	0.50	2.8
Silte	0.40	3.0
Silte arenoso	0.55	2.2
Silte arenoargiloso	0.45	2.8
Silte argiloso	0.23	3.4
Silte argiloarenoso	0.25	3.0
Argila	0.20	6.0
Argila arenosa	0.35	2.4
Argila arenossiltosa	0.30	2.8
Argila siltosa	0.22	4.0
Argila siltoarenosa	0.33	3.0

Fonte: Cintra *et al.* (2010)

2.4.1.2 Décourt-Quaresma (1978) modificado por Décourt (1996)

Método desenvolvido inicialmente para estacas pré-moldadas de concreto, e mais tarde ampliado para outros tipos de estacas tais como, escavadas em geral, hélice contínua e injetadas. Baseia-se nos resultados obtidos pelo ensaio de penetração (SPT). Decourt & Quaresma (1978) apresentam dois fatores de ajustes, os coeficientes (α e β) para correção da reação de ponta e da parcela do atrito lateral.

A resistência lateral, em kN, de uma estaca em solo é apresentada por:

$$Q_{l,s} = (U \cdot L \cdot \tau_{l,s}) \cdot B \quad (2.12)$$

$$\tau_{l,s} = 3,33 \cdot \bar{N} + 10 \quad (2.13)$$

Onde:

L = comprimento considerado da estaca, em m;

β = coeficiente que depende do tipo da estaca e do solo, conforme Tabela 11;

$\bar{N}$ = valor médio do NSPT ao longo do fuste, para $3 \leq \text{NSPT} \leq 50$.

A resistência de ponta é definida por:

$$Q_{p,s} = (A_{p,s} \cdot q_{p,s}) \cdot \alpha \quad (2.14)$$

$$q_{p,s} = K_p \bar{N}_p \quad (2.15)$$

Onde:

α = coeficiente que depende do tipo de estaca e do solo, conforme Tabela 11;

$\bar{N}_p$ = valor médio entre NSPT imediatamente superior e imediatamente posterior à ponta da estaca.

K_p = coeficiente relacionado ao tipo de solo da ponta da estaca, conforme Tabela 12

Tabela 11 – Coeficientes α e β para estaca raiz

Tipo de solo	α	β
Argilas	0.85	1.5
Solos intermediários	0.60	1.5
Areias	0.50	1.5

Fonte: Cintra *et al.* (2010)

Tabela 12 – Valores de K_p .

Tipo de solo	$K_p(\text{KN/m}^2)$
Argilas	120
Siltes argilosos (alteração de rocha)	200
Siltes arenosos (alteração de rocha)	250
Areias	400

Fonte: Cintra *et al.* (2010)

2.4.1.3 Método Cabral (1986)

A formulação proposta por Cabral (1986) leva em consideração, para o cálculo da carga de ruptura, as parcelas de ponta e atrito lateral.

Segundo Cabral, a resistência lateral de uma estaca raiz, com um diâmetro equivalente $D \leq 45$ cm e injetada com uma pressão $p \leq 400$ kPa, pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$Q_{l,s} = U \sum \beta_0 \beta_1 N_L \Delta_L \quad (2.16)$$

Onde:

$\beta_0 = 1 + 0,11p - 0,01 \varphi_s$, com p (kgf/cm²) e φ_s (cm);

β_1 = fator que depende do tipo de solo, conforme Tabela 13;

N_L = índice de resistência à penetração médio na camada de solo de espessura

ΔL ;

$\beta_1 N$ em kgf/cm^2 e $\beta_0 \beta_1 N \leq 2 \text{ kgf/cm}^2$.

A resistência de ponta $Q_{p,s}$, é apresentada por:

$$Q_{p,s} = \beta_0 \beta_2 N_p A_b \quad (2.17)$$

Onde:

β_2 = fator que depende do tipo de solo, conforme Tabela 13.

N_p = índice de resistência à penetração na cota de apoio da ponta da estaca;

$\beta_2 N_p$ em kgf/cm^2 e $\beta_0 \beta_2 N_b \leq 50 \text{ kgf/cm}^2$.

Tabela 13 – Valores de β_1 e β_2 em função do tipo de solo

Tipo de solo	β_1 (%)	β_2
Areia	7.0	3.0
Areia siltosa	8.0	2.8
Areia argilosa	8.0	2.3
Silte	5.0	1.8
Silte arenoso	6.0	2.0
Silte argiloso	3.5	1.0
Argila	5.0	1.0
Argila arenosa	5.0	1.5
Argila siltosa	4.0	1.0

Fonte: Cintra *et al.* (2010)

2.4.2 Métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas embutidas em maciço rochoso

A capacidade de carga de uma fundação profunda embutida em rocha é composta por duas parcelas: a parcela da resistência lateral que atua ao longo do fuste da estaca e a resistência da ponta. Dessa forma a capacidade de carga é definida como a soma das cargas máximas que podem ser suportadas por essas resistências. A equação que descreve o cálculo da carga última é a seguinte:

$$Q_{ult} = \pi \phi \int_L \tau dz + \frac{\pi \phi^2}{4} q_{m\acute{a}x} \quad (2.18)$$

$$Q_{ult} \geq FS \times Q_{trab} \quad (2.19)$$

Onde:

Q_{ult} – capacidade de carga total ou última;

Q_{trab} – carga de trabalho ou serviço;

$q_{m\acute{a}x}$ – resistência de ponta (unitária);

τ – tensão cisalhante unitária;

FS – Fator de segurança adotado na prática da engenharia de fundações, variando de 2 a 3;

ϕ – Diâmetro da estaca;

L – Comprimento da estaca.

a) Capacidade de Carga Lateral

A resistência lateral última de uma estaca embutida em rocha é o somatório da resistência ao cisalhamento, que age sobre a superfície do soquete (embutimento ou pino), expressa matematicamente por (TURNER, 2006):

$$Q_{l,r} = \int_{\text{Superfície}} \tau_{m\acute{a}x} dA = \pi \phi_r \int L_R \tau dz \quad (2.20)$$

onde:

$Q_{l,r}$ – capacidade de carga lateral total (última);

$\tau_{m\acute{a}x}$ – resistência lateral máxima ou atrito lateral máximo;

A – área da superfície ao longo da rocha;

ϕ_r – diâmetro da estaca na rocha

L_r – comprimento na rocha

Sabendo-se da heterogeneidade da maioria dos maciços rochosos, as deformações necessárias para a mobilização da resistência em cada trecho são diferentes, devido às características de rigidez dos materiais atravessados em cada camada. Dessa forma devido à complexidade, assume-se um único valor médio de resistência lateral, ao invés de calcular uma para cada camada de rocha. O valor obtido de $\tau_{m\acute{a}x}$ é multiplicado pela área da interface concreto/rocha, encontrando-se $Q_{l,r ult}$, conforme equação 2.21.

$$Q_{l,r \text{ ult}} = T_{\text{máx}} \pi \phi_r L \quad (2.21)$$

Todos os métodos de previsão da capacidade de carga lateral são baseados no parâmetro $T_{\text{máx}}$.

b) Capacidade de Carga por Ponta

Segundo Juvêncio (2015), a capacidade de carga da ponta é dada em função da área da seção transversal (AS), que na maioria das vezes é uma variável conhecida e pela resistência de ponta unitária, $q_{\text{máx}}$.

Na literatura essa correlação é por vezes apresentada da seguinte forma:

$$q_{\text{máx}} = N_c \times q_u \quad (2.22)$$

Onde N_c é o fator de capacidade de carga que depende da qualidade do maciço rochoso e do tipo de rocha. Analogamente ao que acontece à resistência cisalhante lateral (atrito lateral máximo), muitos pesquisadores procuram correlacionar esta resistência de ponta ($q_{\text{máx}}$) à compressão simples da rocha intacta (q_u) maciço rochoso, em essência, expressa o grau de descontinuidade e alteração da rocha (ZHANG; EINSTEIN, 1998 apud JUVÊNCIO, 2015).

c) Tensão Cisalhante Lateral e Resistência Unitária de Ponta

Segundo Musarra (2014) uma estaca embutida em rocha basicamente resiste ao atrito lateral (adesão rocha-estaca) e à reação de ponta, desprezando-se, na maioria dos casos, a contribuição do trecho em solo. Porém, por meio de análises de provas de cargas dinâmica, Juvêncio (2015) observou em 30 estacas testadas, em que existiam um perfil com intemperismo gradual da rocha, que a parcela de resistência suportada pelo solo atingiu 40% da carga última aplicada.

Os deslocamentos necessários para mobilizar a resistência lateral são pequenos, enquanto para se mobilizar a resistência de ponta necessita-se de esforços relativamente grandes. Geralmente toda a resistência lateral é mobilizada para um deslocamento na ordem de 6 a 13 mm, para se mobilizar totalmente a resistência de

ponta é necessário que esses deslocamentos estejam na ordem de centímetros. (OSTERBERG, 2000 apud Juvêncio, 2015)

Pode-se determinar os valores de $\tau_{\text{máx}}$ (tensão cisalhante unitária ou atrito lateral mobilizado) através dos resultados dos ensaios de campo, em que se obtém a carga lateral máxima na rocha ($Q_{l,r}$) e divide-se pela área lateral do soquete (A_s), conforme equação 2.23. Bem como os valores de $q_{\text{máx}}$ (resistência unitária de ponta), que é obtida pela divisão da carga de ponta (q_p) pela área de ponta da estaca (A_p), equação 2.24.

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Q_{l,r}}{A_s} \quad (2.23)$$

$$q_{\text{máx}} = \frac{q_p}{A_p} \quad (2.24)$$

Vários autores propõem correlações empíricas para estimar a tensão cisalhante unitária ($\tau_{\text{máx}}$) e/ou a resistência unitária de ponta ($q_{\text{máx}}$), em função da resistência à compressão simples da rocha (q_u), podem ser expressos conforme as equações (2.25) e (2.26), respectivamente.

$$\tau_{\text{máx}} = \alpha q_u \beta \quad (\text{MPa}) \quad (2.25)$$

$$q_{\text{máx}} = n q_u \rho \quad (\text{MPa}) \quad (2.26)$$

Onde, n e α estão relacionados com a qualidade do maciço rochoso e do tipo de rocha, determinados empiricamente através de provas de cargas, bem como os expoentes β e ρ . Os fatores empíricos (α e β) propostos por vários autores estão resumidos e apresentados na Tabela 14, conforme banco de dados e metodologia adotada por cada autor.

Tabela 14 – Fórmulas empíricas para estimar a resistência cisalhante unitária em maciços rochosos

Referências	Resistência cisalhante (MPa)
Rosenberg & Journeaux (1976)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.36(q_u)^{0.52}$
Horvath (1978)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.21(q_u)^{0.5}$
Meigh & Wolski (1979)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.22(q_u)^{0.6}$
Poulos & Davis (1980)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.05f_{cj}$ ou $\tau_{m\acute{a}x} = 0.05q_u$
Rowe & Armitage (1987)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.45(q_u)^{0.5}$ ou $\tau_{m\acute{a}x} = 0.6(q_u)^{0.5}$
Zhang & Einstein (1998)	$\tau_{m\acute{a}x} = 0.80(q_u)^{0.5}$ ou $\tau_{m\acute{a}x} = 0.40(q_u)^{0.5}$

Fonte: A Autora (2023)

f_{cj} é a resistência à compressão uniaxial do concreto na idade de j dias em MPa.

A determinação da resistência à compressão (q_u) é um dos principais desafios na utilização dos métodos, visto que os valores obtidos nos ensaios fornecem uma faixa ampla de variação, sendo necessário trabalhar com um limite de confiança. Ainda que alguns autores utilizem o f_{ck} também como limite, não há uma definição de uso desses parâmetros com confiabilidade.

Neste trabalho, serão apresentados alguns métodos para a estimativa da capacidade de carga de estacas embutidas em maciço rochoso que utilizam algumas das correlações indicadas acima.

Também serão apresentados outros modelos tais como, o método de Cabral e Antunes (2000), que utiliza além da resistência a compressão simples da rocha, o grau de alteração e presença de fraturas, o método de AASHTO (1996) e o método de Espanha (2011) que utilizam a resistência a compressão simples da rocha, o tipo de rocha, grau de alteração, RQD e espaçamento das descontinuidades, diferentes da correlação de $\tau_{m\acute{a}x}$ com q_u , conforme é apresentado a seguir.

2.4.2.1 Rosenberg e Journeaux, 1976

Uma das primeiras correlações empíricas apresentadas em função da resistência à compressão uniaxial da rocha para estimar a tensão cisalhante unitária ($\tau_{m\acute{a}x}$) foi apresentada por Rosenberg e Journeaux (1976). Através de resultados de provas de carga, a relação $\tau_{m\acute{a}x}$ e q_u é apresentada conforme (2.27):

$$\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{P_{atm}} = 1,09 \left(\frac{q_u}{P_{atm}} \right)^{0,52} \therefore \tau_{m\acute{a}x} = 0,36(q_u)^{0,52} \quad (\text{MPa}) \quad (2.27)$$

A relação foi baseada em seis ensaios, com q_u/P_{atm} variando entre 5 e 340. O diâmetro das estacas ensaiadas pelos autores, variaram de 200 a 610 mm. Desses seis ensaios, dois não foram levados à ruptura e dois tiveram valores de q_u estimados. Assim a correlação apresentada não indica grande consistência, sendo uma tentativa, como afirmado pelos próprios autores. Ainda assim, a proposta foi considerada na pesquisa e comparada aos resultados obtidos na mesma.

2.4.2.2 Horvath, 1978

O método sugerido por Horvath (1978) e Horvath Kenney (1979) foi baseado em estacas escavadas de vários diâmetros, descritos em 87 ensaios de campo, sendo 75 em rochas sedimentares. Ele recomenda comparar a resistência da rocha com a do concreto, pois a resistência lateral é condicionada pelo menor valor entre F_{ck}/P_{atm} e q_u/P_{atm} e conseqüentemente a menor relação esteja compreendida entre 1 e 400 (MUSARRA, 2014).

Como a relação inicial de Horvath (1978), não atendia com precisão estacas com diâmetros maiores que 400 mm, foi adaptada por Horvath Kenney (1979), para essas estacas e o embutimento com ranhuras apresentando profundidades menores que 1 mm. Assim, a relação proposta é dada pela equação (2.28):

$$\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{P_{atm}} = 0,65 \left(\frac{q_u}{P_{atm}} \right)^{0,5} \therefore \tau_{m\acute{a}x} = 0,21(q_u)^{0,5} \text{ (MPa)} \quad (2.28)$$

2.4.2.3 Meigh e Wolski, 1979

De acordo com Musarra (2014), os autores reanalisaram os dados e resultados obtidos nos trabalhos realizados por Rosenberg & Wolski (1976) e Horvath & Kenney (1979), e inseriram mais 13 ensaios executados em estacas escavadas aos resultados. A faixa q_u/P_{atm} ficou entre 2 e 200, e os autores sugeriram um limite inferior para rochas brandas q_u/P_{atm} entre 7 e 125. Com isso os autores sugerem a seguinte relação (2.29):

$$\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{P_{atm}} = 0,55 \left(\frac{q_u}{P_{atm}} \right)^{0,6} \therefore \tau_{m\acute{a}x} = 0,22(q_u)^{0,6} \text{ (MPa)} \quad (2.29)$$

2.4.2.4 Poulos e Davis, 1980

Os autores consideram que a capacidade de carga de estacas embutidas em rocha é especificada em termos de resistência à compressão uniaxial da rocha, q_u . Segundo parâmetros empíricos tem-se que a resistência unitária de ponta, pode ser considerada por:

$$q_{\text{máx}} = 0,2 \text{ a } 0,5 q_u \quad (\text{MPa}) \quad (2.30)$$

Em relação à resistência lateral unitária, Poulo e Davis (1980), a partir das limitadas informações disponíveis, estimaram que essa parcela pode ser determinada pelo menor valor dado entre:

$$T_{\text{máx}} = 0,05 f_{cj} \text{ ou } 0,05 q_u \quad (\text{MPa}) \quad (2.31)$$

Onde:

f_{cj} : resistência média do concreto à compressão prevista para a idade de j dias, em megapascals.

Essa estimativa não é indicada para rochas altamente fraturadas, além disso, os autores ressaltam a importância da remoção dos resíduos de solo na zona de embutimento. A NBR 12655 (2006) apresenta como o valor de f_{cj} é obtido.

2.4.2.5 Rowe & Armitage, 1987

Rowe & Armitage (1984;1987) levaram em consideração o banco de dados obtidos por Williams et al. (1980), Williams e Pells (1981) e Horvath (1982), com mais de 80 ensaios em mais de 20 locais diferentes. A variação q_u/P_{atm} ficou entre 4 e 400. Os autores adotaram a classificação da rugosidade elaborada por Pells et al. (1980), Tabela 8.

De acordo com a classificação da rugosidade, os autores propuseram as seguintes equações da resistência cisalhante unitária abaixo:

$$T_{\text{máx}} = 0,45(q_u)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \text{ para } R_1, R_2 \text{ e } R \quad (2.32)$$

$$T_{\text{máx}} = 0,60(q_u)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \text{ para } R_4 \quad (2.33)$$

A resistência de ponta unitária é dada por:

$$q_{\text{máx}} = q_u \quad (\text{MPa}) \quad (2.34)$$

Para os autores a mobilização da ponta da estaca só acontece após o esgotamento do atrito lateral na interface estaca-rocha, ademais, estabelece que $q_u \leq 30 \text{ MPa}$.

2.4.2.6 Método da AASHTO, 1996

Segundo a Norma AASHTO, a capacidade de carga de uma estaca embutida em rocha é determinada a partir da seguinte equação:

$$Q_{\text{ult}} = Q_{l,r} + Q_{p,r} \quad (2.35)$$

Onde:

Q_{ult} = capacidade de carga última da estaca (ruptura);

$Q_{l,r}$ = resistência lateral última

$Q_{p,r}$ = resistência de ponta última.

Sendo a capacidade de carga de trabalho definida como:

$$Q_A = \frac{Q_{\text{ult}}}{FS}, \text{ onde} \quad (2.36)$$

Q_A é a capacidade de carga de trabalho e FS é o fator de segurança a ser aplicado.

Para o cálculo da capacidade de carga de ponta, tem-se:

$$Q_{p,r} = N_{ms} q_u A_t \quad (2.37)$$

N_{ms} = Coeficiente determinado em função da qualidade e tipo da rocha.

q_u = Resistência à compressão simples da rocha (ksf).

A_t = Área da ponta da estaca (ft²).

O valor de N_{ms} pode ser obtido a partir das Figura 8 e Figura 9. A norma prevê ainda que contribuição da resistência de ponta só poderá ser considerada, caso o recalque previsto para a estaca seja superior a 1cm (0,4in).

Figura 8 – Quadro para determinação de N_{ms} .

Rock Mass Quality	General Description	RMR ⁽¹⁾	NGI ⁽²⁾	RQD ⁽³⁾	N_{ms} ⁽⁴⁾				
		Rating	Rating	(%)	A	B	C	D	E
Excellent	Intact rock with joints spaced > 10 feet apart	100	500	95-100	3.8	4.3	5.0	5.2	6.1
Very good	Tightly interlocking, undisturbed rock with rough unweathered joints spaced 3 to 10 feet apart	85	100	90-95	1.4	1.6	1.9	2.0	2.3
Good	Fresh to slightly weathered rock, slightly disturbed with joints spaced 3 to 10 feet apart	65	10	75-90	0.28	0.32	0.38	0.40	0.46
Fair	Rock with several sets of moderately weathered joints spaced 1 to 3 feet apart	44	1	50-75	0.049	0.056	0.066	0.069	0.081
Poor	Rock with numerous weathered joints spaced 1 to 20 inches apart with some gouge	23	0.1	25-50	0.015	0.016	0.019	0.020	0.024
Very poor	Rock with numerous highly weathered joints spaced < 2 inches apart	3	0.01	<25	Use q_{ult} for an equivalent soil mass				

Fonte: Norma AASHTO (1996).

Figura 9 – Resistência à compressão simples em função do tipo de rocha.

Rock Category	General Description	Rock Type	C _o ⁽¹⁾	
			(ksf)	(psi)
A	Carbonate rocks with well-developed crystal cleavage	Dolostone	700- 6,500	4,800-45,000
		Limestone	500- 6,000	3,500-42,000
		Carbonatite	800- 1,500	5,500-10,000
		Marble	800- 5,000	5,500-35,000
		Tactite-Skarn	2,700- 7,000	19,000-49,000
B	Lithified argillaceous rock	Argillite	600- 3,000	4,200-21,000
		Claystone	30- 170	200- 1,200
		Marlstone	1,000- 4,000	7,600-28,000
		Phyllite	500- 5,000	3,500-35,000
		Siltstone	200- 2,500	1,400-17,000
		Shale ⁽²⁾	150- 740	1,000- 5,100
		Slate	3,000- 4,400	21,000-30,000
C	Arenaceous rocks with strong crystals and poor cleavage	Conglomerate	700- 4,600	4,800-32,000
		Sandstone	1,400- 3,600	9,700-25,000
		Quartzite	1,300- 8,000	9,000-55,000
D	Fine-grained igneous crystalline rock	Andesite	2,100- 3,800	14,000-26,000
		Diabase	450-12,000	3,100-83,000
E	Coarse-grained igneous and metamorphic crystalline rock	Amphibolite	2,500- 5,800	17,000-40,000
		Gabbro	2,600- 6,500	18,000-45,000
		Gneiss	500- 6,500	3,500-45,000
		Granite	300- 7,000	2,100-49,000
		Quartzdiorite	200- 2,100	1,400-14,000
		Quartzmonzonite	2,700- 3,300	19,000-23,000
		Schist	200- 3,000	1,400-21,000
		Syenite	3,800- 9,000	26,000-62,000

Fonte: Norma AASHTO (1996)

A resistência lateral na ruptura é dada pela equação:

$$Q_{l,r} = \pi \phi_r L_r (0.144 \tau_{\text{máx}}) \quad (2.38)$$

Onde:

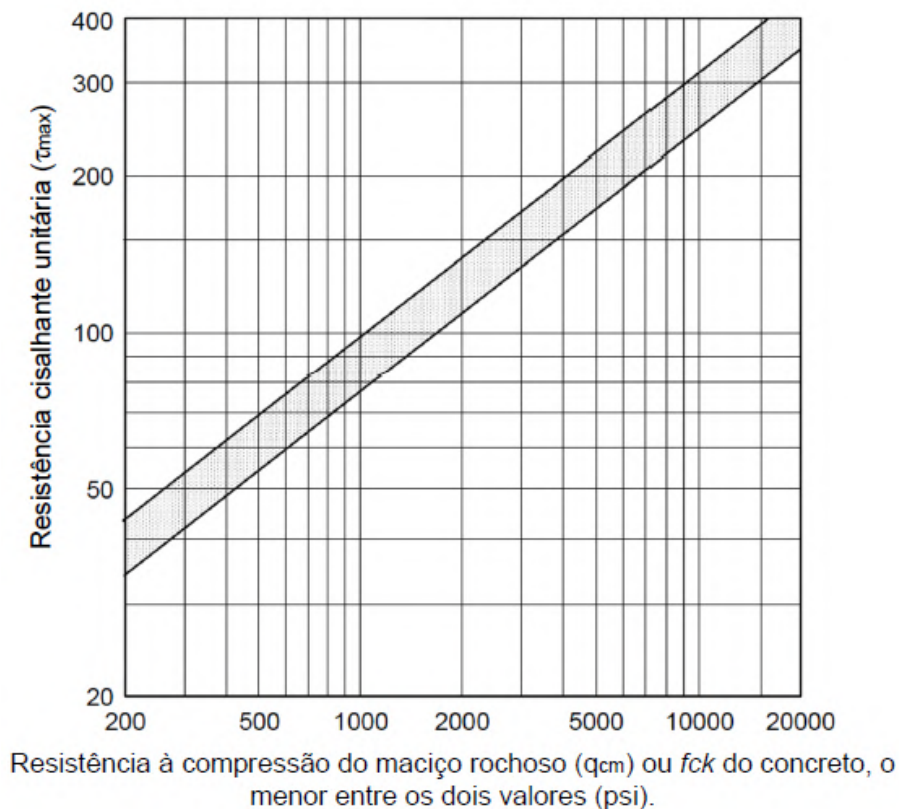
ϕ_r = Diâmetro das estacas no trecho embutido em rocha (ft).

L_r = Comprimento da estaca embutido em rocha (ft).

$\tau_{\text{máx}}$ = Resistência cisalhante unitária (psi).

O valor da resistência lateral unitária é determinado através do gráfico apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Resistência unitária lateral média em rocha com parede não rugosa.



Fonte: adaptado de Horvath *et al.* (1983 apud JUVÊNCIO 2017).

Conforme pode ser observado na Figura 10 a resistência lateral unitária é estimada a partir da resistência à compressão da rocha (q_{cm}) ou do f_{ck} , o menor entre eles.

A resistência à compressão da rocha, segundo a norma, pode ser estimada com a seguinte equação,

$$q_{cm} = \alpha_e q_u \quad (\text{MPa}) \quad (2.39)$$

q_u = Resistência à compressão simples da rocha obtida a partir de ensaios de laboratório.

α_e = fator de modificação da resistência à compressão simples da rocha, obtido através da expressão a seguir.

$$\alpha_e = 0,0231(RQD) - 1,32 \geq 0,15 \quad (2.40)$$

2.4.2.7 Zhang e Einstein, 1998

Os autores propuseram correlações para a determinação da resistência lateral unitária, e de ponta, através de informações publicadas na literatura, um banco de dados composto por 39 provas de carga em estaca embutida em rocha, com razão de embutimento superior a 3 e resistência à compressão uniaxial variando entre 0,52 MPa a 55 MPa.

No caso da resistência lateral unitária, o método leva em consideração a classificação propostas por Pells et al (1980), Tabela 8, conforme apresentado a seguir:

$$T_{m\acute{a}x} = 0,40 (q_u)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \text{ para } R_1, R_2 \text{ ou } R_3 \quad (2.41)$$

$$T_{m\acute{a}x} = 0,80 (q_u)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \text{ para } R \quad (2.42)$$

Com relação à resistência de ponta unitária, o método considera que:

$$q_{m\acute{a}x} = 3 \text{ a } 6,6 (q_u)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \quad (2.43)$$

2.4.2.8 Método de Cabral e Antunes, 2000

Devido a grande diferença dos coeficientes de rigidez do solo e da rocha, a maioria dos autores apenas considera a capacidade de carga do trecho em rocha, desprezando-se a contribuição do solo e usando um coeficiente de segurança global igual a 3 (FERREIRA, 2017).

Cabral e Antunes (2000), afirma que é possível considerar a resistência de atrito lateral do solo quando este apresentar resistência razoável, se o trecho da estaca em solo tiver deformação elástica superior a δ_0 , (2.44). Mantendo-se o fator de segurança global de 3,00.

$$\delta_0 = 2\text{mm} + 0,2\phi_s \quad (2.44)$$

Sendo ϕ_s o diâmetro da estaca em mm.

Considera que o trecho em solo é superior a 20 vezes ao diâmetro e o SPT médio do solo ultrapassa 10 golpes. Quanto a parcela resistente de ponta, a eficiência é diretamente proporcional à limpeza da ponta da estaca e está relacionada à qualidade do maciço rochoso, onde ocorre o contato concreto-rocha. A resistência de ponta unitária é expressa por:

$$q_{\text{máx}} = n q_u \leq 0,4 f_{ck} \quad (\text{MPa}) \quad (2.45)$$

Onde:

$q_{\text{máx}}$ = resistência de ponta unitária da estaca, considerando-se o maciço rochoso homogêneo.

n = Fator de correção que leva em conta o grau de alteração e pequenas fraturas, Tabela 15.

f_{ck} = resistência característica do concreto à compressão.

Tabela 15 – Valores de n

Condição da rocha	n
Muito alterada	0,07 a 0,13
Alterada	0,24 a 0,36
Pouco alterada a sã	0,48 a 0,60

Fonte: Adaptado de Cabral e Antunes (2000)

Os valores de resistência à compressão simples da rocha admitidas por Antunes e Cabral (2000), são mostrados na Tabela 15.

Tabela 16 – Resistência à compressão simples para diferentes tipos de rocha.

Tipo de Rocha	q_u (MPa)
Rochas ígneas e metamórficas (granitos, Basaltos e gnaisses).	70 a 250
Rochas metamórficas foliadas Ardósias e xistos.	40 a 90
Rochas sedimentares bem cimentadas Arenitos, calcários, siltitos.	30 a 80

Fonte: adaptado de Cabral e Antunes (2000)

Para cálculo da resistência cisalhante unitária ($\tau_{m\acute{a}x}$), os autores propõem à seguinte equação:

$$\tau_{m\acute{a}x} = 2,5 \text{ a } 3,5\% q_{m\acute{a}x} < f_{ck}/15 \quad (2.46)$$

2.4.2.9 Método de Espanha, 2011

O método proposto por Espanha (2011) não deve ser aplicado para uma rocha altamente fraturada ($q_u < 1\text{MPa}$), que apresente RQD $< 10\%$, ou ainda uma rocha altamente intemperizada.

Espanha (2011) propõe uma adaptação da tensão admissível de uma fundação rasa na mesma rocha, aumentada por fatores. Espanã (2011) destaca que a tensão admissível em fundações rasas depende, de (q_u), tipo de rocha, grau de alteração, RQD e espaçamento das descontinuidades. A tensão admissível é dada pela Equação 2.47.

A partir da determinação de $P_{v,adm}$ é possível fazer estimativas quanto a resistência lateral do embutimento e da resistência da ponta da estaca.

$$P_{v,adm} = p_0 \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \sqrt{\frac{q_u}{p_0}} \quad (\text{MPa}) \quad (2.47)$$

Onde:

p_0 = pressão de referência, adotada como 1MPa.

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ = são os parâmetros adimensionais que dependem do tipo de rocha, seu grau de alteração e o espaçamento das descontinuidades.

Estes parâmetros devem ser representativos até um volume de rocha considerável abaixo da fundação até uma profundidade de $1,5D_r$, medida a partir do seu plano de apoio, sendo D_r o diâmetro da estaca embutido no maciço rochoso.

A forma como são determinados os parâmetros adimensionais é apresentada na sequência.

a. • Influência do tipo de rocha (α_1)

O parâmetro α_1 pode ser determinado em laboratório a partir de amostras ensaiadas à tração, com o resultado tem-se que:

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{10\sigma_t}{q_u}} \quad (2.48)$$

Na falta de ensaios específico a respeito deste parâmetro, pode-se utilizar os valores presentes na Tabela 17

Tabela 17 – Valores de α_1 segundo o tipo de rocha

Grupo	Nome genérico	α_1
1	Rocha com estrutura bem desenvolvida	1,0
2	Rochas ígneas e rochas metamórficas*	0,8
3	Rochas sedimentares** e algumas metamórficas	0,64
4	Rochas pouco consolidadas	0,4

Fonte: Espanha (2011)

(*) A exceção das rochas indicadas nos grupos 1 e 3.

(**) A exceção das rochas indicadas nos grupos 1 e 4.

Nos casos em que existem diferentes tipos de rocha na ponta da estaca ou dúvidas quanto à sua classificação, deve-se tomar como valor de cálculo $\alpha_1 = 0,4$.

b. • Influência do grau de alteração (α_2)

Para analisar a influência do grau de alteração da rocha que está em torno da estaca considera-se a pior condição encontrada até uma profundidade de $1,5D$, medida a partir do plano de apoio da ponta da estaca. Os valores estabelecidos para o parâmetro α_2 , são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Valores de α_2 em função do grau de alteração.

Grau de alteração	Nome genérico	α_2
I	Rocha inalterada	1,0
II	Rocha levemente alterada	0,7
III	Rocha moderadamente alterada	0,5

Fonte: Espanha (2011)

c. • Influência do espaçamento das descontinuidades (α_3)

De acordo com o método, a separação entre descontinuidades deve se caracterizar de duas formas diferentes:

- Mediante a observação das descontinuidades em afloramentos próximos a zona da fundação;
- Mediante o valor de RQD obtido pela avaliação dos testemunhos de sondagens.

Para essa análise a zona de referência será o volume rochoso situado abaixo da fundação até uma profundidade de $1,5\phi_r$. Partindo destes dados, o parâmetro α_3 é determinado como o valor mínimo entre as seguintes relações:

$$\alpha_{3a} = \sqrt{\frac{S}{1m}} \quad (2.49)$$

$$\alpha_{3b} = \sqrt{\frac{RQD\%}{100}} \quad (2.50)$$

Onde S é o espaçamento entre as descontinuidades (m).

A determinação da resistência unitária de ponta da estaca em maciço rochoso, na ruptura, a partir de $P_{v, adm.}$, é dada por:

$$q_{\text{máx.}} = 2 P_{v, adm} \text{ (MPa)} \quad (2.51)$$

Nos casos em que o comprimento do embutimento (L_R) é considerável, o método propõe a aplicação de um fator de embutimento na parcela de resistência da ponta da estaca. Esse fator é encontrado a partir da seguinte relação:

$$d_f = 1 + 0,4 \frac{L_R}{\phi_r} \leq 2 \quad (2.52)$$

Com relação à parcela da resistência lateral unitária do embutimento em rocha ($\tau_{m\acute{a}x}$), o método determina que seja contabilizada apenas no trecho com embutimento em rocha não alterada.

Para o trecho da estaca em contato com o solo, o método de Espanã (2011) considera que o atrito do fuste da estaca nessa região, necessita de uma deformação que em geral não é compatível com a do embutimento em rocha. Dessa forma, apenas é computado a resistência lateral da estaca proveniente do trecho embutido no maciço rochoso. Finalmente $\tau_{m\acute{a}x}$, é dado por:

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0,1 q_{M\acute{a}x} \text{ (MPa)} \quad (2.53)$$

2.4.2.10 Método de Xu, 2020

Xu (2020) desenvolveu algumas relações, a partir de uma pesquisa extensa, revisando os dados empíricos de vários métodos anteriores, para estimar a resistência lateral unitária.

Três relações são, assim, propostas entre a resistência lateral unitária ($\tau_{m\acute{a}x}$) e a resistência à compressão do maciço rochoso (q_u) usando o RQD e considerando a influência das descontinuidades do maciço rochoso, conforme equações 2.54, 2.56 e 2.58, todas em MPa.

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0,478 q_{um1}^{0,432} \text{ (MPa)} \quad (2.54)$$

Onde:

$$q_{um1} = 0,33 q_u, \text{ quando RQD} < 70\% \text{ e}$$

$$q_{um1} = 0,33 q_u + (RQD - 70) \times 0,0157$$

$$\text{quando } 70\% < RQD \leq 100\% \dots \quad (2.55)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0,386 q_{um2}^{0,456} \text{ (MPa)} \quad (2.56)$$

$$q_{um2} = \alpha_E \times q_u, \text{ onde}$$

$$(\alpha_E = 0,0231 RQD - 1,32 \geq 0,15 = 0,0231 RQD - 1,32 \geq 0,15) \quad (2.57)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 0,532 q_{um3}^{0,425} \quad (2.58)$$

$$q_{um3} = q_u \times 10^{0,013 RQD - 1,34} \quad (2.59)$$

Das três relações propostas, Xu (2020) recomenda o uso das equações 2.58 e 2.59, para prever a resistência lateral unitária.

2.4.3 Análise dos testes de carregamento para estacas- Modelo de Massad (1995)

2.4.3.1 Comportamento da Curva Carga x Recalque

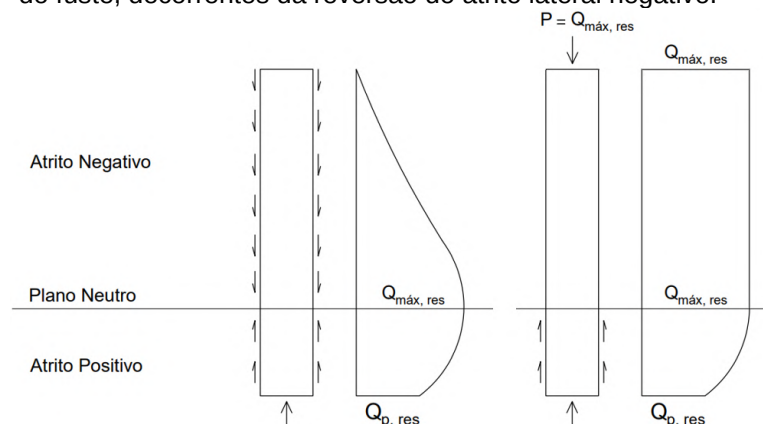
Um aspecto que não costuma ser analisado no estudo do estado limite de serviço (ELS) é a influência das cargas residuais, embora elas afetem a curva carga recalque de forma significativa.

As cargas residuais ocorrem em estacas cravadas a percussão ou por prensagem e em estacas escavadas após uma prova de carga estática convencional ou após um ensaio de carregamento dinâmico.

As cargas residuais não afetam a carga de ruptura, ELU, mas afetam a transferência de carga e, portanto, o ELS. Quando estão presentes e não são conhecidas, os recalques previstos são maiores do que quando são conhecidas.

Quando a estaca é descarregada após sofrer uma carga de compressão, o fuste tende a retornar ao seu comprimento original. O solo, ao restringir o descarregamento da estaca, mobiliza uma reação contrária ao sentido da tendência ao deslocamento, gerando uma resistência por atrito negativo que é equilibrado pelo atrito positivo abaixo do plano neutro e pela carga residual aprisionada na ponta da estaca. A estaca encontra-se pré-comprimida, Figura 11a.

Figura 11 – a) Geração da carga residual como reação à tendência de descarregamento; b) Carga adicional que produz deslocamentos apenas elásticos do fuste, decorrentes da reversão do atrito lateral negativo.

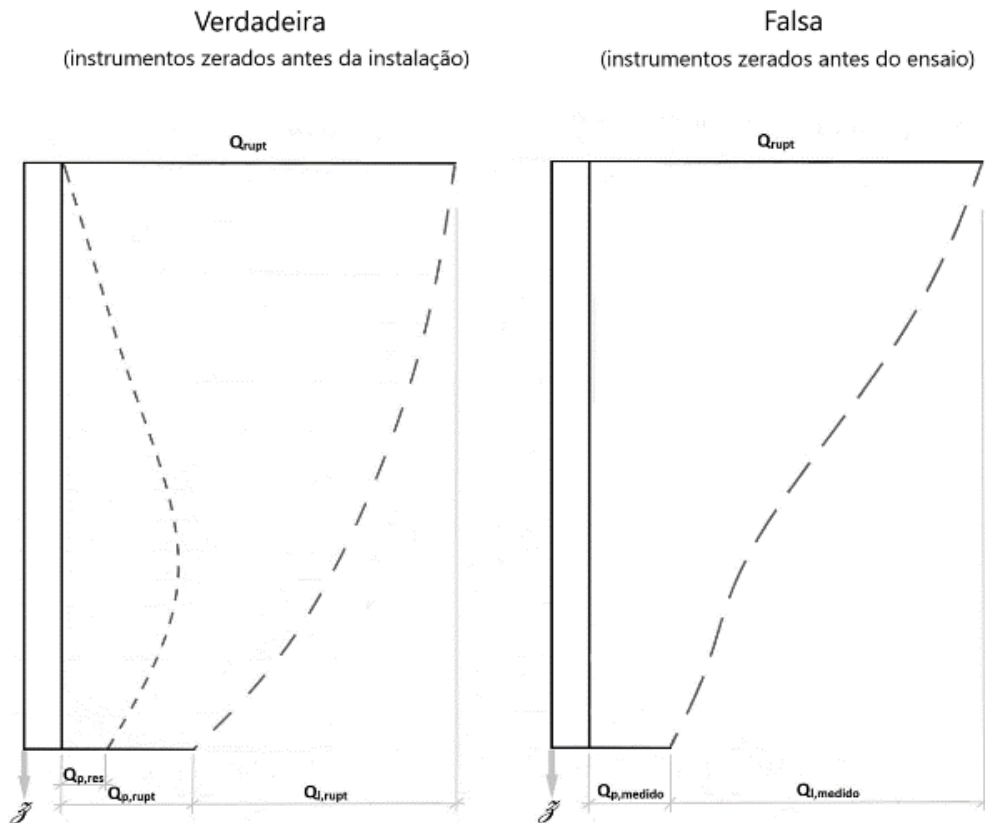


Fonte: Danziger (2023)

Até que a carga externa transferida pela estrutura ao topo se iguale à carga residual máxima, o atrito negativo é revertido sem que o solo abaixo do plano neutro seja carregado de forma significativa. Para este nível de carregamento no topo, o deslocamento provocado pela carga normal adicional até o ponto neutro, será, preponderantemente, deslocamento elástico do material do fuste da estaca. Para cargas maiores, o atrito positivo disponível será mobilizado até o plano neutro bem como aquele atrito positivo ainda não mobilizado no trecho abaixo do plano neutro. Pode-se observar que os recalques serão praticamente elásticos e de pequeno valor até que a carga atuante no topo supere a carga residual na ponta somada ao atrito lateral total disponível.

Para melhor ilustrar o que ocorre numa prova de carga instrumentada, destaca-se a Figura 12a que mostra a transferência de carga verdadeira na ruptura obtida quando a instrumentação é procedida com a zeragem dos instrumentos anteriormente à instalação da fundação. Neste caso, os instrumentos registram as cargas residuais geradas durante a cravação, ou num carregamento anterior de uma estaca escavada, além do registro da transferência verdadeira. Na Figura 12b, que representa os registros obtidos de instrumentos zerados antes do ensaio, a transferência de carga medida é falsa, não registrando as cargas residuais anteriores ao ensaio. A transferência falsa somada à curva de cargas residuais é igual à transferência verdadeira. Porém, a menos que o projetista disponha de um procedimento para a previsão acurada das cargas residuais, não se tem conhecimento de seu valor, a menos que sejam zerados os instrumentos antes da instalação.

Figura 12 – Cargas residuais aprisionadas nas estacas após seu descarregamento (após cravação, prensagem ou carregamento prévio por uma prova de carga.



Fonte: Danziger (2023)

Além dos procedimentos de previsão das cargas residuais, como os casos ilustrados por Holloway et al. (1978), Darrag e Lovel (1989), Briaud e Tucker (1984), Poulos (1987), Costa et al. (2001), as cargas residuais podem ser obtidas de instrumentações zeradas antes da instalação, Gregersen et al. (1973), Cooke (1979), Rieke e Crowser (1987), Briaud et al. (1989), bem como da interpretação de provas de carga, Decourt (1991), Massad (1992, 1993) e Fellenius (1995, 2003). Os trabalhos de Massad (1992, 1993), entre outros, são muito interessantes, uma vez que o autor desenvolveu um modelo bem geral, aplicável tanto a estacas cravadas, prensadas ou escavadas, embutidas em solo relativamente homogêneo ou em solos heterogêneos, com embutimento final em camada de solo muito mais resistente. Os trabalhos de Decourt (1991) e de Fellenius (2005) não serão aqui detalhados, uma vez que para a aplicação do método de Decourt (1991) é necessário se ter um segundo carregamento no ensaio e o método de Fellenius (2002, 2003) é aplicável apenas a provas de carga instrumentadas.

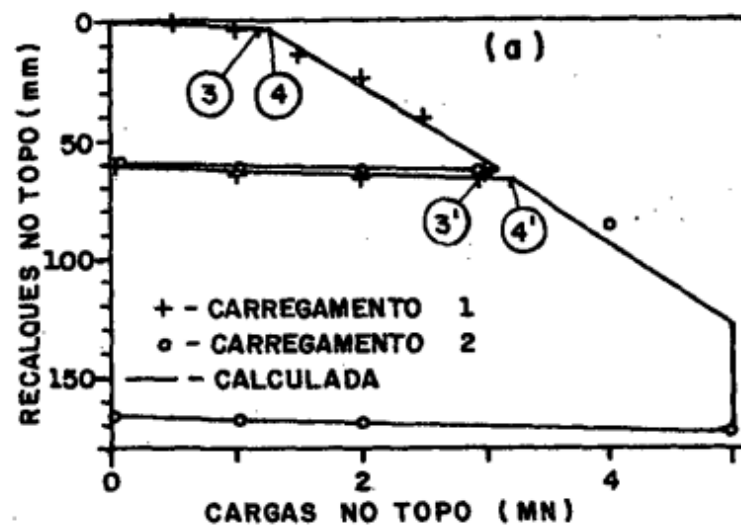
2.4.3.2 Método de Massad (1992)

Massad (1992) apresentou um modelo matemático geral, para interpretação de PCE de estacas escavadas e cravadas, que incorpora as cargas residuais, inicialmente para solos relativamente homogêneos. Em Massad (1993) o autor estendeu o método para o caso de estacas com embutimento em camada mais resistente. Massad já publicou inúmeros outros trabalhos com interpretação da curva carga x recalque, nos seus vários trechos, para vários tipos de estacas.

O fato de ocorrer uma carga residual na ponta explica a forma da curva carga x recalque no segundo carregamento em estacas escavadas.

Na Figura 13, adaptada de Massad (1992), o ponto 4, do primeiro carregamento, plena mobilização do atrito lateral, se desloca para a direita, 4', no segundo carregamento, caracterizando a presença da carga residual.

Figura 13 – Prova de carga numa estaca barrete rígida, primeiro e segundo carregamento.



Fonte: Massad (1992)

Para melhor compreensão do texto original do autor, a autora desta pesquisa irá manter, neste Capítulo e nos seguintes, a mesma designação de Massad (1992,1993) para as variáveis utilizadas em seu modelo.

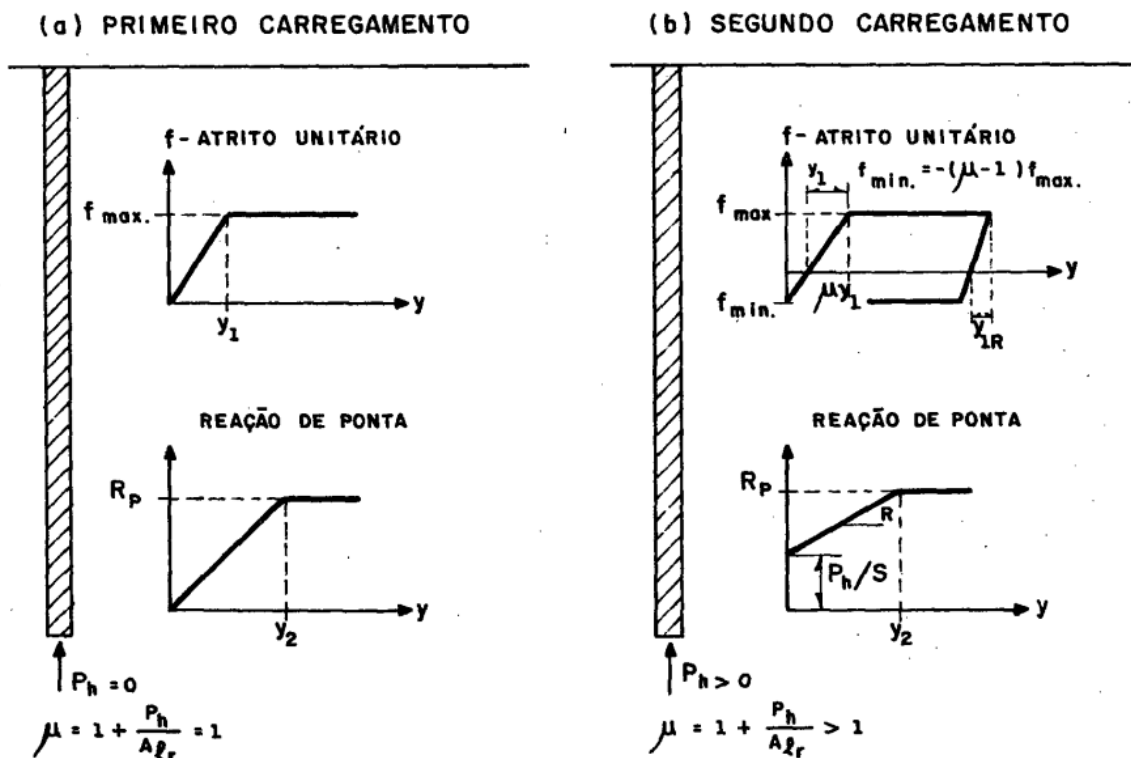
$$\text{Massad (1992) definiu o coeficiente} \quad \mu = 1 + \frac{P_h}{A_{lr}} \quad (2.60)$$

Sendo P_h = carga residual na ponta.

Caso não se tenha cargas residuais, $P_h = 0$ e o valor de μ será unitário. Neste caso a interpretação segue com as demais equações do modelo que serão apresentadas a seguir. Se a estaca for de ponta, a carga residual na ponta será, no máximo, igual à carga disponível à ruptura por atrito lateral, e μ será igual a 2. Caso o atrito lateral seja a parcela mais relevante, o valor de μ será inferior a 2.

Na generalização do modelo matemático, além de introduzir o coeficiente μ , Massad propõe modificação nas Leis de Camberfort (funções de transferência de carga para a resistência de atrito e de ponta) para considerar a reversão do atrito lateral. Na Figura 14, Massad (1992) ilustra as Leis de Camberfort modificadas pelo autor.

Figura 14 – Relações de Camberfort modificadas por Massad (1992).



Fonte: Massad (1992)

Na Figura 14 da esquerda, a primeira Lei de Camberfort está relacionada à transferência de carga por atrito lateral unitário, atrito este considerado uniforme para toda a camada de solo homogêneo. O valor $f_{\max}$ corresponde ao máximo atrito disponível que é mobilizado para um deslocamento y_1 . A segunda Lei de Camberfort está relacionada à transferência de carga pela ponta. O valor de R_p corresponde à tensão de ruptura unitária na ponta, que é atingida, num modelo rígido elasto-plástico,

para um deslocamento y_2 . As Leis de Camberfort indicam, num primeiro carregamento de uma prova de carga em estacas escavadas, a não ocorrência da carga residual. Por esta razão ambas as curvas partem da origem e o valor de μ é igual a 1, já que o valor de P_h , carga residual na ponta, é nula.

Na Figura 14 da direita, as Leis de Camberfort foram adaptadas ao segundo carregamento, situação em que as cargas residuais estão, em geral, presentes. Observe que na primeira Lei de Camberfort o atrito lateral unitário parte de um valor inicial negativo, em consonância com a Figura 12 anterior, e o mesmo acontece na segunda Lei de Camberfort, em que parte da resistência unitária de ponta disponível, de valor igual a P_h/S , resistência residual unitária na ponta, já encontra-se mobilizada para um deslocamento nulo da ponta no segundo carregamento, em conformidade com a Figura 11. Como a carga P_h é uma carga, e não tensão, Massad (1992) dividiu-a pela área S da ponta da estaca na segunda Lei de Camberfort por ele adaptada. Neste caso, como P_h é maior que zero, o valor de μ é superior à unidade.

Ao coeficiente angular da primeira Lei de Camberfort, cuja unidade no SI é em kN/m^3 , Massad designou por B . Ao coeficiente angular da segunda Lei de Camberfort, que no SI é também em kN/m^3 , Massad designou por R .

A rigidez da estaca, como elemento estrutural (pilar sem considerar a contenção lateral do solo) é designada por K_r , sendo:

$$K_r = ES/h \quad (2.61)$$

Sendo E o módulo de elasticidade do material da estaca, S a área de sua seção transversal, suposta constante, e h a profundidade do embutimento. O valor de K_r , no SI é dado em kN/m .

Massad (1992) introduz dois coeficientes adimensionais que serão utilizados nas equações de seu modelo.

$$1) \text{ Rigidez relativa solo x estaca } k = 4 \left(\frac{h}{D}\right)^2 \times \left(\frac{B \cdot D}{E}\right) \quad (2.62)$$

Sendo $B = \frac{f_{\max}}{y_1}$, a inclinação da 1ª Lei de Camberfort, como já ilustrado, e D o diâmetro da estaca. As demais variáveis já foram apresentadas anteriormente. Veja

que k é um valor adimensional e está relacionado à rigidez estrutural da estaca e ao coeficiente angular da transferência por atrito, expressa pela 1ª Lei de Camberfort.

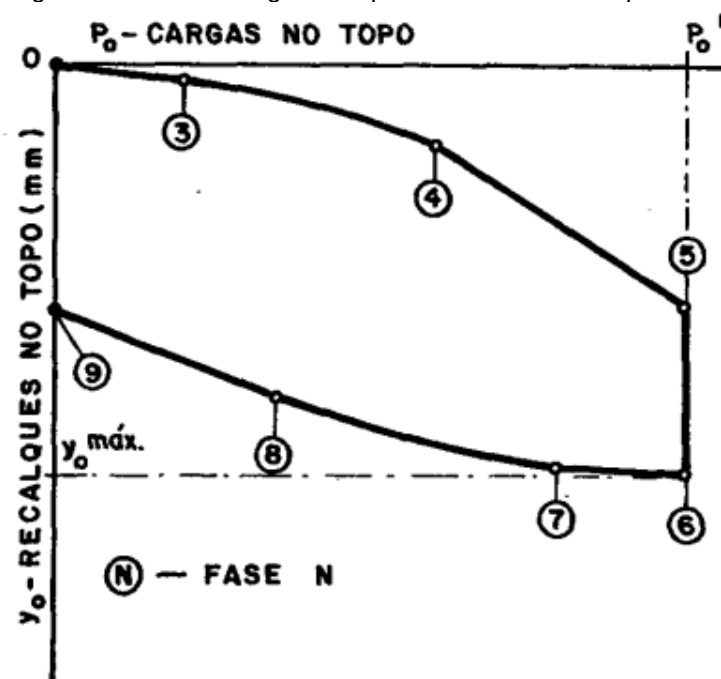
Chega-se à equação (2.62), rigidez relativa, pela relação entre a rigidez do solo ao longo da primeira Lei de Camberfort, A_{lr}/y_1 , e a rigidez estrutural da estaca, ES/h , fazendo A_{lr} , atrito lateral disponível na ruptura, igual à tensão lateral na ruptura do solo, suposta constante ao longo de todo o embutimento, multiplicada pelo perímetro da estaca, πD , multiplicada ainda pela profundidade de embutimento h .

No caso de estacas infinitamente rígidas, $k = 0$, o atrito lateral atinge seu valor máximo instantaneamente ao longo do fuste da estaca.

No caso de estacas infinitamente compressíveis, $k = \infty$, a deformabilidade estrutural da estaca é essencial no comportamento, desenvolve-se gradualmente, do topo para a ponta da estaca, plena mobilização do atrito lateral.

2) $m = \frac{R S y_1}{A_{lr}}$, relaciona a carga mobilizada na ponta, sendo que R , já definido anteriormente, é o coeficiente angular da 2ª lei de Camberfort, o autor mostra, através de seu modelo, que a curva carga x recalque apresenta 4 trechos, no carregamento, delimitados pelos pontos da Figura 15.

Figura 15 – Curva carga recalque teórica modelada por Massad (1992)



Fonte: Massad (1992)

Trecho 1-2, relativo à parcela de adesão na 1ª Lei de Camberfort original, foi considerada nula (pontos 1 e 2 coincidentes com a origem dos eixos).

Trecho 0-3, retilíneo, fase pseudo-elástica de mobilização do atrito lateral.

Trecho 3-4, é próximo a parábola se k for muito grande ($k > 8$) avanço da mobilização do atrito ao longo do fuste, do topo (3) à ponta (4), para estacas compressíveis. Não existe este trecho da curva na estaca curta, como se observa na Figura 13.

Trecho 4-5, de forma linear, mobilização da resistência de ponta ao longo do trecho pseudo-elástico da 2ª lei de Camberfort.

Trecho 5-6, representa o que ocorre na ruptura da ponta. Em estacas de atrito, os pontos 4 e 5 coincidem.

No descarregamento, rebound ou repique, admitindo-se que o carregamento ultrapasse o ponto 4, ou seja, todo o atrito lateral disponível foi mobilizado no carregamento, ocorrem 3 trechos:

Trecho 6-7, pseudo-elástico da volta na lei de Camberfort (redução do atrito lateral positivo).

Trecho 7-8, trecho curvo, parabólico, da plena mobilização do atrito no sentido reverso.

Trecho 8-9, trecho retilíneo associado ao rebound pleno.

Massad (1992) em seu modelo procurou descrever cada trecho da curva da Figura 15.

a. Primeiro trecho, 0-3, fase pseudo-elástica da mobilização do atrito lateral

Massad (1992) sugere que o trecho retilíneo inicial, 0-3, seja representado pela equação abaixo:

$$P_0 = \frac{\mu A_{lr}}{z} \left[\frac{\operatorname{tgh}(z) + mz}{1 + mzt\operatorname{gh}(z)} \right] \quad (2.63)$$

e

$$y_0 = \mu y_1 \text{ onde } z = \sqrt{k} \quad (2.64)$$

Observe a presença de “m” na equação, o que mostra que mesmo neste trecho pseudo-elástico da mobilização do atrito lateral, alguma carga já foi mobilizada pela ponta.

b. Trecho 3 – 4

Neste segundo trecho de avanço da mobilização do atrito em estacas longas, $k \geq 10$, esta função pode ser expressa por uma parábola do tipo:

$$\frac{y_0}{\mu y_1} = \frac{1}{2} + \frac{k}{2} \left[\frac{P_0}{\mu A_{lr}} \right]^2 \quad (2.65)$$

A parábola pode ser reescrita como:

$$y_0 = c_1 + c_2 [P_0]^2 \quad (2.66)$$

$$\text{Com } c_1 = \frac{\mu y_1}{2} \text{ e } c_2 = \frac{1}{2K_r \mu A_{lr}} \quad (2.67)$$

Se a estaca for curta, com $k \leq 0,5$, os pontos 3 e 4 coincidem e não existe este trecho parabólico.

c. Trecho 4-5

Neste trecho a curva volta a ser linear, correspondente à mobilização da resistência de ponta ao longo do trecho pseudo-elástico da 2ª lei de Camberfort.

$$\frac{P_0 - \mu A_{lr}}{y_0 - \frac{\mu A_{lr}}{2 K_r}} = \frac{1}{\frac{1}{K_r} + \frac{1}{RS}} \quad (2.68)$$

d. Trecho 5-6

Este trecho corresponde à ruptura da ponta, quando a resistência de ponta, R_{pS} , atinge seu valor máximo disponível. No caso de estaca flutuante, com carga apenas por atrito, os pontos 4 e 5 coincidem, ou seja, a estaca rompe bruscamente.

Massad (1992) acrescenta que o trecho 3-4, parabólico, pode ser também ajustado a uma curva exponencial, do tipo já bem conhecido pelos geotécnicos, proposto por Van der Veen (1953) e estendido por Aoki (1976).

$$P_0 = P_r [1 - e^{-(b + a y_0)}] \quad (2.69)$$

Onde a , b e P_r são constantes que dependem de características do sistema solo – estaca. Massad (1992) esclarece que as expressões que fornecem os valores de a , b e P_r são correspondentes ao trecho 3-4 (não é o P_r global, como usualmente aplicado à toda a curva), e podem ser obtidas das expressões abaixo, que se pode demonstrar com simplicidade:

$$P_r = 1,45\mu A_{lr} \quad (2.70)$$

$$b = \frac{1}{k} - 0,18 \quad (2.71)$$

$$a = - \frac{2K_r}{\mu A_{lr}} \quad (2.72)$$

Massad (1992) esclarece um aspecto de grande interesse prático. O ajuste do trecho 3-4 por uma curva exponencial traz uma possibilidade adicional para a determinação do K_r através da curva carga recalque. Embora pareça redundante, quando se trabalha com estacas de concreto, e em particular as moldadas in situ, o módulo de elasticidade do concreto nem sempre é conhecido com a devida acurácia, e seu valor no primeiro carregamento não é necessariamente igual ao da recarga. Caso a estaca atravessasse um solo mais fraco e fique embutida num solo mais resistente, os valores de A_{lr} , K_r e k refletem as características da camada mais fraca. Estes aspectos serão vistos em contribuição do mesmo autor, Massad (1993), aplicável ao caso de camada de embutimento mais resistente, que é inclusive o caso de estacas parcialmente embutidas em rocha, foco da pesquisa em desenvolvimento.

e. Descarregamento

No descarregamento, o caminho é inverso e os parâmetros das Leis de Camberfort podem não ser os mesmos, pois os solos não são materiais elásticos (o descarregamento costuma ser mais rígido). Admitindo-se que no carregamento ocorra a mobilização total do atrito lateral, pode-se mostrar que o descarregamento inclui 3 trechos.

f. Trecho 6-7

Este primeiro trecho é retilíneo e corresponde ao trecho pseudo-elástico do retorno na lei de Camberfort.

g. Trecho 7-8

Este trecho corresponde à plena mobilização do atrito, no sentido reverso, contrário à subida da estaca. Curva parabólica.

h. Trecho 8-9

Este trecho corresponde ao descarregamento franco da ponta.

No descarregamento o trecho curvo, 7-8, pode ser representado, de forma aproximada, por uma parábola:

$$y_o^{\max} - y_o = y_{1R} + \frac{1}{4K_r A_{lr}} (P_o^{\max} - P_o)^2 \quad (2.73)$$

Onde y_{1R} se refere a um dos parâmetros de Camberfort do rebound (Figura 14). No descarregamento, a rigidez relativa é maior, sendo obtida com a mesma equação do carregamento, mas substituindo y_1 por y_{1R} , que é menor. Cabe destacar, novamente, que esta expressão só pode ser aplicada se o carregamento máximo, $P_o^{\max}$ for suficiente para mobilizar todo o atrito lateral disponível.

$$k_{\text{rebound}} = \frac{A_{lr}}{K_r y_{1R}} \quad (2.74)$$

Após indicação dos vários trechos, Massad (1992) apresenta um roteiro de cálculo para a interpretação da curva e obtenção dos parâmetros apresentados anteriormente. A aplicação do modelo, em cada um dos trechos do ensaio, possibilita ao leitor uma melhor compreensão dos fatores que controlam a forma da curva carga x recalque, a partição das cargas resistidas por atrito e ponta bem como a importância do trecho do descarregamento na obtenção da carga residual.

i. Roteiro de cálculo para solos homogêneos

Passo 1) Iniciar procedendo-se um ajuste parabólico entre a carga (P_o) e o recalque (y_o) no topo. Como a carga de topo corresponde ao início da transferência de carga, ela corresponde à $z=0$, ou seja, P_o e y_o .

Com o ajuste, determina-se os valores c_1 e c_2 da equação (2.66). Como $c_1 = \frac{\mu y_1}{2}$ e $c_2 = \frac{1}{2K_r \mu A_{lr}}$, obtêm-se:

$$\mu y_1 = 2c_1 \quad (2.75)$$

$$\mu A_{lr} = \frac{1}{2K_r c_2} \quad (2.76)$$

$$\text{Como } k = \frac{A_{lr}}{y_1 K_r}, \text{ logo } k = \frac{\mu A_{lr}}{\mu y_1 K_r} \quad (2.77)$$

Se o valor de $k \geq 10$, caracteriza-se a estaca como longa e pode-se passar direto para o passo 2 com os valores de μ , μA_{lr} e k determinados.

Se o valor de $k \leq 3$, o ponto 4 se aproxima do 3 (Figura 15) e a estaca tende a ter o comportamento de uma estaca rígida ou curta, e a parábola inexiste. Neste caso, deve-se procurar fazer um ajuste dos parâmetros teóricos do modelo por tentativas, incorporando as Leis de Camberfort.

Se o valor de k é intermediário, há que se ter cautela, como Massad (1992) ilustra nas aplicações. Para $k \geq 5$, ainda é possível o uso da parábola e da exponencial.

Passo 2) Em seguida ajusta-se uma exponencial ao trecho 3-4, em duas etapas:

- a) Determinar P_r pelo método de Massad (1986), que consiste em obter diversas cargas P_n associadas a uma série de recalques equi-espaçados de um valor Δ arbitrário, obtendo-se os pares ordenados (P_n, P_{n+1}) , obtendo-se a correlação entre eles:

$$P_{n+1} = a' + b'P_n \quad (2.78)$$

O que resulta em:

$$P_r = \frac{a'}{1-b'} \quad (2.79)$$

O que resulta, em uma primeira aproximação, do parâmetro a da equação exponencial

$$P_0 = P_r[1 - e^{(b+ay_0)}], \quad a = \frac{\ln(b')}{\Delta} \quad (2.80)$$

- b) Determinar os valores de a e b da equação exponencial $P_0 = P_r[1 - e^{(b+ay_0)}]$ através da correlação linear da curva logaritmicada:

$$\ln\left(1 - \frac{P_0}{P_r}\right) = b + ay_0 \quad (2.81)$$

O valor de a obtido da correlação acima deve coincidir com aquele obtido da primeira aproximação acima.

Usando as equações (2.70), (2.71) e (2.72), chega-se a:

$$\mu A_{lr} = \frac{P_r}{1,45} = - \frac{P_r^2 a}{4,2 K_r} \quad (2.82)$$

$$K_r = - \frac{\mu A_{lr} a}{2} \quad (2.83)$$

$$k = \frac{1}{b+0,18} \quad (2.84)$$

$$\mu y_1 = - \frac{2}{ak} \quad (2.85)$$

Cabe destacar que se o valor de K_r obtido logo acima resultar inconsistente com o valor teórico, de duas uma: ou o valor de k é baixo (estaca rígida) ou então existe uma camada de embutimento mais resistente, o que será visto a seguir. Se a estaca for curta, o trecho deve ser inexistente, como já se explicou anteriormente, devendo-se ajustar o comportamento para uma estaca curta.

- c) No caso de haver pontos suficientes para a definição adequada da curva de descarregamento, é possível se obter os parâmetros y_{1R} e A_{lr} da equação (2.73) mediante um ajuste parabólico como mostrado acima.

Massad (1992) ilustra a aplicação a vários casos de obra, que consistem em exemplos interessantes para o leitor acompanhar e melhor compreender, de forma a poder fixar o roteiro e utilizar o modelo em outros casos. A interpretação permite a separação entre as parcelas de atrito e ponta, numa prova de carga não instrumentada, além de se avaliar a carga residual aprisionada na ponta da estaca.

2.4.3.2.1 Método estendido de Massad (1993)

a. Extensão a casos de estacas embutidas, no seu trecho final, em solo resistente

Em Massad (1993) o autor estendeu o modelo anterior para o caso de estacas embutidas em solo mais resistente, após atravessar uma camada mais fraca. O efeito do embutimento em solo mais resistente tem como consequência, segundo o autor, o aumento da compressibilidade da estaca, o que permitirá interpretar a forma da curva

carga-recalque do topo usando a parábola ou a exponencial, mesmo para estacas tidas como rígidas ou curtas.

O modelo da Figura 16 mostra que, na camada inferior mais resistente, a estaca está embutida numa profundidade h_2 , enquanto na camada superior, de menor resistência, a estaca atravessa uma camada de espessura h_1 . Na figura são incluídas as leis de Camberfort modificadas por Massad (1992) que contemplam a inclusão da carga residual aprisionada na ponta e a reversão do atrito lateral.

No caso de solos homogêneos, Massad (1992) quantifica a carga residual através do coeficiente adimensional μ , apresentado pela equação reproduzida abaixo:

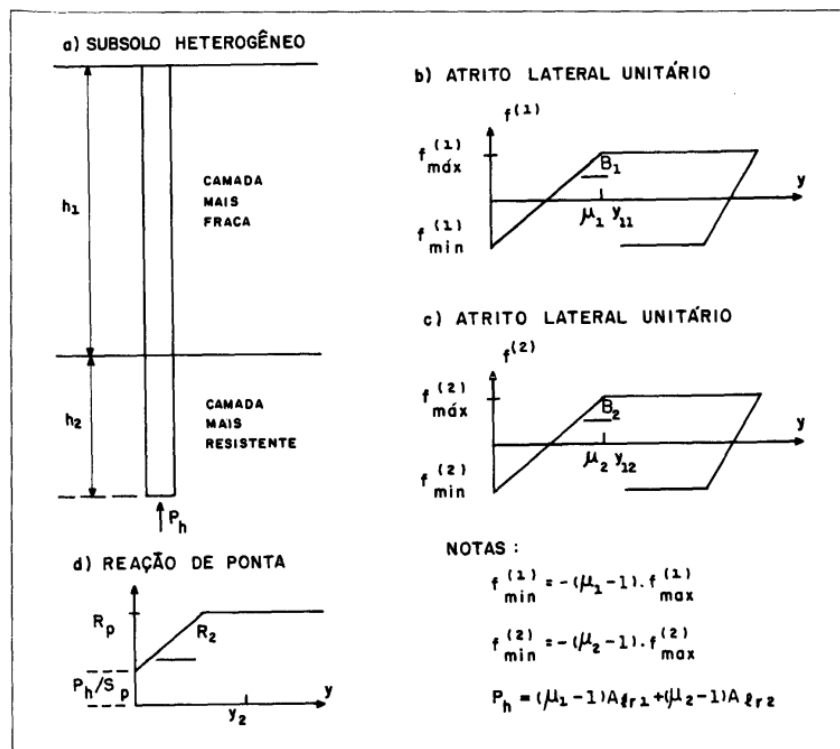
$$\mu = 1 + P_h/A_{lr} \quad (2.86)$$

Que pode ser escrita também como:

$$P_h = (\mu - 1)A_{lr} \quad (2.87)$$

O coeficiente μ pode ser entendido como um majorador do atrito lateral, já que a carga residual apresenta esta tendência no comportamento do Estado Limite de Serviço, reduzindo os recalques, tornando a curva carga x recalque mais rígida. A utilização do coeficiente adimensional μ permite a adoção de um mesmo tratamento às estacas escavadas, prensadas e cravadas. Num primeiro carregamento de uma estaca escavada, o ajuste do modelo à curva carga recalque irá resultar na determinação de um valor de μ unitário, mantendo a mesma formulação geral.

Figura 16 – Modelo estendido ao embutimento da estaca em solo mais resistente.



Fonte: Massad (1993)

Massad (1993) destaca que as cargas residuais dependem de uma série de fatores, como: set-up, creep, histórico de carregamento, instalação de estacas vizinhas, como outros. Estudos mais recentes ilustram a relevância da porcentagem de ponta na ruptura, rigidez do elemento estrutural, natureza do solo como variáveis que controlam o valor das cargas residuais, Danziger (2023).

Para estacas com a maior parcela da carga de ruptura disponível na ponta, $P_h \leq A_{lr} \leq R_p S_p$, R_p sendo R_p a resistência unitária de ponta e S_p a área da seção transversal na ponta. Para estacas de atrito $P_h \leq R_p S_p < A_{lr}$. A Tabela 19 resume as faixas de valores possíveis de μ em função do tipo de estaca.

Tabela 19 – Faixa de valores de μ

Estaca		Carga residual máxima a ser mobilizada	Faixa de valores de μ
Cravada ou prensada	Flutuante (ou de atrito)	$P_h \leq R_p S_p < A_{lr}$	$1 \leq \mu < 2$
	De ponta	$P_h \leq R_p S_p < A_{lr}$	$1 \leq \mu \leq 2$
Escavada	Primeiro carregamento	$P_h = 0$	$\mu = 1$
	Carregamento posterior, estaca de ponta	$P_h \leq R_p S_p < A_{lr}$	$1 \leq \mu \leq 2$
	Carregamento posterior, estaca de atrito	$P_h \leq R_p S_p < A_{lr}$	$1 \leq \mu < 2$

Fonte: Adaptada de Massad (1993)

A Tabela 19 mostra que as estacas escavadas recarregadas, após um ensaio prévio, apresentam as mesmas possibilidades de mobilização de carga residual que as estacas cravadas.

Voltando ao caso da estaca com embutimento em camada mais resistente, Figura 14, e conjunto de camadas superficiais mais fracas, Massad (1993) sugere a seguinte expressão:

$$P_h = (\mu_1 - 1)A_{lr1} + (\mu_2 - 1)A_{lr2} \quad (2.88)$$

Sendo A_{lr1} e A_{lr2} os valores de resistência de atrito disponível nas camadas 1 e 2, sendo:

$$A_{lr} = A_{lr1} + A_{lr2} \quad (2.89)$$

Massad (1993) sugere que se considere ainda, como uma aproximação:

$$\mu = \frac{\mu_1 A_{lr1} + \mu_2 A_{lr2}}{A_{lr}} = \mu_1 \frac{A_{lr1}}{A_{lr}} + \mu_2 \frac{A_{lr2}}{A_{lr}} \quad (2.90)$$

Ou seja, o valor de μ expressa a soma das parcelas referentes ao percentual majorado do atrito na camada de menor resistência (μ_1) e na camada de maior resistência (μ_2) em relação à majoração do atrito total μ . Veja que, se o solo for homogêneo, ou seja, inexistindo a camada 2, $\mu = \mu_1$. Se inexistir a camada 1, $\mu = \mu_2$.

Considerando a primeira lei de Camberfort (Figura 16b e Figura 16c) desde que μ seja maior que 1, ou seja, desde que haja carga aprisionada na ponta, o atrito lateral unitário deve ser revertido para ser possível equilibrar a carga P_h aprisionada na ponta ao final do descarregamento, e assim se tem um sistema auto equilibrado. A equação (2.88) pode ser também obtida pela substituição de μ , da equação (2.90), na equação (2.89).

A Figura 12 ilustra que, após descarregamento, um novo carregamento terá que reverter o atrito negativo acima do plano neutro para, em seguida, mobilizar o atrito positivo disponível. Tudo se passa, portanto, como se o atrito lateral disponível estivesse sendo majorado pelo coeficiente μ . Cabe observar que o modelo de Massad (1992, 1993) considera a distribuição do atrito uniforme em cada uma das camadas.

O coeficiente angular da curva de transferência do atrito unitário tem coeficiente angular B_1 para a camada 1 e B_2 para a camada 2, expressando a rigidez do solo, ao atrito lateral, em kN/m^3 .

Em relação ao comportamento da ponta, a segunda lei de Camberfort, Figura 16d, mostra que a carga residual aprisionada na ponta já se encontra mobilizada. Os deslocamentos que ocorrerão na ponta, no próximo carregamento, só irão mobilizar a parcela adicional da carga disponível na ruptura que excede a carga residual aprisionada. Em termos de tensão residual o valor na ponta é igual à carga residual dividida pela área da ponta, e o coeficiente angular da curva, designado por R_2 , em kN/m^3 , é assim chamado por se referir à camada resistente, responsável pela profundidade de embutimento h_2 .

Muitas das hipóteses básicas do desenvolvimento do modelo matemático aplicável ao caso de estaca embutida em camada de solo mais resistente são as mesmas do modelo em solo homogêneo. Só serão numeradas as equações específicas do modelo estendido.

- i. A estaca é compressível, sendo sua compressibilidade estrutural dada pela mesma equação (2.61) anterior:

$$K_r = ES/h \quad (2.91)$$

Em cada trecho das camadas 1 e 2 pode-se escrever:

$$K_{r1} = ES/h_1 \quad \text{e} \quad K_{r2} = ES/h_2 \quad (2.92)$$

E, portanto:

$$K_r = ES/h = ES/(h_1 + h_2) = \frac{ES}{\left(\frac{ES}{K_{r1}}\right) + \left(\frac{ES}{K_{r2}}\right)} = \frac{(1/K_{r1}) + (1/K_{r2})}{K_{r1} + K_{r2}} \quad (2.93)$$

E assim

$$K_r = \frac{(1/K_{r1}) + (1/K_{r2})}{K_{r1} + K_{r2}} \quad (2.94)$$

- ii. Existe na ponta da estaca uma força P_h , dada pela equação (2.88) aprisionada na ponta da estaca no início do recarregamento.

- iii. São válidas as equações de Camberfort do modelo estendido, adaptadas por Massad (1992, 1993) e apresentadas na Figura 16.
- iv. Os parâmetros de Camberfort são constantes em cada uma das duas camadas de solo.

b. Coeficientes de rigidez relativa solo x estaca

- i. Foi visto anteriormente em Massad (1992) que o coeficiente de rigidez relativa solo x estaca no fuste de uma estaca em solo homogêneo era calculado como, equação (2.62):

$$k = 4 \left(\frac{h}{D} \right)^2 \times \left(\frac{B D}{E} \right) \quad (2.95)$$

Esta equação é desenvolvida a partir da definição da rigidez relativa dada por:

$$k = \frac{A_{lr}}{y_1 K_r} \quad (2.96)$$

No caso de estacas infinitamente rígidas $k=0$ e o atrito lateral é mobilizado instantaneamente ao longo de todo o fuste da estaca. Para estacas infinitamente flexíveis, k tendendo ao ∞ , a mobilização do atrito se desenvolve gradualmente do topo à base da estaca, à medida em que ela se deforma como peça estrutural. Em termos práticos, Massad (1993) apresenta a caracterização, em seu modelo, de estacas rígidas e flexíveis.

Tabela 20 – Coeficientes de rigidez relativa solo x estaca

Estaca (comportamento)	Rigidez relativa solo atrito x elemento estrutural
Rígida	$k \leq 2$
Flexível	$k \geq 8$

Fonte: A Autora (2023)

- ii. No caso do embutimento em solo mais resistente, pode-se determinar:

$$k_1 = \frac{A_{lr1}}{y_{11} K_{r1}} \quad (2.97)$$

$$k_2 = \frac{A_{lr2}}{y_{12} K_{r2}} \quad (2.98)$$

O segundo coeficiente adimensional, de acordo com Massad (1993), foi baseado na contribuição de Baguelin et al. (1971), e é dado por:

$$m = \frac{R S_p y_1}{A_{lr}} \quad (2.99)$$

Este coeficiente é assim determinado para solos homogêneos. Nesta expressão, já mostrada anteriormente, R é a inclinação da segunda lei de Camberfort, em kN/m^3 . Este coeficiente m indica não só a relação entre a parcela de ponta e o atrito lateral no momento em que o atrito lateral mobilizado for igual ao disponível, como também a rigidez do solo na região da ponta da estaca.

É simples mostrar que: $m k = \frac{R S_p}{K_r}$ e a este produto, também adimensional, dá-se o nome de rigidez relativa solo da ponta – estaca. No caso de estaca embutida em camada de solo mais resistente, deve-se substituir R por R_2 , uma vez que o solo onde se encontra a ponta é o de maior resistência, aqui designado como sendo da camada 2.

Assim, tem-se:

$$m_2 k_2 = \frac{R_2 S_p}{K_{r2}}, \text{ que resulta em } m_2 = \frac{R_2 S_p}{K_{r2} k_2} \quad (2.100)$$

Massad (1993) esclarece que este segundo coeficiente, $m_2 k_2$, é que controla o comportamento de estacas em solicitação axial, sendo conhecido também por λ , como indicado na equação a seguir:

$$\lambda_2 = m_2 z_2 = \frac{R_2 S_p}{K_{r2} z_2} \quad (2.101)$$

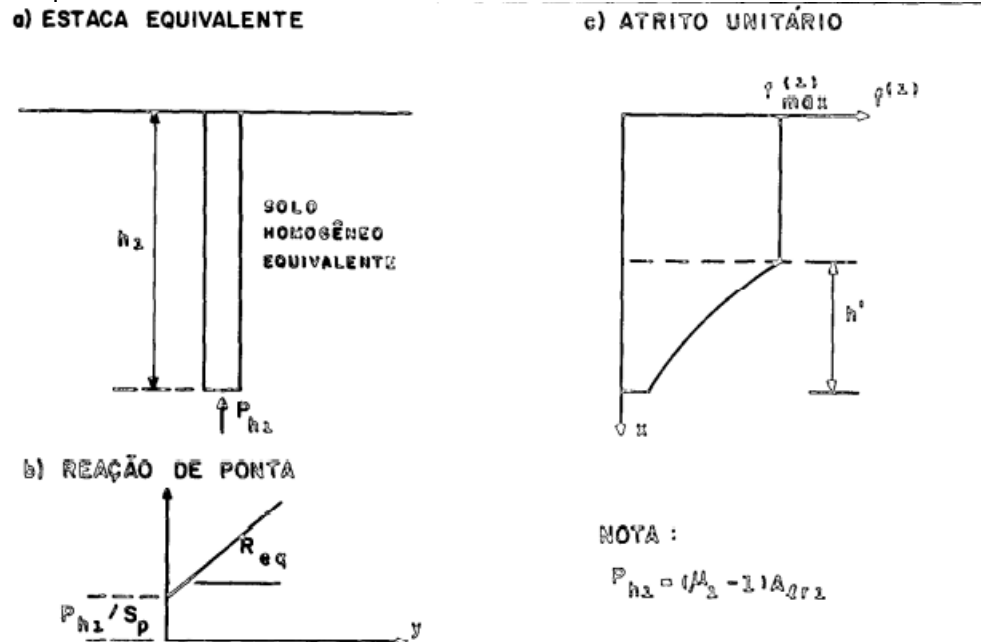
$$\text{onde } z_2^2 = k_2 \quad (2.102)$$

c. Redução do problema a um caso de solo homogêneo

O caso da estaca embutida em um solo de maior resistência é modelado como se fora um solo homogêneo com uma ponta fictícia na interface entre duas camadas de solo, modelada pela segunda lei de Camberfort, Figura 17. A diferença é que a segunda Lei de Camberfort é caracterizada por uma inclinação Requivalente da sua

fase pseudo-elástica. Cabe observar que a camada de solo homogêneo equivalente tem a mesma espessura da camada superior, h_1 .

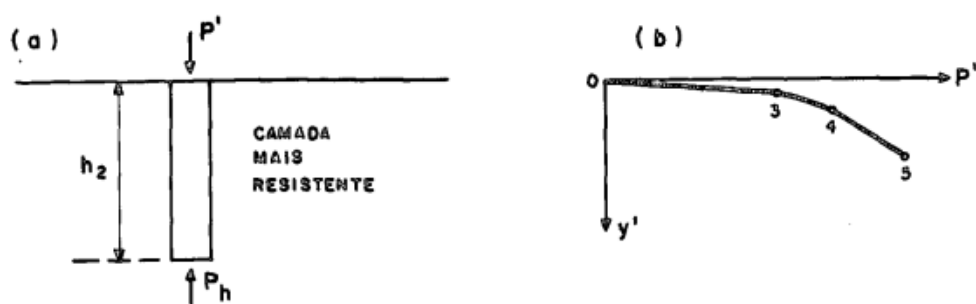
Figura 17 – Embutimento em solo mais resistente representado por solo homogêneo equivalente



Fonte: Massad (1993)

Para considerar Reequivalente, deve ser considerado somente o trecho de embutimento h_1 , de acordo com a Figura 18a. A este trecho se aplica o modelo matemático para solos homogêneos, o que permite escrever as equações dos vários trechos da curva carga P' x recalque (y'), indicada esquematicamente na Figura 18b.

Figura 18 – Trecho do embutimento.



Fonte: Massad (1993)

- i. O trecho retilíneo 0-3 da Figura 18.b corresponde à mobilização do atrito lateral ao longo da fase pseudo-elástica da Primeira Lei de Camberfort. Sua equação é:

$$P' = \frac{\mu_2 A_{lr2}}{z_2 \mu_1 Y_{11}} \beta_2 y' \quad (2.103)$$

Onde

$$\beta_2 = \frac{\tanh(z_2) + \lambda_2}{1 + \lambda_2 \tanh(z_2)} \quad (2.104)$$

O parâmetro Requivalente da Figura 17b vale:

$$R_{eq} = \frac{P'}{S_p y'} = \frac{\mu_2 A_{lr2}}{z_2 \mu_1 Y_{11}} \beta_2 y' \frac{1}{S_p y'} = \frac{\beta_2 z_2 K_{r2}}{S_p} \quad (2.105)$$

Com base em $R_{equivalente}$ se calcula o valor de m_{eq} , definido de forma equivalente ao da expressão apresentada para o solo homogêneo:

$$m_{eq} = \frac{R_{eq} S_p Y_{11}}{A_{lr1}} = \frac{r \beta_2}{z_1} \quad (2.106)$$

Em que

$$r = \frac{K_{r2} z_2}{K_{r1} z_1} \quad (2.107)$$

$$\lambda = m_{eq} z_1 = r \beta_2 \quad (2.108)$$

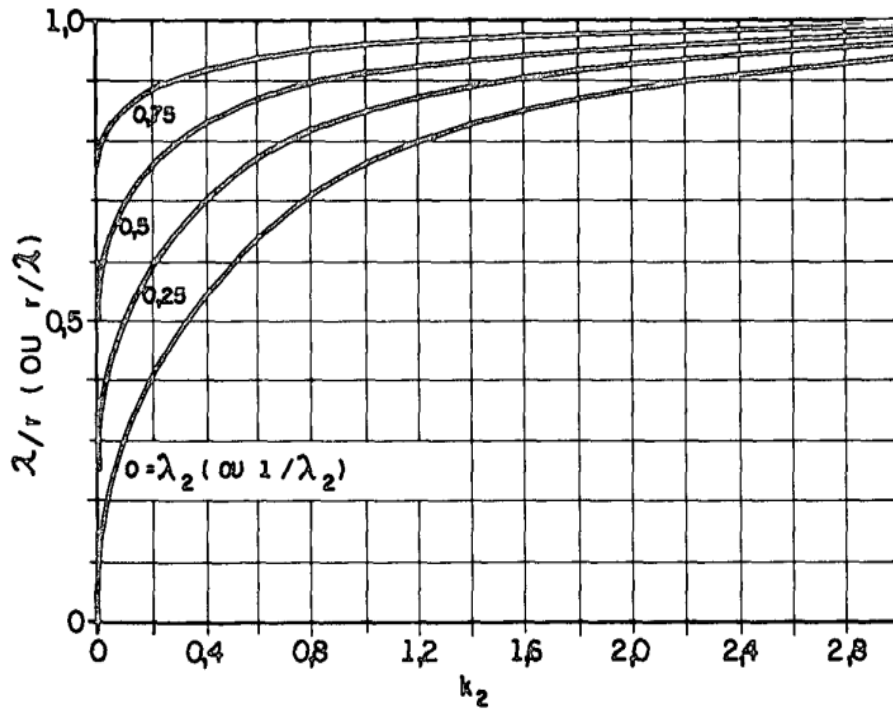
Esta é a relação de equivalência, possibilitando transformar o problema da estaca embutida em camada mais resistente num caso de solo homogêneo. Escrito de outra forma:

$$\lambda = \frac{R_{eq} S_p}{K_{r1} z_1} \quad (2.109)$$

Massad (1993) denomina λ como rigidez da ponta fictícia ($R_{eq} S_p$) e a raiz quadrada da rigidez do solo do fuste (z_1), ambas tomadas em relação à rigidez da estaca (K_{r1}). Sendo λ função de $R_{eq} S_p$, e sendo este último função das características de embutimento, através de z_2 e da ponta real, através de λ_2 , resulta numa relação matemática como a indicada na Figura 19, que permite determinação do valor de λ .

Massad (1993) destaca a simetria deste ábaco. Se $\lambda_2 \leq 1$, entra-se direto com este termo e encontra-se diretamente o valor de λ/r . Sendo $\lambda_2 > 1$, entra-se com $1/\lambda_2$ e se obtém r/λ . Se $\lambda_2 = 1$, tem-se $\lambda = 1$.

Figura 19 – Valor de λ em função das características da ponta (λ_2) e do trecho do embutimento (k_2).



Fonte: Massad (1993)

- ii. Com base na Figura 16b, segue-se um trecho 3-4, curvilíneo que, nos casos de h_2 pequeno, é muito curto e os pontos 3 e 4 tendem a se aproximar. As coordenadas do ponto 4 são:

$$P'_4 = \mu_2 A_{lr2} + R_2 S_p \mu_2 y_{12} = \mu_2 A_{lr2} (1 + m_2) \quad (2.110)$$

e

$$y'_4 = \mu_2 y_{12} + \frac{\mu_2 A_{lr2}}{2K_{r2}} + \frac{R_2 S_p \mu_2 y_{12}}{K_{r2}} = \mu_2 y_{12} [1 + k_2 (0,5 + m_2)] \quad (2.111)$$

- iii. Segue o trecho 4-5 retilíneo, que corresponde à mobilização da ponta ao longo da fase pseudo-elástica da segunda Lei de Camberfort. Usando a expressão correspondente a este trecho, tem-se:

$$\frac{P'_4 - \mu_2 A_{lr2}}{y'_4 - \frac{\mu_2 A_{lr2}}{2K_{r2}}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{r2}} + \frac{1}{R_2 S_p}} \quad (2.112)$$

Se o trecho de embutimento da estaca for muito rígido, a equação (2.112) se transforma simplesmente em:

$$P' = \mu_2 A_{lr2} + R_2 S_p y' \quad (2.113)$$

d. Curva Carga Recalque Solo não Homogêneo

A partir da Figura 20 e acompanhando as expressões e Figura 15 indicadas por Massad (1992) para solos homogêneos, Massad (1993) observa que o caso de solos homogêneos consiste num caso particular de solo não homogêneo. No caso particular de solos homogêneos, o ponto M da Figura 20 coincide com o ponto 4 (ver Figura 15).

Antes de mostrar o modelo para o caso geral, solo não homogêneo, Massad (1993) destacou as seguintes premissas:

- i. A plena mobilização do atrito lateral ocorre inicialmente na camada superior mais fraca e progride em seguida ao trecho de embutimento. Neste caso, $\mu_1 y_1 \geq \mu_2 y_2$ ou o solo é homogêneo.
- ii. O trecho de embutimento é suficientemente rígido para dar uma resposta linear às solicitações do carregamento no topo, ou seja, o trecho 3-4 da Figura 18 são próximos. Esta condição é verificada para $k_2 \leq 1$, no máximo 1,5, solo heterogêneo.

e. Trecho 0-3

Trecho retilíneo que corresponde à fase pseudo elástica de mobilização do atrito lateral do trecho homogêneo, primeira lei de Camberfort. O ponto 3 corresponde à mobilização do atrito lateral máximo do trecho homogêneo na cabeça da estaca, valendo a expressão:

$$P_{03} = \frac{\mu_1 A_{lr1}}{z_1} \beta_3 \quad (2.114)$$

$$y_{03} = \mu_1 y_{11} \quad (2.115)$$

$$\beta_3 = \frac{\text{tgh}(z_1) + m_{eq} z_1}{1 + m_{eq} z_1 \text{tgh}(z_1)} \quad \text{sendo } \lambda = m_{eq} z_1 \text{ e } z_1 = \sqrt{k_1} \quad (2.116)$$

Massad (1993) destaca que estas expressões foram obtidas do caso homogêneo (MASSAD, 1992) substituindo-se m por m_{eq} , z por z_1 , A_{lr1} por A_{lr} e μy_1 por $\mu_1 y_{11}$.

Verifica-se que $\frac{P_{03}}{y_{03}} = \frac{\mu_1 A_{lr1}}{z_1 \mu_1 y_{11}} \beta_3 = \frac{\mu_1 z_1 z_1 y_{11} K_{r1}}{z_1 \mu_1 y_{11}} \beta_3 = z_1 K_{r1} \beta_3$, cujo termo mais à direita é muito útil nas aplicações, sendo o coeficiente linear do primeiro trecho da curva carga x recalque.

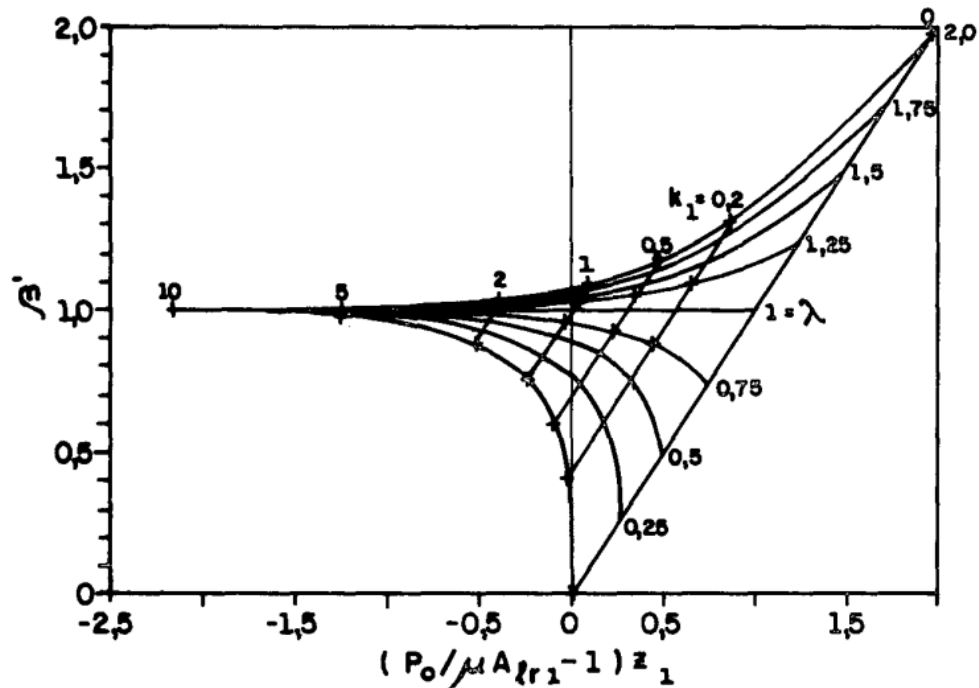
f. Trecho 3-M

Este trecho, ver Figura 20, refere-se à plena mobilização do atrito lateral ao longo do fuste, do topo (3) à interface entre as camadas (ponto M). A expressão que expressa a curva neste trecho é:

$$\frac{y_0}{\mu_1 y_{11}} = \left[1 - \frac{(\beta')^2}{2} \right] + \frac{k_1}{2} \left[\frac{P_0}{\mu_1 A_{lr1}} \right]^2 \quad (2.117)$$

Cabe observar a similaridade com a equação (2.65), também parabólica, do mesmo trecho da curva para o perfil de solo homogêneo, que já foi deduzida anteriormente. O termo β' da expressão (2.117) é indicado na Figura 15, que ilustra sua variação com a carga aplicada no topo P_0 , com o k_1 , Coeficiente de Rigidez do Fuste, e λ , coeficiente de Rigidez Fuste-Ponta. É através de β' que a ponta influencia o trecho 3-M, assim como o fez no trecho 03, equações (2.114) e (2.116). Massad (1993) destaca ainda ser $\lambda = 1$ um divisor de águas, pois se $\lambda = 1$, então $\beta' = 1$; se $\lambda < 1$, então $\beta' < 1$; se $\lambda > 1$, então $\beta' > 1$.

Figura 20 – Variação de β' em função da carga no topo (P_0), k_1 e λ .



Fonte: Massad (1993)

A Figura 20 ilustra também que se β' pode ser $\sim$ com $\lambda \neq 1$, bastando que k_1 seja elevado, entre 5 e 10.

A linha em diagonal da Figura 20 que liga a origem (0,0) ao ponto de coordenadas (2,2) representa o ponto M da Figura 15, ou seja, a mobilização plena do atrito lateral ao longo do fuste, até h_1 . A posição do ponto 3, início da mobilização plena do atrito no topo da estaca, é dado pela interseção das curvas de igual λ com o valor correspondente de k_1 .

g. Trecho M-4

Massad (1993) esclarece que o avanço do ponto M para o ponto 4 da curva da Figura 15 consiste na mobilização plena do atrito lateral no trecho do embutimento. Como, em geral, este trecho de embutimento é rígido, os pontos M e 4 estão muito próximos. Assim, basta conhecer as coordenadas do ponto 4 para se ter uma boa caracterização da curva neste trecho. Por analogia com as expressões já apresentadas (2.110) e (2.111), tem-se:

$$P_{04} = \mu_1 A_{lr1} + \mu_2 A_{lr2} + R_2 S_p \mu_2 Y_{12} \quad (2.118)$$

e

$$y_{04} = \mu_2 y_{12} + \frac{\mu_1 A_{lr1}}{2K_{r1}} + \frac{\mu_2 A_{lr2}}{K_{r1}} + \frac{\mu_2 A_{lr2}}{2K_{r2}} + \frac{R_2 S_p \mu_2 y_{12}}{K_r} \quad (2.119)$$

A equação acima pode ser deduzida por uma interpretação simples, bastando analisar, separadamente, a ação das várias parcelas de deslocamento (como no cálculo do deslocamento elástico do fuste). O termo $\mu_1 A_{lr1}$, por ser uniformemente distribuído no trecho h_1 , solo mais fraco, gera uma parcela de deslocamento igual à metade do que ocorreria se a estaca fosse apenas uma coluna de comprimento h_1 . Já $\mu_2 A_{lr2}$ provoca, no trecho h_2 uma parcela semelhante à primeira e, no trecho h_1 outra parcela do tipo coluna.

h. Trecho 4-5

Neste trecho a curva volta a ser linear, correspondendo à mobilização da resistência de ponta ao longo do trecho pseudo-elástico da Segunda lei de Camberfort, ou seja:

$$\frac{P_0 - \mu A_{lr}}{y_0 - \frac{\mu_1 A_{lr1}}{2K_{r1}} + \frac{\mu_2 A_{lr2}}{2K_{r2}} + \frac{\mu_2 A_{lr2}}{K_{r1}}} = \frac{1}{\frac{1}{K_r} + \frac{1}{R_2 S_p}} \quad (2.120)$$

i. Trecho 5-6

Este trecho corresponde à ruptura na ponta, cuja reação é R_p . Massad (1993) considera o caminho inverso nas leis de Camberfort para o descarregamento, lembrando que os solos não são, de fato, materiais elásticos, sendo o descarregamento, em geral, mais rígido. Até o momento o autor utiliza, para solos não homogêneos, a mesma formulação dos solos homogêneos para o descarregamento.

Massad (1993) segue ilustrando o significado físico da condição $\lambda=1$, cujas implicações são fazer com que a inclinação do trecho 0-3 e os coeficientes da parábola do trecho 3-M independam das características da ponta fictícia.

j. Significado Físico da Condição $\lambda=1$

Cabe destacar que a partir da equação abaixo,

$$\lambda = \frac{R_{eq} S_p}{K_{r1} z_1} \quad (2.121)$$

É possível verificar que para $\lambda = 1$, $R_{eq}S_p = K_{r1}z_1$, ou seja: $\frac{R_{eq}S_p}{K_{r1}} = \sqrt{k_1}$, que indica que a rigidez do solo da ponta é a raiz quadrada da rigidez do solo do fuste, ambas normalizadas em relação à rigidez estrutural da estaca.

Na condição $\lambda = 1$ a distribuição do atrito lateral ao longo da profundidade é retangular no trecho do solo mais fraco e exponencial no trecho inferior. Massad (1991b), na abordagem de estacas escavadas longas, em abordagem matemática semelhante, mostrou a função da variação exponencial do atrito (ver Figura 17c) e a integração do diagrama ao longo do fuste, chegando a:

$$P_0 = \mu_1 A_{lr1} \left(\frac{h_1 - h'}{h_1} \right) + \frac{\mu_1 A_{lr1}}{z_1} \quad (2.122)$$

A equação (2.122) é a mesma que Massad (1991b) chegou para uma estaca infinitamente compressível. É como se a estaca, por ser muito longa, não sofre influência da ponta no desenvolvimento do atrito lateral. A interpretação sugerida por Massad (1993) é que para a condição $\lambda = 1$ a rigidez da ponta, dada pela equação $\frac{R_{eq}S_p}{K_{r1}} = \sqrt{k_1}$ é a medida certa para equipará-la a uma estaca infinitamente compressível, k_1 elevado, situação `equilibrada`.

Concluindo, a partir da equação (2.123), com $\lambda = 1$ e a equação (2.122) acima, chega-se a:

$$\lambda = m_{eq}z_1 \text{ e } m_{eq} = \frac{R_{eq}S_p y_{11}}{A_{lr1}} = \frac{r\beta_2}{z_1} \quad (2.123)$$

$$P_0 = \mu_1 A_{lr1} \left(\frac{h_1 - h'}{h_1} \right) + \frac{\mu_1 A_{lr1}}{z_1} = \mu_1 A_{lr1} \left(\frac{h_1 - h'}{h_1} \right) + R_{eq}S_p \mu_1 y_{11} \quad (2.124)$$

Tudo se passa como se a ponta fictícia da estaca estivesse numa profundidade onde o atrito lateral não é mais plenamente desenvolvido, isso é, na profundidade $h_1 - h'$. Assim, Massad (1993) passa a chamar a situação em que $\lambda = 1$ como estaca parabólica, e as demais de acordo com a Tabela 21.

Tabela 21 – Designação de Massad (1993) ao tipo de estaca em função do valor de λ .

Designação da Estaca	Condição	Significado
elíptica	$\lambda < 1$	Deficiência de rigidez de ponta
parabólica	$\lambda = 1$	Rigidez de ponta equilibrada
hiperbólica	$\lambda > 1$	Excesso de rigidez de ponta

Fonte: Massad (1993)

Em seguida, Massad (1993) estudou as condições para que o trecho 3-M da curva do ensaio se aproxime de uma parábola. Ele concluiu, em resumo, que a condição suficiente é que $\lambda = 1$. Em termos práticos, ele tem obtido boa convergência com ensaios de para $0,8 \leq \lambda \leq 1,2$, ou seja, para estacas 'parabólicas'.

k. Utilização da Parábola na Interpretação de Provas de Carga

Massad (1993) segue o raciocínio anterior e destaca que, se a parábola de fato existir num trecho da curva carga x recalque de uma prova de carga, é possível: i) separar as parcelas de atrito e ponta e ii) determinar os parâmetros da primeira lei de Camberfort.

Inicia-se pela interpretação do trecho parabólico, pontos 3 e M, através de uma correlação do tipo:

$$y_0 = c_1 + c_2 P_0^2 \quad (2.125)$$

Os pontos 3 e M são escolhidos por tentativas, de forma a se obter o melhor ajuste. Com base na equação anterior e comparando-a com a equação (2.117) chega-se que:

$$\mu A_{Ir} = \frac{1}{2c_2 K_r} \quad (2.126)$$

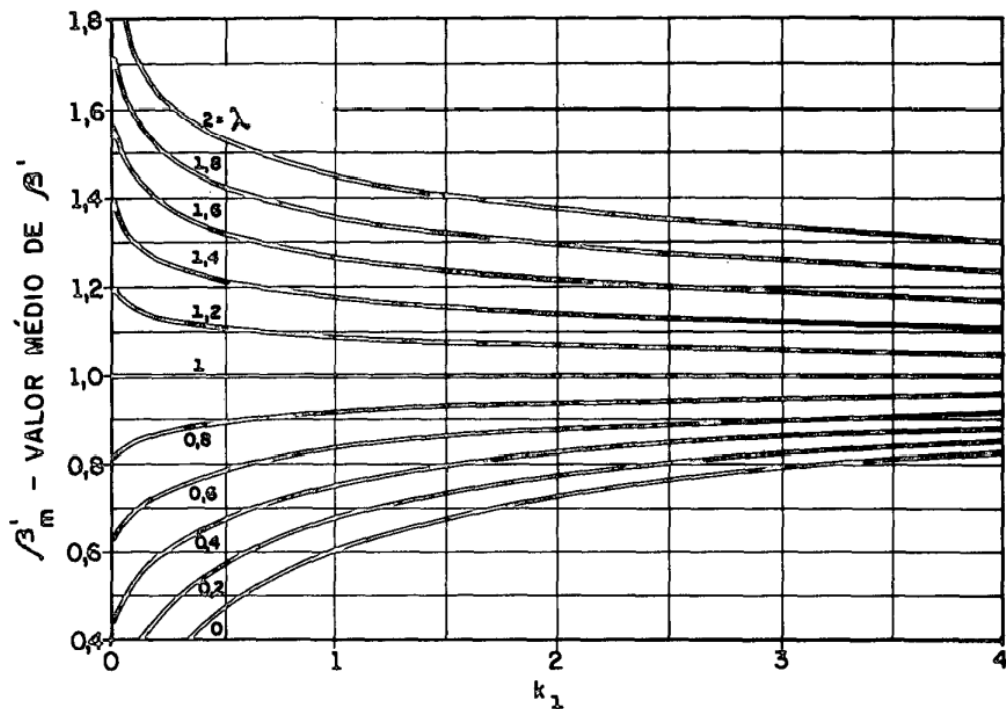
A equação (2.126) é idêntica àquela para o solo homogêneo (ver roteiro de cálculo para solos homogêneos). Cabe notar apenas que se utilizou, na equação (2.126), μ , dado pela equação (2.90), ao invés de μ_1 , por simplicidade.

Já a expressão que relaciona o valor de c_1 , dada por:

$$\mu y_1 = \frac{c_1}{(1-(\beta')^2)^{1/2}} \quad (2.127)$$

Está alterada, em relação a do solo homogêneo, por conta de β' . Mas como se viu acima, se k_1 for elevado e $0,8 \leq \lambda \leq 1,2$, pode-se substituir β' por um valor médio β'_m ao longo do trecho 3-M, dado pelo ábaco da Figura 21, que foi obtido da Figura 20. O procedimento de cálculo é iterativo, como se verá a seguir:

Figura 21 – Ábaco para o método da parábola.



Fonte: Massad (1993)

- i. Determina-se o valor de A_{lr1} pela equação (2.126).
- ii. Na hipótese da estaca ser de atrito e ter-se atingido à ruptura, $\mu A_{lr} = Q_r$, carga de ruptura. Da equação (2.89) pode se obter A_{lr2} .

As parcelas de atrito e ponta de Q_r , no caso da estaca não ser de atrito, pode ser obtida com a estimativa de m pelo descarregamento ou por prova de carga à tração.

No caso de solos homogêneos em que $y_{11} = y_{12} = y_1$, os valores de μy_{11} , k_1 , k_2 e λ podem ser estimados através de cálculo iterativo, através das expressões abaixo, já vistas anteriormente e do ábaco da Figura 21.

$$k_1 = \frac{A_{lr1}}{y_{11}K_{r1}} k_2 = \frac{A_{lr2}}{y_{12}K_{r2}}$$

$$r = \frac{K_{r2} z_2}{K_{r1} z_1} \quad (2.128)$$

$$\lambda = m_{eq} z_1 \quad e \quad r = \frac{K_{r2} z_2}{K_{r1} z_1}$$

$$\lambda = m_{eq} z_1 = r \beta_2 \quad e$$

$$\mu y_1 = \frac{c_1}{(1-(\beta)^2)/2} \quad (2.129)$$

Para solos heterogêneos, é necessário fazer alguma hipótese quanto à relação y_{11}/y_{12} . Na ausência deste dado, Massad (1993) sugere considerar $y_{11}=y_{12}$.

Se a estaca for de ponta e o ensaio atingiu a ruptura, ou pelo menos a definição do trecho 4-5 da Figura 15, o autor sugere:

- i. Determina-se A_{lr1} pela expressão (2.126). Os valores de μA_{lr1} e μA_{lr2} são obtidos das expressões (2.89) e (2.120). Os parâmetros da ponta, R_2 e, eventualmente, R_p , podem ser determinados facilmente. Para se estimar μy_{11} , k_1 , k_2 e λ , deve-se seguir o roteiro do item anterior.
- ii. Se o ensaio foi interrompido antes de se atingir a ruptura, incluindo-se aí o trecho 4-5, e a estaca for nitidamente compressível (longa), pode-se extrair somente a parcela μA_{lr1} , com base na expressão (2.126). Para estacas rígidas (curtas), nada se pode extrair do ensaio, pois não é possível se obter λ , e sem isso não se consegue verificar se a estaca é parabólica $0,8 \leq \lambda \leq 1,2$.

I. Relação Exponencial Aproximada para o trecho 3-M

Massad (1993) destaca que o ajuste através da parábola é válido para estacas compressíveis (longas), ou para as rígidas (curtas), com λ aproximadamente unitário, pode ser aproximada pela relação exponencial.

$$P_0 = P_r [1 - e^{(b+ay_0)}] \quad (2.130)$$

Massad (1992) ilustrou o emprego da relação exponencial para o caso homogêneo, destacada anteriormente neste texto. Para o caso de embutimento em solo mais resistente, a função exponencial (2.130) deve ser ajustada ao trecho 3-M da curva da carga x recalque medidos no topo, e não à curva toda.

Massad (1993) ainda destaca que P_r não é, necessariamente, a carga de ruptura extrapolada e a definição dos pontos 3 e M se faz, de forma mais clara, pelo ajuste parabólico.

Em Massad (1992) o autor estabeleceu relações simples entre os parâmetros a , b e P_r e as características do sistema solo x estaca para estacas compressíveis (longas), com k elevado, teoricamente tendendo ao ∞ , casos em que m tende a zero (ver abaixo).

$$m = \frac{R S y_1}{A_{l,r}} \text{ ou } m = \frac{R S}{k K_r} \quad (2.131)$$

Isto foi feito ajustando-se a exponencial (2.130) à equação (2.117), com y_0 variando no intervalo $y_{03} = \mu y_{11}$ até $y_{03} = \mu y_{11} (1 + k_1/2)$.

A solução mais geral que Massad (1993) contempla também casos de estacas rígidas (k_1 baixo), com $\lambda = 1$, incluindo-se estacas com trecho de embutimento. Isto resulta em valores de m_{eq} elevado, sendo um dos casos mais relevantes na caracterização do sistema estaca- solo. O referido ajuste da exponencial foi feito no intervalo $y_{03} = \mu y_{11}$ até $y_{03} = \mu y_{11} (1 + k_1 (1 + 2m_{eq}) / 2)$. Introduzindo um coeficiente de rigidez k_1^* , dado por:

$$k_1^* = k_1(1 + (1 + 2m_{eq})) \quad (2.132)$$

recai-se no caso de $m=0$. Massad (1993) completa esta analogia e destaca que para que a equação (2.117) continue válida para este novo k_1^* , deve-se redefinir tanto μA_{lr1}^* como K_{r1}^* , como:

$$\mu A_{lr1}^* = \mu A_{lr1} \sqrt{(1 + 2m_{eq})} \quad (2.133)$$

$$K_{r1}^* = \frac{K_{r1}}{\sqrt{(1 + 2m_{eq})}} \quad (2.134)$$

Massad (1993) destaca que embora esta analogia tenha validade restrita ao ajuste exponencial, ela confirma que aumentos de m , ou m_{eq} , refletem numa maior compressibilidade da estaca.

Os parâmetros a , b e P_r da função exponencial são apresentados a seguir:

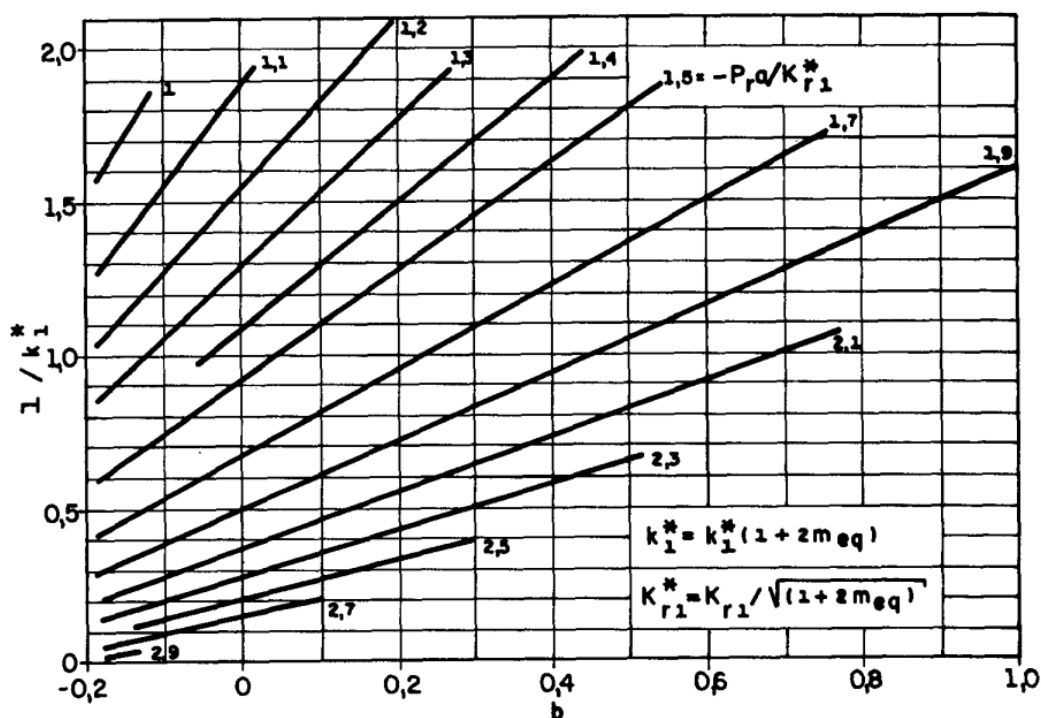
Para a estimativa da parcela μA_{lr1} , emprega-se a expressão idêntica a dos solos homogêneos.

$$\mu A_{lr1} = \frac{-P_r^2 a}{4,2 K_{r1}} \quad (2.135)$$

Para a estimativa de k_1 , a sugestão de Massad é pelo emprego do ábaco da Figura 22, que relaciona k_1^* e $\frac{-P_r^2 a}{K_{r1}}$. No caso de k_1 ser elevado e $\frac{-P_r^2 a}{K_{r1}} \geq 2,9$, valem as expressões para solos homogêneos, mas com a substituição de k_1 por k_1^* e K_{r1} por K_{r1}^* .

Massad (1993) conclui destacando que a possibilidade de se obter uma estimativa do módulo de elasticidade do material da estaca, já pontuado em Massad (1992) se mantém, porém apenas para estacas compressíveis (longas), com $k \geq 8$.

Figura 22 – Ábaco para o método da exponencial.



Fonte: Massad (1993)

2.4.4 Contribuição de Randolph para a estimativa de recalques

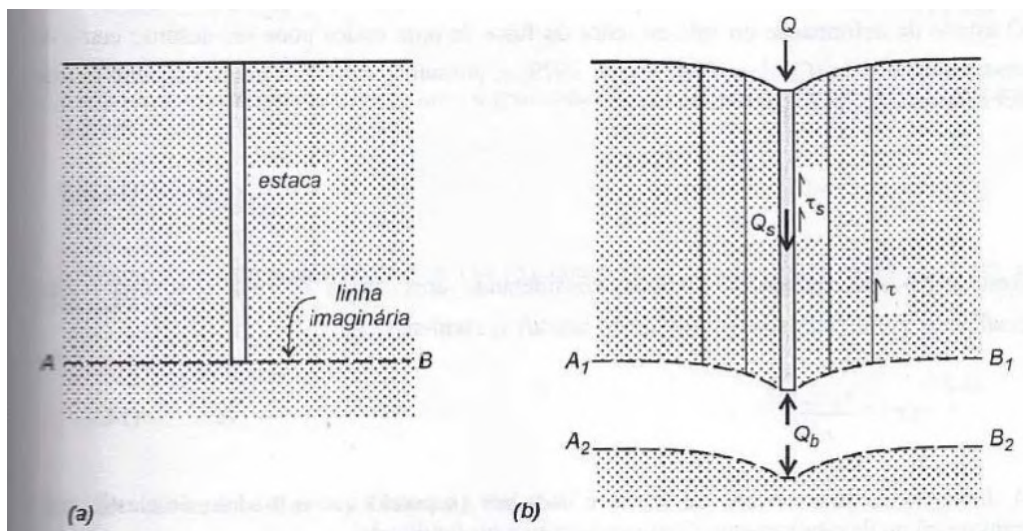
Randolph e Wroth (1978) apresentaram uma formulação analítica que levou ao desenvolvimento de uma solução fechada, aproximada, para a estimativa de recalque no topo de uma estaca sob uma dada carga que foi checada por técnicas numéricas. As equações resultantes permitem uma estimativa rápida, aproximada, útil para projeto, sem o uso de ferramenta computacional.

Os autores dividiram o subsolo por um plano horizontal AB, no nível da base da estaca, separando o maciço de solo num trecho superior e inferior. Inicialmente os autores assumem que o trecho superior do maciço será deformado exclusivamente pela ação das cargas transferidas ao subsolo pelo atrito lateral e o trecho inferior por ação das cargas transferidas pela ponta. A Figura 1a e b, obtida de Velloso e Lopes (2014), ilustra os modos de deformação admitidos para a parte superior e inferior da estaca.

2.4.4.1 Interação entre o Fuste da estaca e o solo

Os autores destacam que já que a análise será desenvolvida para uma estaca num subsolo suposto linear elástico, o efeito da instalação da estaca será ignorado, ou seja, será admitido que os parâmetros do solo não serão afetados pela instalação da estaca. Apenas acréscimos de carga devidos ao carregamento da estaca serão considerados. Para estacas com razão de esbeltez l/r_0 superiores a 20, as variações nas tensões causadas pela carga transferida à base podem ser desacopladas daquelas causadas pela carga transferida ao maciço por atrito lateral na forma descrita previamente na Figura 23.

Figura 23 – Camadas de solo superior e inferior consideradas por Randolph e Wroth (1978), adaptadas de Velloso e Lopes (2014).

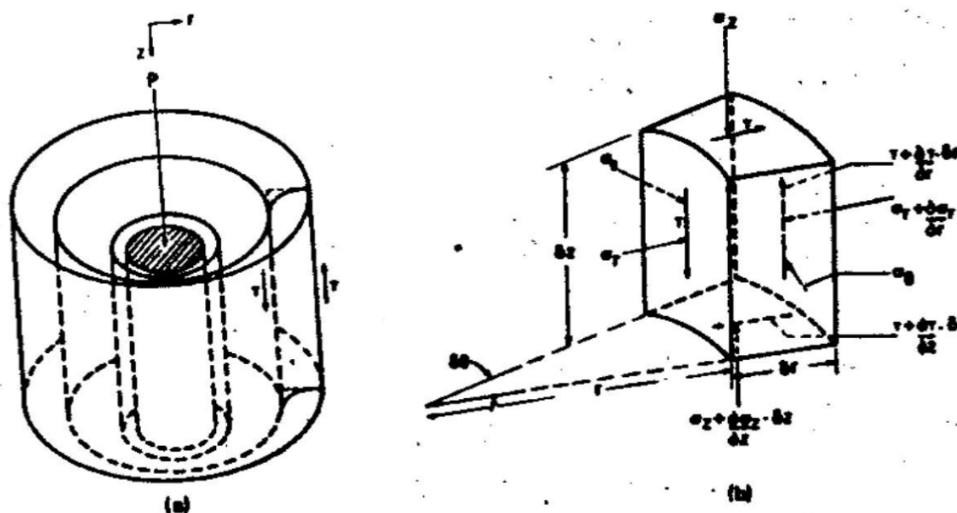


Fonte: Velloso e Lopes (2014)

A deformação do solo ao redor do fuste da estaca pode ser idealizada como de cisalhamento em cilindros concêntricos, Figura 23a. Este enfoque foi considerado anteriormente por Cooke (1974), Frank (1974, 1975) e Baguelin et al. (1975).

Considerando o equilíbrio na direção vertical de um elemento de solo indicado na Figura 24, tem-se:

Figura 24 – Modo de deformação do fuste (a) e tensões no elemento de solo (b).



Fonte: Randolph e Wroth (1978)

$$\frac{\partial}{\partial r}(r\tau) + r \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \quad (2.136)$$

Quando a estaca é carregada, o incremento na tensão cisalhante, τ , no entorno do fuste da estaca, é muito maior do que o incremento na tensão vertical, σ_z , e assim a equação (2.136) pode ser aproximada e substituída pela equação (2.137).

$$\frac{\partial}{\partial r}(r\tau) = 0 \quad (2.137)$$

Na interface do fuste com o solo, $r = r_0$ e $\tau = \tau_0$, e a integração da equação (2.137) resulta em:

$$(r\tau) = (\tau_0 r_0) \text{ ou } (\tau) = \frac{(\tau_0 r_0)}{r} \quad (2.138)$$

Sabe-se que a deformação cisalhante pode ser escrita como:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \quad (2.139)$$

sendo u = deslocamento radial e w = deslocamento vertical do solo.

Como o deslocamento primário será o vertical, desprezando o primeiro y termo da direita de (2.139), vem:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{\partial w}{\partial r} \quad (2.140)$$

com $\partial w = \frac{\tau}{G} \partial r$, substituindo o valor de τ pela equação (2.138) e integrando, vem:

$$\partial w = \frac{\tau}{G} \partial r = \frac{\tau_0 r_0}{Gr} \partial r \quad w_s = \frac{\tau_0 r_0}{G} \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r} \quad (2.141)$$

Em que w_s é o recalque do solo do contato do fuste da estaca. Veja que a equação (2.141) implica num recalque infinito, o que não é aceitável. A consideração que se faz, naturalmente, é que existe um raio `Mágico`, r_m , no qual as deformações

cisalhantes se tornam desprezíveis (COOKE, 1974; FRANK 1975), assim Randolph e Wroth (1978) substituíram a equação (2.141) por:

$$w_s = \frac{\tau_0 r_0}{G} \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right) = \xi \frac{\tau_0 r_0}{G} \quad (2.142)$$

$$\text{No qual } \xi = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right)$$

A partir desta solução, os autores verificam a interação entre o fuste da estaca e o solo e a interação entre a base da estaca e o solo.

Os autores verificaram que o raio `Mágico` poderia ser considerado, para fins práticos, como:

$$r_m \sim 2,5 L (1 - \nu) \quad (2.143)$$

$$\text{Onde } L \text{ é o comprimento da estaca e } \xi = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right) \sim 4$$

A equação (2.142), reproduzida abaixo, fornece a relação entre recalque (devido à carga de fuste) e tensão cisalhante na interface solo – estaca. Para uma estaca rígida, o recalque é constante ao longo do comprimento, assim como o atrito lateral.

$$w_s = \frac{\tau_0 r_0}{G} \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right) = \xi \frac{\tau_0 r_0}{G} \quad (2.144)$$

A seguinte expressão relaciona a carga axial transferida ao solo e a tensão cisalhante (basta o leitor se lembrar que o atrito lateral é a tangente do diagrama de transferência de carga ao longo do fuste da estaca dividido pelo perímetro desta):

$$\frac{dQ(z)}{dz} = -2\pi r_0 \tau_s \quad (2.145)$$

Como a tensão cisalhante, numa estaca rígida, não varia com a profundidade, a carga transferida pela estaca ao solo é:

$$Q_s = 2\pi r_0 \tau_s L \quad (2.146)$$

Dividindo a equação (2.146) pela equação (2.142) vem que:

$$\frac{Q_s}{w_s} = \frac{2\pi LG}{\xi} \quad (2.147)$$

2.4.4.2 Interação entre a Base da Estaca e o Solo

Randolph e Wroth (1978) consideram a base da estaca como se fora rígida e seu recalque pode ser considerado como descrito por Timoshenko e Goodier (1970):

$$w_b = \frac{Q_b(1-\nu)}{4r_0 G} \eta \quad (2.148)$$

Onde η foi introduzido para permitir contemplar o efeito da profundidade da ponta da estaca abaixo da superfície do terreno e ν é o coeficiente de Poisson.

Randolph e Wroth (1978) esclarecem que tem havido muita discussão e debate sobre o coeficiente η . Este coeficiente, denominado como efeito de profundidade, foi introduzido de forma a modificar a solução original que considera uma carga na superfície de um subespaço, de forma a incluir o efeito, embutida numa massa de solo de profundidade h , considerou que para $h/D > 6$, sendo D o diâmetro da área circular, um fator de 0,5 deveria ser utilizado. Banerjee (1970) confirmou este valor. Para profundidades maiores, este seria um valor limite.

No caso de áreas carregadas na base de uma estaca, tem sido usual adotar o coeficiente de Fox de $\eta = 0,5$, já que a área agora está embutida e não há um furo aberto sobre ela. Contudo, isso pode não estar correto, pois a estaca não é capaz de absorver qualquer carga aplicada à sua base, mas sim aquela que é transmitida à base, após ser absorvida a parte transferida ao fuste. Assim, para uma estaca de seção constante, um valor de $\eta > 0,85$ e até próximo de 1 é mais provável.

Randolph e Wroth então destacam que o fator η pode precisar ser alterado para lidar com incrementos de carga após a mobilização plena da carga transferida por atrito e a carga adicional é absorvida apenas pela ponta da estaca. Neste caso, a base atua como se fora uma placa no fundo da escavação e, assim, o coeficiente η deve ser reduzido para, aproximadamente, $0,85 \, r_0 / r_b$ para incrementos nesta faixa de valores.

2.4.4.3 Combinação do fuste com a base

Para uma estaca rígida, valem as seguintes relações:

$$W = W_s = W_b \quad \text{e} \quad P = Q_s + Q_b$$

$$\text{Mas como } Q_s = W_s \frac{2\pi LG}{\xi} \quad \text{e} \quad Q_b = \frac{W_b 4r_0 G}{(1-\nu)}$$

Somando as parcelas acima, vem:

$$P = Q_s + Q_b = W_s \frac{2\pi LG}{\xi} + \frac{W 4r_0 G}{(1-\nu)} \quad \text{logo,}$$

Para uma estaca rígida:

$$\frac{P}{Wr_0 G} = \frac{4}{(1-\nu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_0} \quad (2.149)$$

Considerando a parcela de ponta, em termos adimensional, como na equação (2.149), pode-se escrever, para a estaca rígida:

$$\frac{Q_b}{Wr_0 G} = \frac{4}{(1-\nu)} \quad \text{e assim, a porcentagem de carga que é transferida à ponta é igual}$$

a:

$$\frac{Q_b}{P} = \frac{\frac{4}{(1-\nu)}}{\frac{4}{(1-\nu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_0}} \quad (2.150)$$

A equação (2.150) acima indica que quanto mais curta a estaca, maior a porcentagem de ponta enquanto para uma estaca rígida de maior comprimento, a porcentagem de ponta é menor.

A seguir, será verificada a situação da estaca compressível.

2.4.4.4 Estaca Compressível

No caso das estacas compressíveis, a equação diferencial de equilíbrio (2.136), a equação (2.138) e a equação (2.144) ainda são válidas, mas a tensão cisalhante e o recalque w_s variam com a profundidade. Assim, a equação (9) fica:

$$w_s(z) = \frac{\tau_s(z)r_0}{G} \xi \quad (2.151)$$

E a tensão cisalhante na interface para estaca flexível se torna:

$$\frac{dQ(z)}{dz} = -2\pi r_0 \tau_s(z) \quad (2.152)$$

A consideração da compressibilidade da estaca, conforme explicitam Velloso e Lopres (2014) conduz a uma terceira expressão que compatibiliza a deformação axial (recalque elástico) de um ponto do fuste da estaca com a carga axial atuante:

$$\frac{\partial w_s(z)}{\partial z} = -\frac{Q(z)}{\pi(r_0^2)E_p} \quad (2.153)$$

em que E_p é o módulo de Young da estaca;

Diferenciando a equação (2.153), vem:

$$\frac{\partial^2 w_s(z)}{\partial z^2} = -\frac{1}{\pi(r_0^2)E_p} \frac{\partial Q(z)}{\partial z} = \frac{1}{\pi(r_0^2)E_p} 2\pi r_0 \tau_s(z) = \frac{2}{r_0 \lambda G} \tau_s(z) \quad (2.154)$$

Explicitando $\tau_s(z_0)$ em função de $w_s(z)$, chega-se à equação diferencial que governa o comportamento de estacas flexíveis:

$$\frac{\partial^2 w_s(z)}{\partial z^2} = \frac{2}{r_0^2 \xi \lambda} w_s(z) \quad (2.155)$$

A solução da equação diferencial da estaca flexível é dada por:

$$w(z) = Ae^{\mu z} + Be^{-\mu z} \quad (2.156)$$

sendo: $(\mu l)^2 = [\xi \lambda] (l/r_0)^2$

As constantes A e B podem ser encontradas pela substituição das condições de contorno na base da estaca, ou seja:

$$w(l) = \frac{Q_b (1-\nu)}{4r_0 G (1-\nu)} e^{\frac{\partial w_s(z)}{\partial z} \bigg|_{z=l}} = - \frac{Q_b}{\pi r_0^2 \lambda G} \eta$$

Assim:

$$\mu (Ae^{\mu z} - Be^{-\mu z}) = - \frac{Q_b}{\pi r_0^2 \lambda G} \eta$$

Explicitando os valores de A e B e substituindo na equação (2.156) vem:

$$w(z) = \frac{1}{2} \frac{Q_b}{r_0 G_s} \left\{ \left[\frac{\eta(1-\nu)}{4} - \frac{1}{\pi r_0 \lambda \mu} \right] e^{-\mu(l-z)} + \left[\frac{\eta(1-\nu)}{4} + \frac{1}{\pi r_0 \lambda \mu} \right] e^{-\mu(l-z)} \right\} \quad (2.157)$$

Uma vez que o termo $\frac{1}{\pi r_0 \lambda \mu}$ é muito pequeno ($\leq 0,020$) para valores relevantes de λ , a equação (2.157) pode ser simplificada para:

$$w(z) = \frac{Q_b}{r_0 G_s} \frac{(1-\nu)}{4} \cosh [\mu(l-z)] = w_b \cosh [\mu(l-z)] \quad (2.158)$$

E a carga total ao longo da estaca pode ser obtida pela integração da equação (2.151), substituindo $\tau_0(z)$ da equação (2.151) e (2.157) o que fornece:

$$P(z) = \frac{2\pi Q_b}{\xi r_0} \left\{ \frac{\eta(1-\nu)}{4\mu} \sinh [\mu(l-z)] + \frac{\xi r_0}{2\pi} \cosh [\mu(l-z)] \right\} \quad (2.159)$$

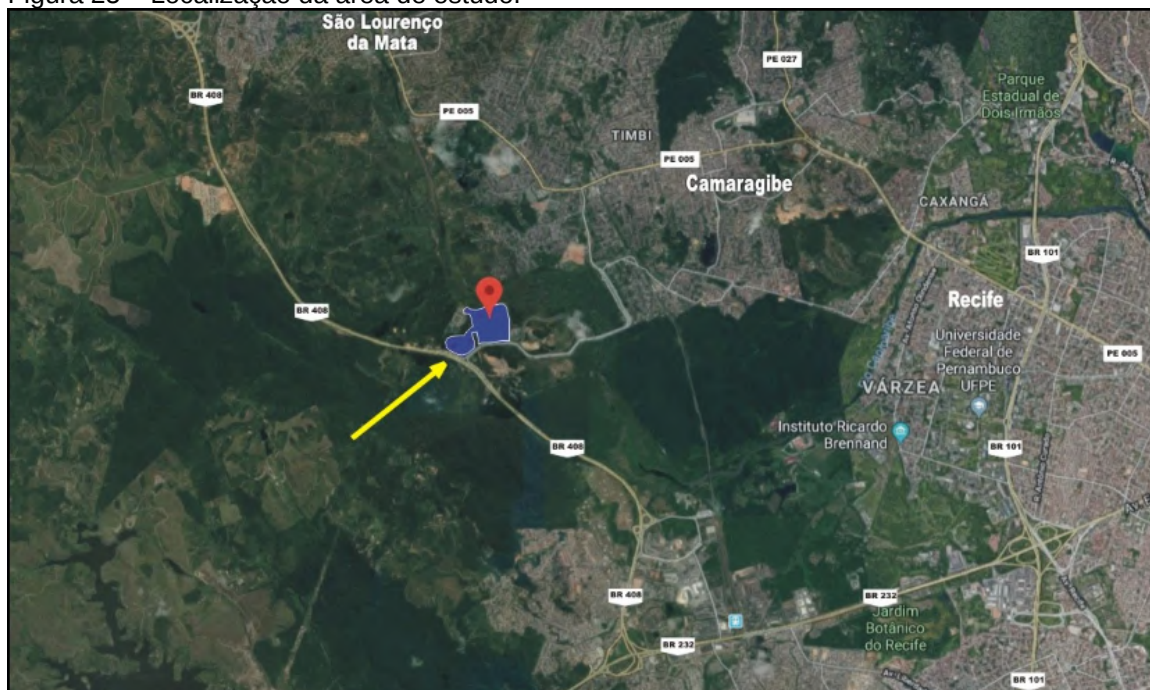
Assim, a expressão para Q_t , ou seja, a carga no topo, normalizada como Q_t/Gr_0w_t se torna:

$$\frac{Q_t}{Gr_0w_t} = \left[\frac{4}{\eta(1-\nu)} + \frac{2\pi}{\xi} \frac{l}{r_0} \frac{\tanh(\mu l)}{\mu l} \right] \left[1 + \frac{4}{\eta(1-\nu)} \frac{1}{\pi \lambda} \frac{\tanh(\mu l)}{\mu l} \right]^{-1} \quad (2.160)$$

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Zona Oeste da Região metropolitana do Recife, na cidade de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil (Figura 25).

Figura 25 – Localização da área de estudo.



Fonte: A Autora (2023)

3.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA

i. Geologia Regional

A região estudada encontra-se no contexto geológico do embasamento pré-cambriano da região nordeste, denominada Província Borborema, especificamente sobre a unidade mais próxima à cidade de Recife, conhecida como Terreno Rio Capibaribe. São terrenos antigos, formados principalmente por granitos de diversas composições, gnaisses e xistos, intensamente deformados por diversos processos tectônicos sobrepostos.

ii. Geologia Local

Esta área pertence às rochas do Complexo Salgadinho situado no extremo leste do Terreno Rio Capibaribe. Regionalmente os litotipos predominantes são os monzogranitos e os granodioritos.

A obra está situada sobre rochas metaígneas de composição predominante monzogranítica. É um granito deformado, que apresenta foliação subvertical, sendo muito pouco micáceo, predominando quartzo e feldspato e desta maneira a alteração da rocha resulta basicamente em areia siltosa e silte arenoso com teores muito baixos de argila.

Também são caracterizadas as estruturas geológicas, tais como foliações e fraturas. As fraturas são classificadas como sistemas de fraturas sub verticais (fraturas tectônicas) e um sub-horizontal (juntas de alívio). Elas são o caminho preferencial de percolação de fluidos e por este motivo gera um perfil de alteração da rocha bastante heterogêneo a partir destas estruturas. Com isso, a rocha apresenta alteração esferoidal e presença de blocos e matacões imersos em solo e topo rochoso muito fraturado.

Os solos de alteração são variados, predominando solos muito arenosos e friáveis, de coloração ocre-amarelada, com variações localizadas para solos com maiores teores de silte e argila, mais coesivos, que assumem coloração marrom-avermelhada. A passagem de solo para rocha é muito heterogênea, podendo ocorrer contatos bruscos ou transicionais. O topo rochoso é muito irregular, podendo ocorrer passagens laterais bruscas de rocha alterada para solo arenoso. Isso ocorre principalmente devido às estruturas da rocha.

3.2 CARACTERÍSTICAS DA OBRA

A construção caracteriza-se por uma obra de grande porte que apresenta seis níveis, dois subsolos, um pavimento térreo e mais três pavimentos superiores em uma área de aproximadamente 130.000 m².

3.3 FUNDAÇÕES DA OBRA

A obra em questão consiste nas fundações de um estádio de futebol. Em parte da área do estádio, o topo rochoso encontra-se coberto por aluviões, coluviões e/ou solo residual e em outros trechos, a rocha aflora praticamente na superfície. Em função destes condicionantes, foram utilizadas duas soluções de fundação distintas, em geral:

- No caso de topo rochoso raso, a profundidades de 4 a 5m, foram executadas fundações diretas em sapatas apoiada em rocha;
- No caso do maciço rochoso com profundidades maiores que 5m foram executadas fundações profundas em estaca tipo raiz com embutimento em rocha.

As estacas tipo raiz utilizadas foram de 41 cm de diâmetro no trecho em solo e 31 cm no trecho em rocha.

Figura 26 – (a) Vista da Obra;(b) Fundação superficial em rasas profundidades.



Fonte: A Autora (2023)

4 INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA REALIZADA

4.1 INVESTIGAÇÃO DE CAMPO

As informações coletadas por meio das investigações geotécnicas, sondagens mecânicas (SPT/SM) e perfis sísmicos, têm a função de subsidiar a elaboração de um modelo da forma do topo rochoso e as propriedades dos materiais encontrados em subsuperfície.

O perfil do terreno é complexo, pelo padrão de alteração por intemperismo no maciço rochoso, que se inicia por meio de fraturas, resultando em contatos laterais entre solo e rocha e gerando numerosos matacões em meio ao solo. Para fins de análise, isso poderá causar interferências nos resultados das investigações, principalmente nas sondagens a percussão e na resposta da geofísica.

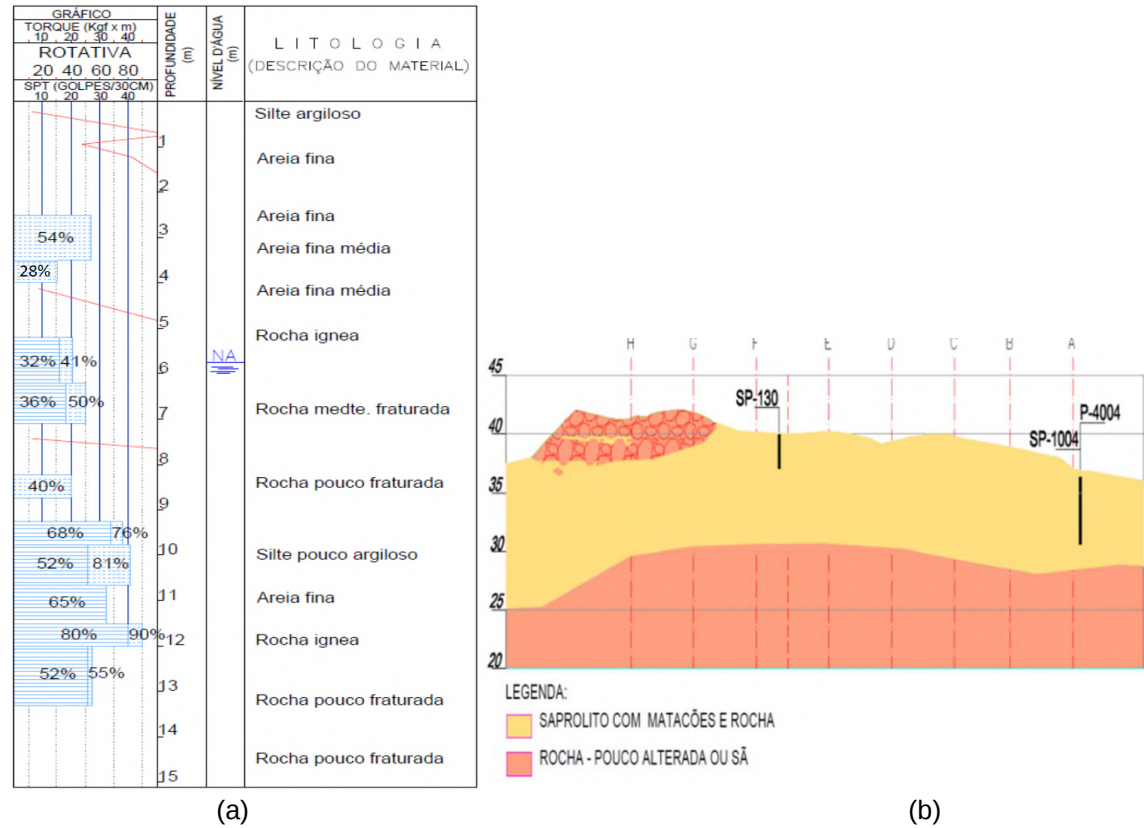
4.1.1 Investigações Mecânicas

A investigação geológico-geotécnica realizada na área de implantação da obra foi constituída de investigação geofísica por sísmica de refração e de investigações mecânicas, que correspondem à abertura de poços em visita a campo e às campanhas de sondagem a trado, percussão e mista, conforme segue:

- Quatro campanhas de sondagens à percussão e mista, que totalizaram 51 sondagens a percussão, que apresentaram profundidade variável entre 0,5 e 8,6 m até atingirem o impenetrável.
- Associadas às campanhas de sondagem à percussão, foram realizadas três campanhas de sondagem rotativa, totalizando 25 ensaios, onde 10 desses foram possíveis de serem utilizados para aprofundar a caracterização encontrada no local (Tabela 22). As sondagens mistas identificaram o que foi considerado “topo rochoso” em profundidades que variam entre 0 e 12,70, sendo que os primeiros metros perfurados em rocha são sempre descritos como sendo de baixa qualidade, apresentando baixa % de recuperação, alteração acentuada (A4) e fraturamento intenso (F5, RQD baixo), a Figura 27 apresenta uma das sondagens realizadas na obra,
- A investigação geofísica por sísmica de refração, englobaram toda a área da obra.

A Figura 27 mostra um perfil típico de subsuperfície e seção de rocha. A complexidade da estratigrafia foi verificada com a alteração do maciço rochoso a partir das fraturas, resultando em contatos laterais entre solo e rocha e a ocorrência de numerosos matacões no maciço do solo.

Figura 27 – (a) Perfuração por percussão e perfuração rotativa; (b) Secção típica – Setor Sudeste.



Fonte: A Autora (2023)

A forte presença dos matacões torna as análises de investigação muito mais difíceis.

4.1.2 Ensaios Geofísicos

Foi realizada uma campanha de Investigação Geofísica pelos Métodos da Sísmica de Refração e Eletorresistividade.

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação em subsuperfície (por exemplo, sondagens) é a varredura espacial de grandes áreas com menor custo relativo.

Foram executados 5.745 metros lineares de seções sísmicas distribuídos em vinte e dois trechos, não contínuos.

O objetivo do método sísmico foi de delimitar a interface solo/rocha alterada/rocha sã e, conseqüentemente, estimar as espessuras de cada camada identificada. Em síntese, a campanha geofísica foi realizada para subsidiar e complementar os estudos, fornecendo imagens da subsuperfície em termos da distribuição da propriedade física mensurada, que foi a velocidade de propagação da onda elástica.

Os tempos da chegada da onda foram lidos e organizados de forma a compilar as curvas tempo versus distância (dromocrônicas), base para os processos interpretativos e posteriormente a geração das Seções Sísmicas.

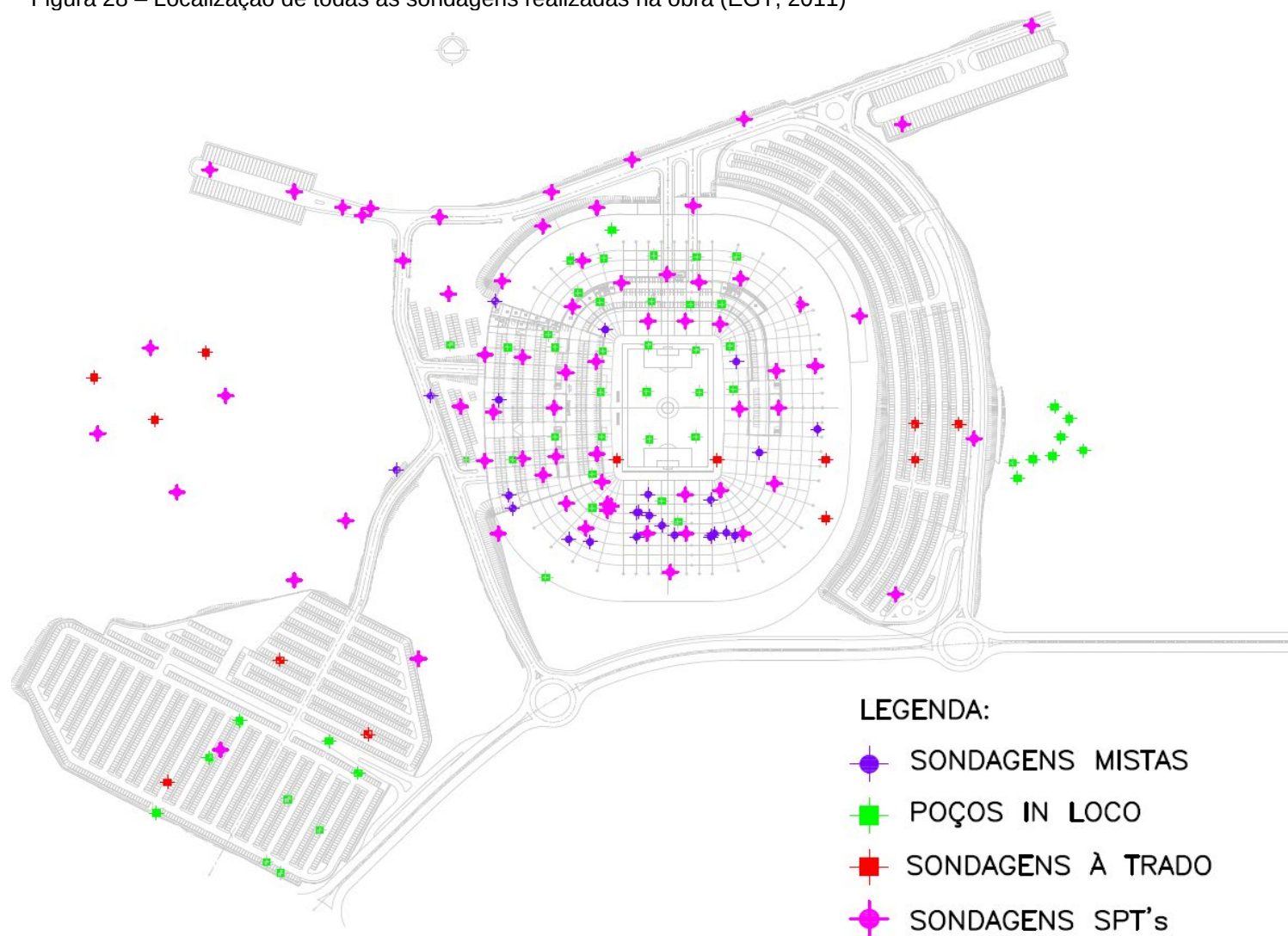
Os resultados desses ensaios foram apresentados por Silva (2013).

4.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Nas amostras retiradas das sondagens rotativas foram realizados ensaios de caracterização da rocha, que podem ser designadas como propriedades índices das rochas, dentre as quais se podem destacar: Absorção, na qual certa quantidade de líquido ocupa os espaços vazios de uma rocha; Porosidade identifica a proporção relativa de sólidos e vazios e; Peso específico, que fornece informações indiretas sobre os constituintes da rocha.

Foram realizados também ensaio de resistência à compressão simples ou uniaxial, e análise petrográfica em algumas amostras.

Figura 28 – Localização de todas as sondagens realizadas na obra (EGT, 2011)



Fonte: EGT (2011)

5 CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO

Como já visto no Capítulo 2, a classificação dos maciços rochosos pode ser realizada segundo os critérios adotados na Classificação de Maciços Rochosos em Taludes, através do Índice RMR (ROCK MASS RATING), variando de 0 a 100 pontos.

Este sistema tem por princípio fundamental a classificação proposta por Bieniawski (1976) que sofreu algumas atualizações e sua última versão apresentada foi em 1989, pelo próprio Bieniawski.

O sistema RMR utiliza cinco parâmetros para sua obtenção, que foram quantificados através das sondagens mistas, dos testemunhos de sondagem e da análise visual do maciço rochoso.

Foi realizada a distribuição dos pesos dos parâmetros necessários a classificação dos maciços, para os Setores Sudeste, Sudoeste, Sul e oeste da obra.

Para obtenção do RMR, foram utilizadas as seguintes considerações:

1. Resistência da rocha intacta: primeiro parâmetro da análise, sua avaliação foi realizada através dos resultados dos ensaios de compressão uniaxial da rocha. Em cada Setor, foram retirados alguns corpos de provas, dos furos de sondagem mista realizados, conforme Tabela 22.

Tabela 22 – Quantidade de sondagens mistas e amostras por Setor

Setor	Sondagem	Quant. de Amostra
Sudeste	3002	2
	3001	2
Sul	3003	2
	3004	2
	3005	2
Sudoeste	3008	2
	3015	2
Oeste	3013	2
	3016	2
	3011	2
Total	10	20

Fonte: A Autora (2023)

2. RQD: Os valores foram observados nos relatórios de sondagem mista e conferidos nas amostras, antes dos ensaios de resistência a compressão. Adotando o RQD encontrado na profundidade da retirada da amostra.

3. Espaçamento das descontinuidades: Parâmetro obtido através da análise visual do talude do Setor, com comprovação através de fotos e da análise do grau de faturamento, observado na sondagem. O espaçamento médio foi encontrado através da média das descontinuidades observadas no local.
4. A condição das descontinuidades foi realizada através da análise visual, considerando a persistência, abertura, rugosidade, preenchimento e grau de alteração do maciço.
5. Para as condições gerais, foram observadas as condições da água no maciço rochoso, por meio visual, já que não foram realizados ensaios para determinação das condições hídricas do maciço.
6. Para o parâmetro de ajuste devido à orientação das descontinuidades, foi considerada uma condição de instabilidade regular, em relação às fundações, de acordo com o RMR, tendo uma penalização de -7.

Foi possível realizar um mapeamento geológico na obra, uma vez que grandes trechos do maciço rochoso se encontravam expostos devido às escavações dos taludes (temporárias ou definitivas). Sendo assim, foi possível aferir a verificação da precisão dos métodos de investigação de superfície (campanhas de geofísica e sondagens). Na Figura 26, observa-se a localização das sondagens mistas representativas de cada Setor da obra.

As tabelas com os pesos atribuídos aos parâmetros do sistema RMR, para cada Setor da obra em questão, encontram-se nas tabelas a seguir.

Tabela 23 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR, 1989 para o Setor Sudeste.

Setor Sudeste (SM-3002)		Trechos (m)	
Parâmetros		15,7 - 16,7	17,7 - 18,7
1-Resistência à compressão simples (Mpa)		77.67	117.26
Peso		7	12
2-RQD		43%	41%
Peso		8	8
3 - Espaçamento das descontinuidades		200 a 600 mm	200 a 600 mm
Peso		10	10
4 - Classificação das descontinuidades	Persistência	2	2
	Abertura	4	4
	Rugosidade	3	3
	Preenchimento	4	4
	Grau de alteração	3	1
Peso		16	14
5 - Condições da água subterrânea		água intersticial	água intersticial
Peso		10	10
6 - Ajuste devido a orientação das descontinuidades		moderado	moderado
Penalização		-7	-7
Somatório dos preços		44	47
RMR médio do maciço		45.5	
Classe do maciço rochoso		III	

Fonte: A Autora (2023)

Tabela 24 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR,1989 para o Setor Sul.

Setor Sul		Trechos (m)- SM 3001		Trechos (m) - SM 3003		Trechos (m) - SM 3004		Trechos (m) - SM 3005	
Parâmetros		8,50 - 9,50	13.5 - 14.5	6.9 - 7.9	8.9 - 9.9	12.5 - 13.5	14.5 - 15.5	10.60 - 11.60	11.60 - 12.60
1-Resistência à compressão simples (Mpa)		113.66	82.44	116.03	104.9 8	74.01	95.63	66.78	73.49
Peso		12	7	12	12	7	7	7	7
2-RQD		36%	58%	66%	56%	67%	11%	37%	52%
Peso		8	13	13	13	13	3	8	13
3 - Espaçamento das descontinuidades		60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm
Peso		8	8	8	8	8	8	8	8
4 - Classific ação das desconti nuidades	Persistência	1	1	1	1	1	1	1	1
	Abertura	1	1	1	1	1	1	1	1
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5	5	5
	Preenchime nto	2	2	2	2	2	2	2	2
	Grau de alteração	5	5	5	5	5	5	3	3
Peso		14	14	14	14	14	14	12	12
5 - Condições da água subterrânea		úmido	úmido	úmido	úmido	úmido	úmido	úmido	úmido
Peso		7	7	7	7	7	7	7	7
6 - Ajuste devido a orientação das descontinuidades		moder ado	moder ado	moder ado	moder ado	moder ado	moder ado	moder ado	moder ado
Penalização		-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7	-7
Somatório dos preços		42	42	47	47	42	32	35	40
RMR médio do maciço		41							
Classe do maciço rochoso		III							

Fonte: A Autora (2023)

Tabela 25 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR 1989, para o Setor Sudoeste.

Setor Sudoeste		Trechos (m)- SM 3008		Trechos (m) - SM 3015	
Parâmetros		9,50 -10,50	11.5 -12.5	5.6 - 6.60	9.60 - 10.60
1-Resistência à compressão simples (Mpa)		121.39	118.23	70.83	87.79
Peso		12	12	7	7
2-RQD		51%	40%	70%	41%
Peso		13	8	13	8
3 - Espaçamento das descontinuidades		60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm
Peso		8	8	8	8
4 - Classificação das descontinuidades	Persistência	2	2	2	2
	Abertura	1	1	1	1
	Rugosidade	4	4	4	4
	Preenchimento	2	2	2	2
	Grau de alteração	5	5	5	5
Peso		14	14	14	14
5 - Condições da água subterrânea		água intersticial	água intersticial	água intersticial	água intersticial
Peso		10	10	10	10
6 - Ajuste devido a orientação das descontinuidades		moderado	moderado	moderado	moderado
Penalização		-7	-7	-7	-7
Somatório dos preços		50	45	45	40
RMR médio do maciço			45		
Classe do maciço rochoso			III		

Fonte: A autora (2023)

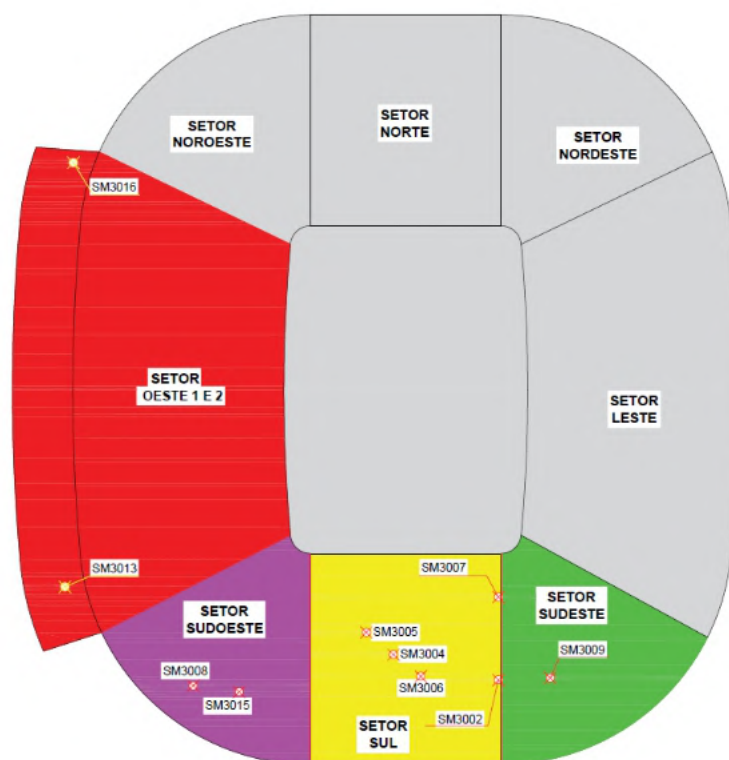
Tabela 26 – Distribuição dos pesos referentes ao sistema RMR 1989, para o Setor Oeste.

Setor Oeste		Trechos (m)- SM 3011		Trechos (m)- SM 3013		Trechos (m) - SM 3016	
Parâmetros		9.90-10.90	12.90 -13.90	24.0 -25.0	26.0 -27.0	7.8 -8.8	10.8 -11.8
1-Resistência à compressão simples (Mpa)		29.33	12.27	59.77	110.89	42.69	95.75
Peso		4	2	7	12	4	7
2-RQD		57%	97%	42%	88%	80%	36%
Peso		13	20	8	17	17	8
3 - Espaçamento das descontinuidades		60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm	60 a 200 mm
Peso		8	8	8	8	8	8
4 - Classificação das descontinuidades	Persistência	1	1	1	1	1	1
	Abertura	1	1	1	1	1	1
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5
	Preenchimento	2	2	2	2	2	2
	Grau de alteração	5	5	3	5	3	5
Peso		14	14	12	14	12	14
5 - Condições da água subterrânea		úmido	úmido	úmido	úmido	úmido	úmido
Peso		7	7	7	7	7	7
6 - Ajuste devido a orientação das descontinuidades		moderado	moderado	moderado	moderado	moderado	moderado
Penalização		-7	-7	-7	-7	-7	-7
Somatório dos preços		39	44	35	51	41	37
RMR médio do maciço		41					
Classe do maciço rochoso		III					

Fonte: A Autora (2023)

Assim o maciço é classificado a partir dos valores obtidos, para cada parâmetro, conforme apresentado a seguir a classificação para cada Setor destacado na Figura 29.

Figura 29 – Localização das sondagens mistas representativas de cada Setor (em destaque) classificado da obra



Fonte: A Autora (2023)

5.1 SETOR SUDESTE

Considerando a metodologia acima descrita, no Setor sudeste foram analisadas às informações dos métodos de investigação de superfície (campanhas de geofísica e sondagens), focando na sondagem mista 3002, conforme Tabela 28 , juntamente com os dados encontrados na análise visual do maciço, conforme Figura 30. Além da caracterização do maciço realizada por Silva, 2013. Verifica-se que a qualidade do maciço rochoso foi classificada na classe III, como um maciço regular. Consistem em um substrato rochoso granítico, apresentando solos de alteração variáveis e passagens bastante heterogêneas com rocha fraturada, matacões e topo rochoso irregular. Considerando essa classificação, encontrou-se o módulo de deformação através das equações 2.3, apresentando o valor de 9,44 GPa.

Figura 30 – Situação do talude de corte do Setor Sudeste para análise dos parâmetros de descontinuidades



Fonte: A Autora (2023)

Na Tabela 27 observam-se os resultados de q_u e RQD no Setor Sudeste.

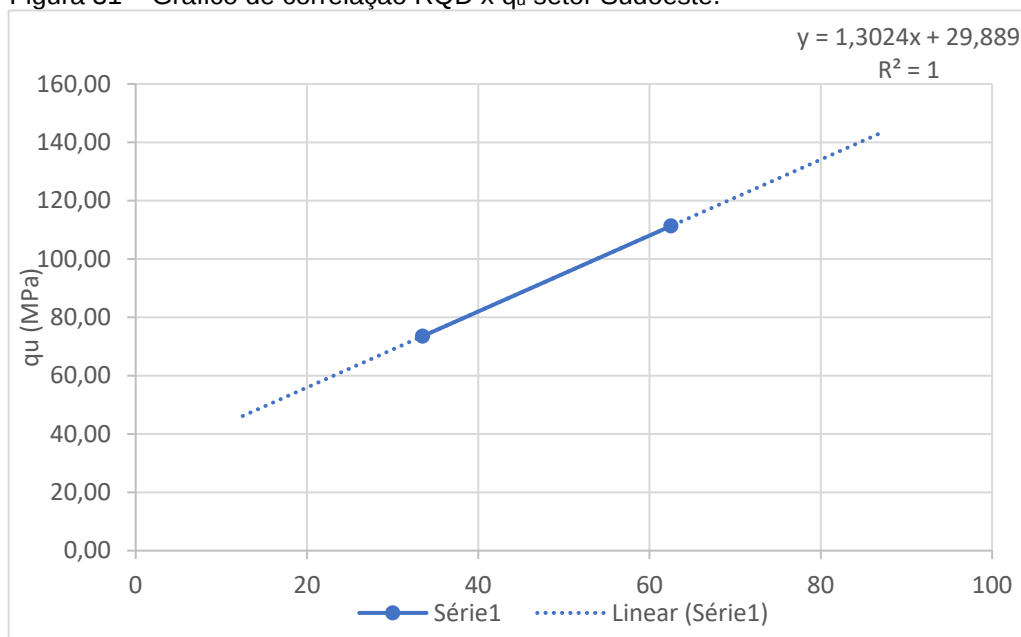
Tabela 27 – RQD no Setor Sudeste.

Descrição da Rocha	Intervalo RQD (%)	Média RQD (%)	q_u por amostra (Mpa)	Média q_u (Mpa)
Rocha Ígnea metamorfisada, textura gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	0-25	12,5		
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada -Meta Monzogranito	25-50	33,5	73,52	73,52
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada a deformada -Monzogranito	50-75	62,5	111,29	111,29
Rocha Metaígneia a metamórfica, textura granítica gnaíssica, pouco alterada a alterada e pouco deformada a deformada -Granodiorito	75-100	87,5		

Fonte: A Autora (2023)

Na Figura 31 observa-se a tentativa de correlação entre RQD e q_u para o Setor Sudeste. Nota-se que o fato de se ter apenas dois resultados impossibilita tal correlação.

Figura 31 – Gráfico de correlação RQD x q_u setor Sudoeste.



Fonte: A Autora (2023)

5.2 SETOR SUL

Para a elaboração da classificação do Setor sul foram verificados os dados das campanhas de geofísica e sondagens e focado nas informações de quatro sondagens, conforme Tabela 22, além dos dados encontrados na análise visual do maciço, conforme Figura 29 e da caracterização do maciço realizada por Silva (2013).

A qualidade do maciço rochoso foi classificada na classe III, como um maciço regular.

Esse Setor apresenta fraturas que são classificadas como sistemas de fraturas sub verticais (fraturas tectônicas) e um sub-horizontais (juntas de alívio), sendo caminho preferencial de percolação de água e por isso origina um perfil de alteração da rocha muito heterogêneo a partir destas estruturas. Com isso, a rocha apresenta alteração esferoidal e presença de blocos e matacões imersos em solo e topo rochoso muito fraturado.

Considerando essa classificação, encontrou-se o módulo de deformação através das equações 2.3, apresentando o valor de 5,95 GPa.

Figura 32 – Situação do talude de corte do Setor Sul para análise dos parâmetros de discontinuidades. Eventual presença de matacões ou zonas de rocha alterada com muitas fraturas próximo ao contato entre solo e rocha.



Fonte: A Autora (2023)

Na Tabela 28 observa-se os resultados médios de q_u e RQD no Setor Sul.

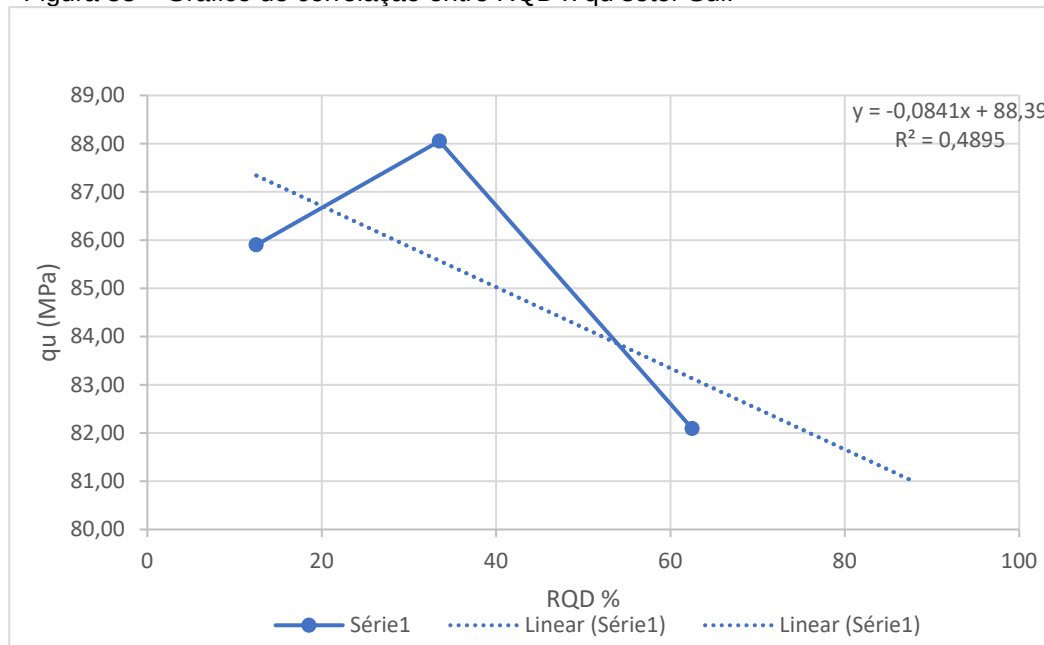
Tabela 28 – RQD no Setor Sul.

Descrição da Rocha	Intervalo RQD (%)	Média RQD (%)	q_u por amostra (Mpa)					Média q_u (Mpa)
Rocha Ígnea metamorfizada, textura Granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	0-25	12,5	85,9					85,90
Rocha Metaígneia, textura granítica, pouco alterada e pouco deformada -Meta Monzogranito	25-50	33,5	107,39	60,02	111,28		73,52	88,05
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada a deformada -Monzogranito	50-75	62,5		65,99	99,76	74,07	104,18	66,45
Rocha Metaígneia a metamórfica, textura granítica gnaíssica, pouco alterada a alterada e pouco deformada a deformada -Granodiorito	75-100	87,5						

Fonte: A Autora (2023)

Na Figura 33 observa-se a tentativa de correlação entre RQD e q_u para o Setor Sul, verificando a impossibilidade da mesma.

Figura 33 – Gráfico de correlação entre RQD x q_u setor Sul.



Fonte: A Autora (2023)

5.3 SETOR SUDOESTE

No Setor sudoeste foi observado principalmente as informações de duas sondagens mistas, conforme Tabela 22 e Tabela 25, além dos dados encontrados na análise visual maciço, conforme Figura 30 e da caracterização do maciço realizada na dissertação de mestrado da autora.

A qualidade do maciço rochoso foi classificada na classe III, como um maciço regular. O terreno é composto por um granito deformado, bastante foliado, cujo topo rochoso é muito irregular e seu contato com os solos de alteração é muito heterogêneo, ocorrendo tanto passagens graduais como em contatos bruscos, com topo rochoso muito fraturado e solo saprolítico com presença de matacões.

Considerando essa classificação, encontrou-se o módulo de deformação através das equações 2.3, apresentando o valor de 7,5 GPa.

Figura 34 – Situação do talude de corte do Setor Sudoeste para análise dos parâmetros de descontinuidades, com presença de topo rochoso irregular e presença de rocha fraturada no contato com solo.



Fonte: A autora (2023)

Na Tabela 29 observa-se a tentativa de correlacionar os resultados médios de q_u com RQD no Setor Sudoeste.

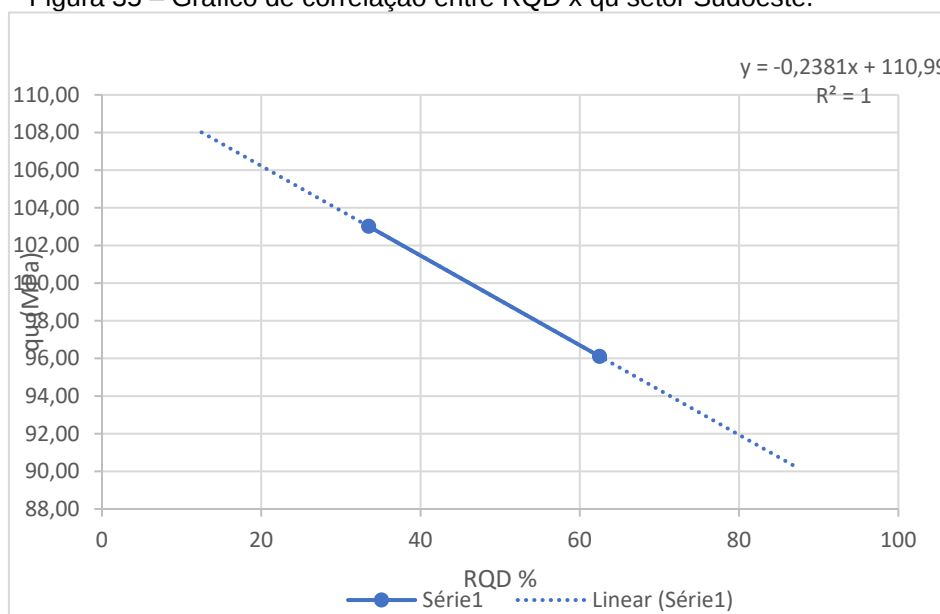
Tabela 29 – RQD no Setor Sudoeste.

Descrição da Rocha	Intervalo RQD (%)	Média RQD (%)	q_u por amostra (Mpa)		Média q_u (Mpa)
Rocha Ígnea metamorfizada, textura Granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	0-25	12,5			
Rocha Metaígneia, textura granítica, pouco alterada e pouco deformada -Meta Monzogranito	25-50	33,5	118,23	87,79	103,01
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada a deformada - Monzogranito	50-75	62,5	121,38	70,83	96,11
Rocha Metaígneia a metamórfica, textura granítica gnaíssica, pouco alterada a alterada e pouco deformada a deformada -Granodiorito	75-100	87,5			

Fonte: A Autora (2023)

Na Figura 35 observa-se a tentativa de correlação entre RQD e q_u para o Setor Sudoeste. Nota-se que o fato de se ter apenas dois resultados impossibilita tal correlação.

Figura 35 – Gráfico de correlação entre RQD x qu setor Sudoeste.



Fonte: A Autora (2023)

5.4 SETOR OESTE

Para o Setor oeste foi observado sobretudo as informações de três sondagens, conforme Tabela 22 e Tabela 31, além dos dados encontrados na análise visual maciço, conforme Figura 32 e Figura 34 e da caracterização do maciço realizada por Silva (2013). No Setor Oeste existe uma cobertura aluvionar sobreposta por um nível de aterro que é mais antigo que as obras. As estruturas geológicas são de grande importância no condicionamento das drenagens locais e na geometria das escavações do maciço rochoso, podendo ocasionar localmente escorregamento e tombamento de blocos, portanto se fez necessário uma análise dos taludes na escavação, levando em consideração as orientações das discontinuidades.

As estruturas geológicas apresentaram-se na forma de fraturas e zonas de fraturas, por onde é preferencial o avanço da alteração no maciço rochoso. Foi observada uma falha de direção aproximadamente ENE-WSW, ao longo de um eixo da obra, o que poderia acarretar problemas na capacidade de carga das fundações ali presentes.

A qualidade do maciço rochoso foi classificada na classe III, como um maciço regular. Considerando essa classificação, encontrou-se o módulo de deformação através das equações 2.3, apresentando o valor de 5,95 GPa.

Figura 36 – Situação do talude de corte do Setor Oeste para análise dos parâmetros de descontinuidades, com presença de topo rochoso irregular.



Fonte: A Autora (2023)

Figura 37 – Situação do talude de corte do Setor Oeste apresentando falha geológica observada com rocha muito deformada e com propriedades geomecânicas muito ruins.



Fonte: A Autora (2023)

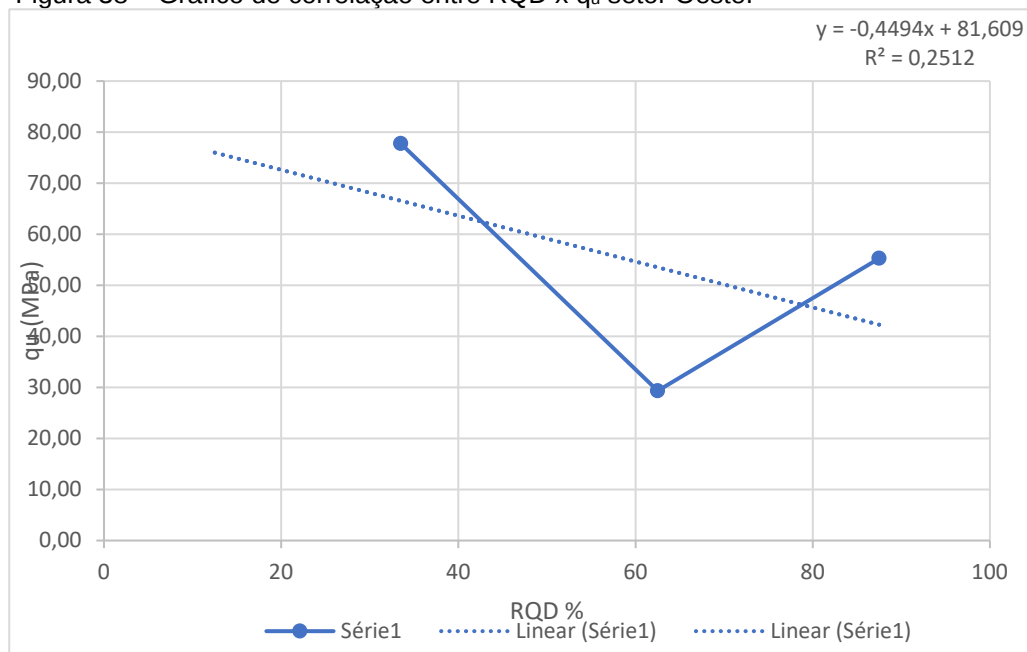
Na Tabela 30 observa-se a tentativa de correlacionar os resultados médios de qu com RQD no Setor Oeste

Tabela 30 – RQD no Setor Oeste.

Descrição da Rocha	Intervalo RQD (%)	Média RQD (%)	q _u por amostra (Mpa)		Média q _u (Mpa)
Rocha Ígnea metamorfisada, textura Granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	0-25	12,5			
Rocha Metaígneia, textura granítica, pouco alterada e pouco deformada -Meta Monzogranito	25-50	33,5	95,75	59,76	77,76
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada a deformada -Monzogranito	50-75	62,5	29,33		29,33
Rocha Metaígneia a metamórfica, textura granítica gnaíssica, pouco alterada a alterada e pouco deformada a deformada - Granodiorito	75-100	87,5	42,69	110,88	12,27
					55,28

Fonte: A Autora (2023)

Na Figura 38 observa-se a tentativa de correlação entre RQD e q_u para o Setor Oeste, verificando a impossibilidade da mesma.

Figura 38 – Gráfico de correlação entre RQD x q_u setor Oeste.

Fonte: A Autora (2023)

A classificação geomecânica do maciço rochoso que representa os Setores sudeste, sul, sudoeste e oeste da obra é apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 – Classificação dos Setores da obra

Setor	RMR	Classificação RMR	Descrição
Sudeste	49	III	Regular
Sul	41	III	Regular
Sudoeste	45	III	Regular
Oeste	41	III	Regular

Fonte: A Autora (2023)

Conforme observado, o sistema de classificação RMR da obra está situado na classe III, variando de 41 a 49, apresentado classificação regular, indicando um topo rochoso inferido a partir dos resultados da sísmica de refração, mas apontam para a presença de uma camada superior de solo heterogêneo com matacões e passagens de rocha alterada, que apresenta respostas muito caóticas nos perfis geofísicos, que corrobora com a informação obtida durante o mapeamento de superfície. As fotos contemplam também as regiões de ocorrência dos solos aluvionares descritos acima, identificados também nas sondagens mecânicas.

De acordo com a distribuição dos pesos, os Setores sul e oeste obtiverem os menores RMR, que confirma os resultados da campanha de investigação, que são os Setores que existe uma maior cobertura aluvionar e solos de alteração variados.

Com a classificação pelo sistema RMR (1989), tem-se uma estimativa para os valores de coesão e ângulo de atrito do maciço rochoso. Além do módulo de elasticidade que pode ser avaliado por meio das correlações apresentadas pela equação (2.3). A Tabela 32 exibe os valores estimados de coesão, ângulo de atrito e módulo de elasticidade para cada Setor da obra.

Tabela 32 – Estimativa de valores de coesão, ângulo de atrito e módulo de elasticidade.

Setor	Classe	Coesão (Kpa)	Ângulo de atrito	E (Gpa)
Sudeste	III	200 - 300	25° – 35°	9.44
Sul	III	200 - 300	25° – 35°	5.95
Sudoeste	III	200 - 300	25° – 35°	7.50
Oeste	III	200 - 300	25° – 35°	5.95

Fonte: A Autora (2023)

Sabe-se que para obter valores mais realistas desses parâmetros tabelados, devem ser realizados ensaios específicos, porém na ausência desses ensaios, essas estimativas devem servir de base para projetos básicos, podendo contribuir, mesmo

havendo grande variação de valores, para RMR bastante próximos, que é o caso do módulo de elasticidade.

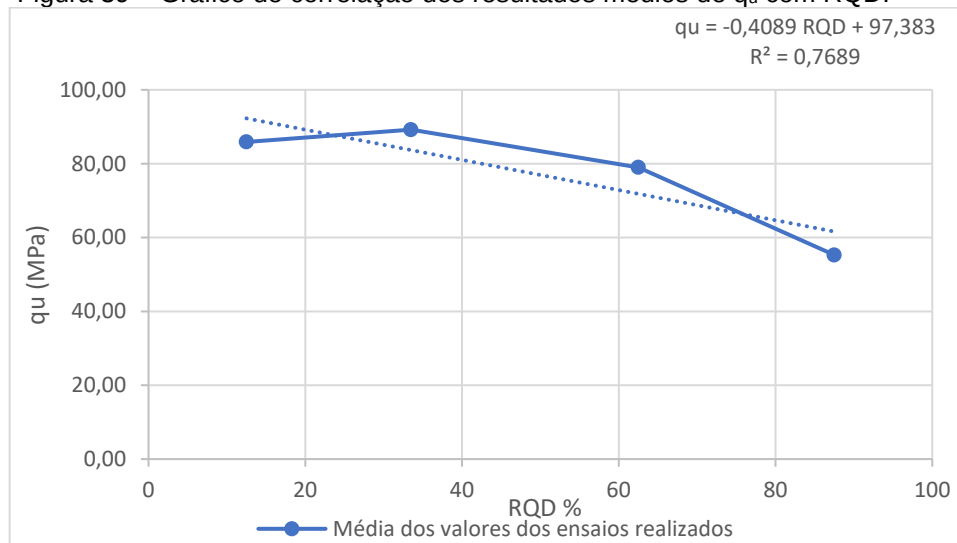
Na Tabela 33 observam-se todos os resultados, na tentativa de tentar correlacionar os resultados médios de q_u com RQD para todos os Setores, a quantidade de dados e a variação dos resultados inviabilizam a correlação.

Tabela 33 – RQD para todos os Setores.

Descrição da Rocha	Intervalo RQD (%)	Média RQD (%)	q_u por amostra (Mpa)										Média q_u (Mpa)
Rocha Ígnea metamorfisada, textura Granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	0-25	12,5	85,9										85,90
Rocha Metaígneia, textura granítica, pouco alterada e pouco deformada - Meta Monzogranito	25-50	33,5	107,39	95,75	60,02	118,23	111,28	87,79	59,76	73,52			89,22
Rocha Metaígneia, textura granítica gnaíssica, pouco alterada e pouco deformada - Monzogranito	50-75	62,5	121,38	65,99	99,76	29,33	74,07	104,18	66,45	70,83			79,00
Rocha Metaígneia a metamórfica, textura granítica gnaíssica, pouco alterada a alterada e pouco deformada a deformada - Granodiorito	75-100	87,5	42,69	110,88	12,27								55,28

Fonte: A Autora (2023)

Na Figura 39 apresenta-se a correlação dos resultados médios de q_u com RQD para todos os Setores

Figura 39 – Gráfico de correlação dos resultados médios de q_u com RQD.

Fonte: A Autora (2023)

6 TESTES DE CARGAS EM ESTACAS

A capacidade de carga da rocha e o contato concreto – rocha, pela ponta ou pelo atrito lateral não são perfeitamente conhecidos por uma série de fatores inerentes às características da rocha, ao valor da adesão concreto-rocha, bem como o grau de embutimento e, desta forma, alguns projetos acabam por definir determinado comprimento em rocha sã, geralmente conservadores. Assim sendo, ao verificar-se a necessidade de aferir as grandes capacidades de carga, para as quais as estacas são projetadas, ou ainda a fim de elaborar projetos com menos incertezas, os testes de capacidade de carga são realizados nas estacas.

Um total de 99 ensaios de carregamento dinâmico foram analisados pelo programa CAPWAP e realizados 5 testes de carga estática. Os ensaios de carregamento dinâmico são utilizados muitas vezes como complemento dos ensaios de carregamento estático ou na maioria dos casos em substituição.

6.1 METODOLOGIA DO ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO - ECD

O Ensaio de Carregamento Dinâmico (ECD), segundo a ABNT NBR 13208:2007, tem como objetivo avaliar as cargas mobilizadas na interface solo - estaca, a eficiência do sistema de impacto, as tensões de compressão e de tração ao longo da estaca, a integridade estrutural e as características dinâmicas do sistema solo-estaca.

O ensaio é baseado na aquisição de dados de força e velocidade da onda de tensão provocada por um golpe. Os sinais, advindos de instrumentação são captados e armazenados através de um analisador de cravação, como o equipamento PDA - Pile Driving Analyzer.

O equipamento PDA, utilizado na obtenção dos sinais de campo utilizados nesta pesquisa, realiza um cálculo da capacidade de carga através do Método CASE. Este método consiste em uma solução matemática fechada, baseada em hipóteses simplificadoras, tais como: Comportamento plástico do solo; Estaca idealmente elástica e uniforme; e a reação dinâmica se concentra na ponta da estaca. Que devem ser confirmados por uma análise numérica.

A análise numérica é executada através do programa CAPWAP, a partir de uma análise iterativa baseada na teoria da equação da onda.

Neste método, uma curva de força simulada, dependente de parâmetros adotados, é ajustada à curva de força medida, permitindo o ajuste dos parâmetros.

Na sequência, os equipamentos e os procedimentos utilizados nos ensaios de carregamento dinâmico encontram-se detalhados.

6.1.1 Equipamentos Utilizados

O sistema utilizado nos ensaios de carregamento dinâmico, foi adotado para a mobilização de carga mínima de 2 vezes a carga de trabalho (1.100 a 1.300 KN).

Os dispositivos utilizados nos ECD's estão abaixo descritos:

- **Martelo:** O sistema de aplicação do impacto (martelo) deveria apresentar massa e energia potencial, suficiente para provocar força de impacto capaz de gerar deslocamentos permanentes da ponta da estaca, e mobilizar resistência das camadas de solo atravessadas pelo fuste;
O dispositivo utilizado foi posicionado de forma a garantir a aplicação de impacto centrado e axial em relação ao topo da estaca;
- **Transdutor de Deformação Específica ou de Força:** As medidas de deformação foram convertidas em força, considerando-se a área da seção transversal e o módulo de elasticidade dinâmico do material da estaca, na posição da instrumentação;
- **Transdutor de Aceleração, de Velocidade ou de Deslocamento:** As medidas de velocidade foram obtidas através de acelerômetros, integrando-se o seu sinal em equipamento específico e apropriado.
- **Equipamento para aquisição, registro e processamento de dados:** Os equipamentos utilizados para aquisição registro e processamento dos sinais obtidos por meio de instrumentação foram apropriados ao uso e às condições a que foram submetidos.

6.1.2 Procedimento para o ECD

A execução do ECD foi realizada com energia crescente, considerando a resistência mínima do concreto de 20MPa ($f_{cj} \geq 20\text{MPa}$), tanto para o fuste da estaca como para sua cabeça.

O procedimento consiste em:

- Utilização de energia crescente. O número de estágios ou alturas foram definidas em função do sistema utilizado, conforme segue:
- altura de queda inicial: 20cm;
- altura de queda intermediárias: acrescentando de 10 a 20cm na altura de queda do estágio anterior até atingir altura de queda máxima.
- alturas de queda máxima: foram definidas pela empresa executora em função do sistema utilizado.
- A realização da análise tipo CAPWAP para o ensaio que apresente a maior carga mobilizada e resultados de análise CASE para as alturas intermediárias.

6.1.3 Critérios de paralização dos ensaios

Os ensaios de carregamento dinâmico foram paralisados nas seguintes condições:

- Ruptura do sistema na interface estaca-solo;
- Obtenção de níveis de tensão dinâmicas compressivas e de tração próximas às resistências características do material que constitui as estacas, ou seja, para as tensões de compressão, a tensão estrutural limite foi considerada de 20 MPa sendo está a resistência característica do concreto que foi utilizado nas estacas em estudo. Já para as tensões de tração foi considerada a tensão máxima de 2MPa, de acordo com a resistência à tração do concreto, definida a partir das prescrições da ABNT NBR 6118/2014.
- Iminência da possibilidade de dano estrutural ou constatação do mesmo e condições de segurança insatisfatórias que não permitem a continuidade dos ensaios
- Atendimento a carga máxima mobilizada de duas vezes a carga de trabalho.

6.1.4 Resultados obtidos na execução dos ensaios de carregamento dinâmico

O ensaio dinâmico consistiu na aplicação de energias cinéticas crescentes no topo do bloco de coroamento, através de golpes de martelo queda livre de pesos 3000kgf, 3780kgf e 5000kgf e com alturas de queda variáveis e crescentes até mobilização da carga máxima na interação estaca-solo e ou no limite de tensões

dinâmicas do concreto que constitui as estacas. Paralelamente foram verificadas as tensões máximas de tração e compressão aplicadas às estacas.

Os sinais médios de força e velocidade registrados pelo PDA consistiram na avaliação da capacidade mobilizada através do Método CASE no momento do ensaio e posteriormente com a utilização do software CAPWAP que utiliza os sinais de força x velocidade gravados em campo. O PDA registrou imediatamente, após cada golpe os seguintes valores:

- energia máxima transferida para a estaca no golpe (EMX);
- tensão máxima de compressão, maior dos dois sinais de força (FMX);
- resistência estática mobilizada (RMX);
- deslocamento máximo da estaca durante o impacto (DMX);
- tensão máxima de compressão, média dos dois sinais de força (CSX);
- tensão máxima de tração calculada ao longo do fuste da estaca (TSX).

O programa CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) tem como objetivo a execução de apurado processamento dos registros previamente gravados no campo. O processamento dos registros de campo pelo programa CAPWAP permite:

- Estimar a distribuição de resistência desenvolvida pelo solo ao longo da estaca;
- Determinar a componente dinâmica desta resistência;
- Estimar a capacidade de carga estática do sistema estaca-solo.

Os golpes selecionados correspondentes às estacas ensaiadas foram analisados pelo programa CAPWAP. O sinal de velocidade com base em um modelo assumido para o solo confinante à estaca permite calcular a curva de força em função do tempo na seção da estaca ao nível dos sensores.

O modelo do solo é então iterativamente aprimorado até que o melhor ajuste entre as curvas medidas e calculadas de força seja obtido, interpretado pelo Match, que é a diferença em percentagem, entre a curva calculada pelo CAPWAP e a curva medida em campo pelo ensaio de carregamento dinâmico. Quanto melhor o ajuste entre as curvas, maior será a precisão do valor de resistência máxima mobilizada. Sinais de melhor qualidade também foram selecionados e analisados pelo programa DINEXP.

O Apêndice A mostra os resultados CAPWAP dos ensaios de carregamento dinâmico para as 99 estacas ensaiadas.

Dentro de cada grupo de ensaios, fez-se variar o peso do martelo, as alturas de queda e o valor das resistências, obtendo para simulação o resultado da resistência máxima mobilizada.

Para compreender os resultados relacionados às 99 estacas ensaiadas, a Tabela 34 resume as principais informações de projeto das estacas e a Tabela 35 inclui os dados obtidos durante a investigação do terreno e implantação das estacas testadas, incluindo a ampla faixa de valores de q_u e distribuições estatísticas para os diferentes Setores, conforme já indicado no Capítulo 5.

Tabela 34 – Características das estacas raiz perfuradas em rocha.

ϕ_s (mm)	ϕ_r (mm)	L_s (m)	L_r (m)	Carga de trabalho (kN)
410	310	1 to 12,2	3 to 8	1.100 a 1.300

Fonte: A Autora (2023)

Tabela 35 – Distribuição estatística de q_u , RQD, comprimento da estaca no solo e na rocha e respectivos Setores.

Setor	Quantidade de Ensaios	Distribuição Estatística	q_u (MPa)	RQD (%)	Quantidade de Estacas	Distribuição Estatística	L_s (m)	L_r (m)
OESTE	6,00	Média	58,45	66,50	17,00	Média	5,23	4,85
		DP	38,40	25,14		DP	1,55	0,82
		CV	65,69 %	37,81%		CV	29,62%	16,96%
SUDESTE	2,00	Média	92,41	42,00	35,00	Média	2,39	6,20
		DP	26,70	1,41		DP	1,09	1,00
		CV	28,89 %	3,37%		CV	45,80%	16,08%
SUDOESTE	4,00	Média	99,56	50,50	11,00	Média	5,61	5,73
		DP	24,42	13,92		DP	2,29	1,23
		CV	24,53 %	27,56%		CV	40,80%	21,46%
SUL	8,00	Média	82,97	47,81	36,00	Média	8,20	5,55
		DP	18,92	18,86		DP	3,34	1,12
		CV	22,80 %	39,44%		CV	40,76%	20,19%
GERAL	20,00	Média	79,88	53,38	99,00	Média	5,35	5,68
		DP	29,98	20,27		DP	3,39	1,13
		CV	37,53 %	37,98%		CV	63,32%	19,92%
TOTAL	20,00				99,00			

Fonte: A Autora (2023)

(*) Para o Setor sudeste, apenas duas amostras estavam disponíveis, o coeficiente de variação não foi estimado.

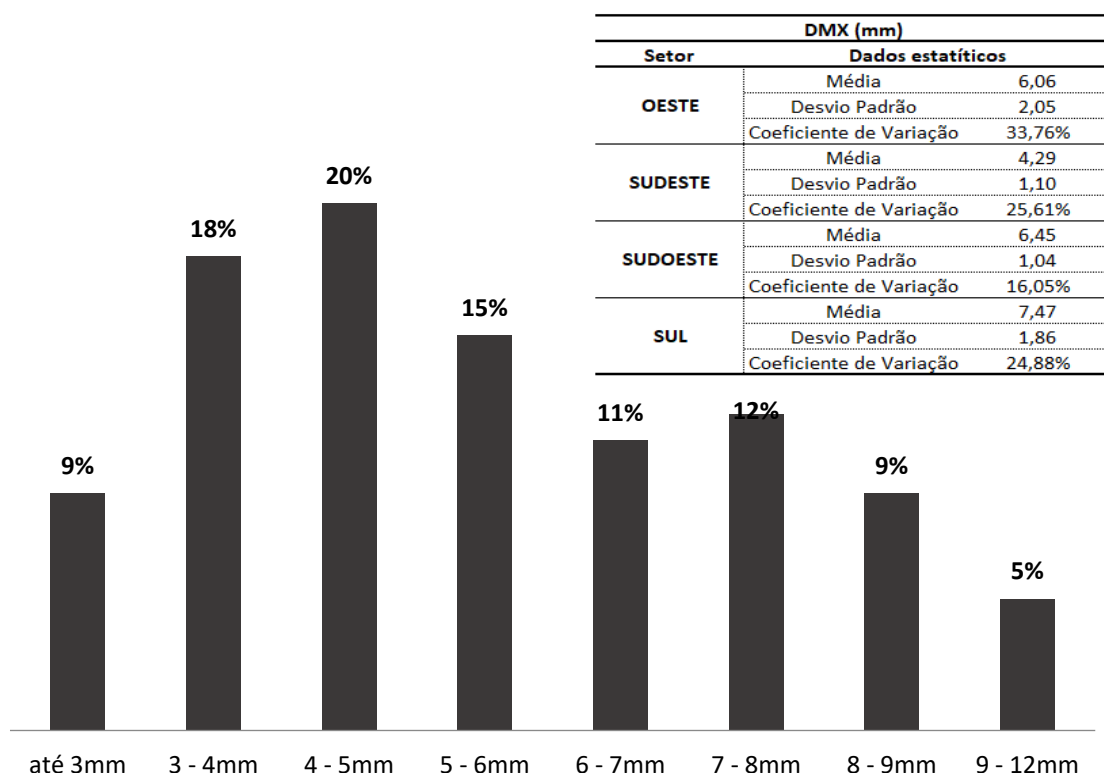
DP é o desvio padrão e CV é o coeficiente de variação.

A Tabela 35 mostra que os Setores Sudeste, Sudoeste e Sul apresentaram certa uniformidade na distribuição do q_u da rocha intacta, do RQD e da penetração do comprimento da estaca na rocha. No Setor Oeste, além do menor valor médio de q_u , sua variabilidade também superou significativamente os demais Setores. No entanto, a penetração de estacas na rocha apresentou o menor valor médio ao contrário do que se poderia esperar. A menor penetração em rocha deveu-se provavelmente ao maior RQD em relação aos demais Setores. Esta é uma indicação da importância das características geológicas, além do q_u , das amostras de rocha.

A eficiência do sistema, relação entre a energia potencial e a energia líquida transferida à estaca, foi calculada para cada estaca, considerando o golpe de maior resistência.

Nota-se na Figura 40 que somente 5% das estacas analisadas apresentaram deslocamentos máximo medido no topo entre 9 e 12mm, tratando-se de valor baixo, quando comparado aos sugeridos na literatura, quando se trata da mobilização de ponta apresentada nos resultados.

Figura 40 – Deslocamento máximo medido no topo das estacas, DMX, correspondente à carga de serviço



Fonte: A Autora (2023)

Segundo REESE e O' NEILL (1999), a resistência de ponta é mobilizada para valores de deslocamento no topo da estaca em torno de 5% do diâmetro, porém apenas 14 das 99 estacas ensaiadas, tiveram deslocamentos de 8 a 12 mm, variando de 2,5 a 3,9% do diâmetro da estaca embutida em rocha. Apenas 20% da capacidade total mobilizada foi resistida pela ponta da estaca. O Setor Oeste, com maior variabilidade, apresentou maiores deslocamentos durante os ensaios. A Figura 41 apresenta a distribuição estatística dos resultados CAPWAP para as 99 estacas. A Tabela 36 apresenta valores estatísticos dos resultados encontrados pela retroanálise CAPWAP separadas por Setor, com distribuição de resistências ao longo da estaca. Estes resultados estatísticos se referem a um total de 99 ensaios. O Apêndice B mostra o exemplo da E122, de como foi realizada a separação da carga lateral no trecho em solo e em rocha, e todos os gráficos das 99 estacas.

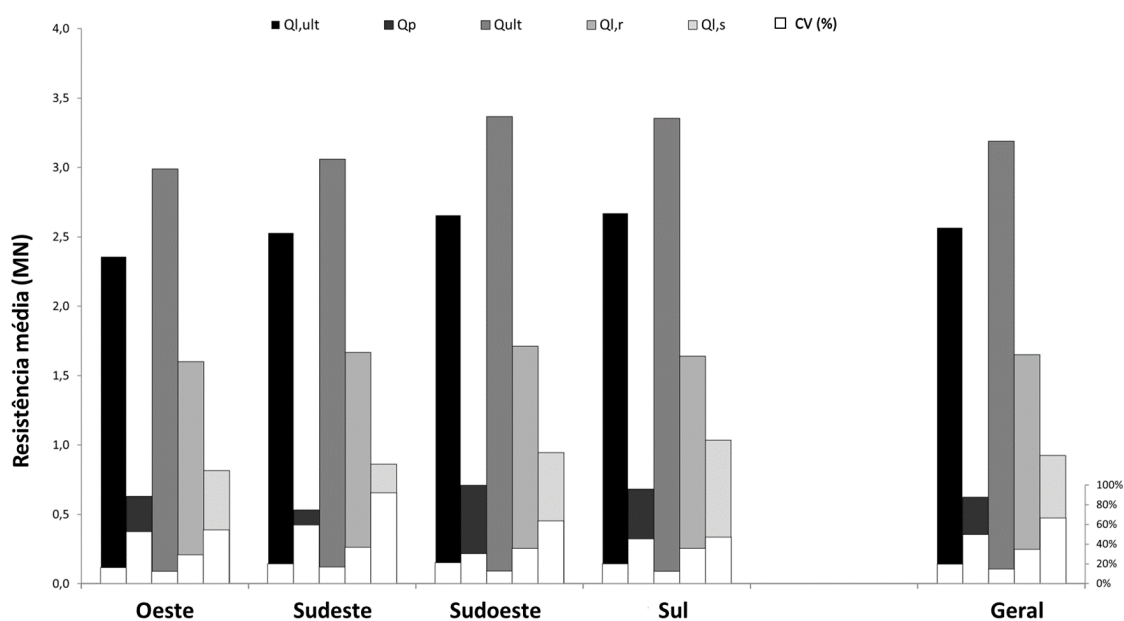
No Apêndice C mostra a distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste para os resultados CAPWAP para as 99 estacas ensaiadas.

Tabela 36 – Distribuição estatísticas das resistências e razões mobilizadas pelo CAPWAP

	Quantidade de Estacas	Distribuição Estatística	$Q_{l,ult}$ (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	$Q_{l,r}$ (kN)	$Q_{l,s}$ (kN)	$\frac{Q_{l,ult}}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_p}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,r}}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,s}}{Q_{l,ult}}$	$\frac{Q_{l,s}}{Q_{ult}}$
OESTE	17	Média	2.359,29	629,53	2.988,82	1.600,70	815,18	0,79	0,21	0,54	0,34	0,27
		DP	369,24	322,93	357,68	451,91	431,51	0,10	0,10	0,15	0,16	0,15
		CV	16,13%	52,88%	12,34%	29,10%	54,56%	13,56%	51,74%	27,92%	49,04%	55,36%
SUDESTE	35	Média	2.529,00	531,26	3.060,26	1.667,75	861,26	0,83	0,17	0,56	0,32	0,27
		DP	498,14	311,32	506,65	605,50	783,63	0,10	0,10	0,21	0,26	0,22
		CV	19,70%	58,60%	16,56%	36,31%	90,99%	12,09%	57,48%	37,75%	80,63%	82,53%
SUDOESTE	11	Média	2.657,45	708,73	3.366,18	1.711,52	945,94	0,78	0,22	0,50	0,35	0,28
		DP	537,87	205,58	408,53	583,84	574,96	0,08	0,08	0,14	0,19	0,16
		CV	20,24%	29,01%	12,14%	34,11%	60,78%	9,79%	35,28%	28,61%	55,37%	57,47%
SUL	36	Média	2.670,72	683,14	3.353,86	1.640,57	1.033,54	0,79	0,21	0,49	0,39	0,30
		DP	524,73	305,99	410,72	575,70	478,80	0,10	0,10	0,16	0,17	0,13
		CV	19,65%	44,79%	12,25%	35,09%	46,33%	12,09%	46,17%	32,08%	45,27%	44,18%
GERAL	99	Média	2.565,67	623,08	3.188,75	1.651,22	925,40	0,80	0,20	0,52	0,35	0,28
		DP	506,11	309,89	467,67	569,26	614,01	0,10	0,10	0,18	0,21	0,18
		CV	19,73%	49,73%	14,67%	34,48%	66,35%	12,25%	50,02%	33,95%	59,82%	61,86%

Fonte: A Autora (2023)

Figura 41 – Resistência mobilizada do CAPWAP (valor médio) e sua distribuição no solo e na rocha para 99 estacas testadas.



Fonte: A Autora (2023)

A maioria dos métodos de previsão baseia-se em uma comparação da resistência lateral da estaca observada no campo, ou em um teste de modelo de laboratório, e no q_u de força compressiva da rocha. O cisalhamento lateral mobilizado observado na rocha foi provisoriamente comparado ao q_u . Infelizmente, uma relação simples entre o cisalhamento lateral mobilizado e o q_u , ou RQD, não foi alcançada no caso em estudo Capítulo 7, ao contrário de Juvêncio et al. (2017).

Juvêncio et al. (2017) apresentam uma interpretação de testes dinâmicos em estacas em rochas gnáissica no Rio de Janeiro. Os autores obtiveram relação entre q_u e o RQD. Os valores do atrito lateral mobilizado em testes dinâmicos de estacas parcialmente embutidas em rocha gnáissica foram comparados com os valores de q_u derivados da correlação RQD. Uma expressão de previsão de resistência lateral mobilizada foi proposta por Juvêncio et al. (2017) para aplicação em projetos de fundação de estacas em maciço rochoso de formação gnáissica do Rio de Janeiro em equação (6.1). Juvêncio et al. (2017) enfatizaram que a ruptura não foi alcançada nos testes dinâmicos, o uso da Equação (6.1) é uma abordagem conservadora.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \alpha(5 + 0,6RQD)^\beta (\tau_{m\acute{a}x} \text{ em MPa, RQD em \%}) \quad (6.1)$$

Juvêncio et al (2017) sugeriram os valores de 0,2 e 0,3 para os parâmetros de ajuste empíricos α e β , muito próximos de Horvath (1978). Eles também descobriram que no gnaiss do Rio de Janeiro, que é apenas levemente fraturado, o RQD tem uma relação direta com o intemperismo.

De fato, os resultados da distribuição estatística de q_u e RQD na Tabela 31 não indicaram relação direta, principalmente no Setor Oeste. O maciço rochoso no presente caso é formado principalmente por granitos de diferentes composições, gnaisses e xistos, com acentuado intemperismo e intensa fragmentação. Esses foram provavelmente os motivos da dificuldade de estabelecer uma correlação no presente caso. A interpretação do teste dinâmico em termos de resistência total mobilizada foi a alternativa nas seções seguintes.

Os menores valores de resistência mobilizada total foram encontrados no Setor Oeste, com a menor média e mais variável q_u . Onde foram observados, nas investigações, os menores parâmetros intrínsecos do maciço, embora de forma menos significativa.

Todos os Setores apresentaram um mesmo padrão de comportamento quanto ao percentual de carga mobilizado pela ponta, em relação à resistência mobilizada total, com um valor médio de 20%. Da mesma forma, em todos os Setores a maior parcela da capacidade de carga mobilizada é devida à parcela de atrito no trecho perfurado em rocha, em média 52% da capacidade de carga global. No entanto, a carga lateral mobilizada no solo de cerca de 28% não deve ser desconsiderada. Um valor significativo de resistência lateral em solo ocorreu também nos Setores Oeste e Sudoeste, com comprimento de estacas no solo comparável ao da rocha.

Em relação ao coeficiente de variação, os menores valores foram observados para a resistência total mobilizada, Q_{ult} . Uma ampla dispersão foi encontrada para a resistência de ponta Q_p . Em relação à resistência lateral, verifica-se que, embora a principal contribuição seja devido à rocha, sua variabilidade foi muito menor do que a do solo. A resistência mobilizada lateral no solo ($Q_{l,s}$) apresentou um coeficiente de variação médio de 67 %, devido à alta variabilidade do perfil do solo, pela presença de trecho em aterro, em solo aluvionar e solo de natureza residual. Para a resistência lateral na rocha ($Q_{l,r}$) o coeficiente de variação foi bem menor, próximo a 35%.

A experiência mostra que a variabilidade da resistência de ponta de estacas em maciço de solo é razoavelmente superior à que ocorre por atrito. Tal condição também foi observada no caso em estudo, quando se compara a resistência de ponta, em rocha, com o atrito lateral no trecho em rocha. Esta observação, todavia, deve ser vista com cautela, uma vez se tratar apenas de resistência mobilizada, podendo estar afetada pelo nível de energia praticado no ensaio, que costuma ter maior influência na parcela de ponta.

Procurou-se proceder a mais um conjunto de análises, objetivando aferir os resultados anteriores, com o objetivo de verificar as resistências mobilizadas nos diferentes trechos e sua distribuição estatística de forma mais acurada. Os sinais de força e velocidade medidos nos ensaios foram novamente reinterpretados, utilizando-se, nesta segunda análise, o programa DINEXP. O item 6.2 apresenta a metodologia utilizada na retroanálise e os resultados estatísticos encontrados das 46 estacas que apresentaram maiores deslocamentos no topo, separadas por Setor, com distribuição de resistências ao longo da estaca.

6.2 RETROANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO ATRAVÉS DO DINEXP

Os sinais de força e velocidade medidos nos ensaios de carregamento dinâmico foram retroanalizados utilizando-se o programa computacional DINEXP, desenvolvido por ocasião da execução de estacas da Petrobras (COSTA, 1988). Este programa foi modificado por DANZIGER (1991) e por ALVES (2004), com a fusão das versões anteriores do programa e a implementação de um novo modelo de interação solo x estaca desenvolvido por Randolph e Simons (1985). A nova versão, chamada de DINEXP4, permite a escolha do modelo de Smith ou do modelo de Randolph & Simons na análise.

A utilização do programa DINEXP4 permitiu comparar os valores de capacidade de carga e distribuição de resistência do ensaio de carregamento dinâmico a partir da retroanálise pelo método de Smith para o mesmo sinal.

O programa DINEXP foi desenvolvido por COSTA (1988), para utilização no controle de cravação das estacas do Polo Nordeste da Petrobras, localizado na bacia e Campos (RJ). Originalmente, os principais objetivos do programa eram a retroanálise dos sinais de cravação adquiridos em campo e o controle das tensões de cravação nas estacas. Posteriormente, o programa foi complementado, com a inclusão de sub-rotinas para permitir previsões de cravabilidade. (ALVES, 2004).

Na versão original do programa DINEXP, o solo é representado através do modelo de SMITH (1960), com molas não-lineares com comportamento elasto-plástico perfeito, sendo sua resistência não-estática simulada por amortecedores, com resistência diretamente proporcional à velocidade e à resistência estática. Também é possível a escolha do modelo de Smith modificado, onde a resistência não-estática é proporcional à velocidade e à resistência última, (ALVES, 2004). Os valores de “quake” e amortecimento podem variar ao longo do fuste da estaca.

O programa DINEXP permite apenas a retroanálise do sinal de força medida na seção instrumentada da estaca. A curva simulada de velocidade na seção instrumentada foi comparada com a curva medida, e os parâmetros dos modelos foram continuamente modificados pela operadora do programa, até que se fosse alcançado o mais perfeito ajuste possível entre as duas curvas. O programa foi escrito em linguagem FORTRAN, e emprega em sua formulação o Método dos Elementos Finitos.

A operação de ajustes é bastante trabalhosa, cada parâmetro do solo modificado faz um efeito na curva analisada, cabe destacar que para cada estaca analisada, inúmeros sinais foram avaliados. As operações de ajustes variaram entre 2 e 23 iterações por estaca, visto que com a experiência acumulada da operadora, o número de simulações por estaca foi sendo diminuído.

6.2.1 Principais observações apontadas na retroanálise

O valor da capacidade de carga total e a distribuição das resistências ao longo das estacas, são dois fatores que estão sempre relacionados. Os valores de atrito devem ser inseridos como porcentagens distribuídas ao longo do comprimento da estaca. Os percentuais de resistência do atrito devem totalizar 100%, logo se em algum trecho o percentual for aumentado, significa que a redução deve ocorrer em outro local.

Adota-se normalmente, para os valores iniciais de amortecimento, as sugestões de Smith (1960). Porém, após iterações necessárias para ajustar algum trecho específico, as variações nos coeficientes de amortecimento do trecho do fuste, afetam um trecho restrito. Quanto maior a velocidade de partícula na ponta, maior a parcela de resistência dinâmica. Quanto maior a velocidade na ponta, mais sensível o valor do amortecimento escolhido.

Conforme já exposto por DANZIGER (1991), o quake da ponta é um parâmetro importante e que afeta o trecho final do sinal. Já o quake do atrito altera um trecho localizado do sinal, semelhante à distribuição de resistências e ao amortecimento de atrito.

Quanto ao fator de descarregamento, atinge o sinal em um trecho mais extenso, semelhante ao valor de capacidade de carga.

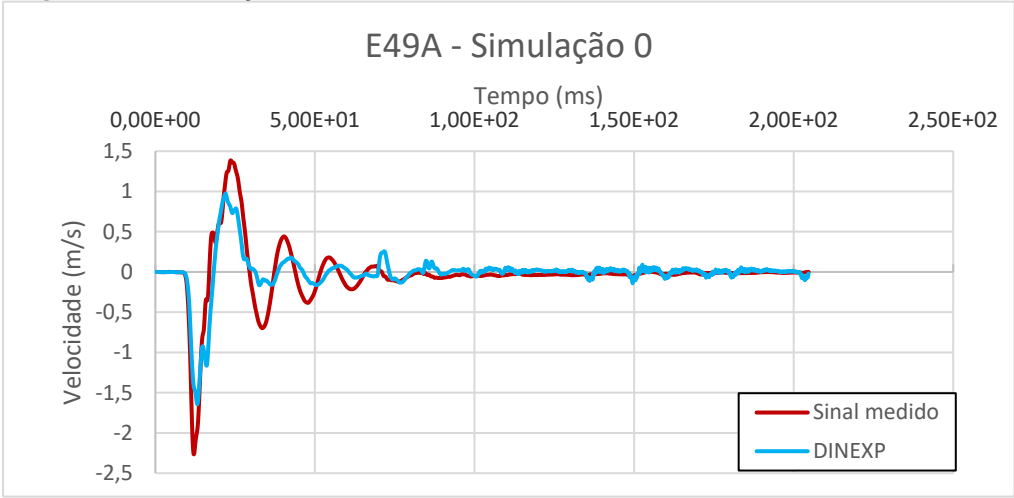
As várias rotinas do programa, o conjunto de variáveis e toda a documentação do programa foi apresentada na tese de Danziger (1991). A grande vantagem do uso deste programa, em relação ao CAPWAP, é que se conhece o programa fonte, e não apenas a versão executável. Desta forma, acompanhando toda a descrição das rotinas descritas por Danziger (1991) foi possível à autora, durante a operação do programa, entender o que cada rotina é capaz de prover e, assim, fica mais simples e natural a escolha dos parâmetros que promovem um maior ajuste dos sinais.

A partir da análise CAPWAP, a operadora foi tentando melhorar os parâmetros do solo/ rocha e a distribuição de carga, na execução do programa DINEXP, já que uma das principais dúvidas seria a concentração de um atrito maior junto à ponta ou a consideração da resistência de ponta, resultados encontrados na análise CAPWAP. Como o resultado da análise CAPWAP visou apenas uma resposta de avaliação de desempenho à obra, um maior refinamento deste resultado não faria diferença no resultado global, que é garantir a segurança à ruptura das estacas da obra. A análise CAPWAP objetivou chegar à carga de ruptura, independentemente da distribuição de resistências, apenas para cumprimento de uma resposta aos donos do empreendimento como avaliação do desempenho global.

O objetivo da retroanálise também pelo DINEXP foi procurar chegar à uma distribuição de resistência mais refinada, uma vez que diferentemente do programa da PDI, em que se tem apenas a versão executável, o conhecimento das rotinas fonte elaboradas na linguagem em Fortran permite uma análise com uma melhor compreensão do comportamento do fenômeno da transmissão e reflexão das ondas de tensão, da importância das singularidades advindas das alterações dos parâmetros na onda refletida e sua adequação à natureza das sondagens, ao invés de se de procurar apenas uma boa qualidade nos ajustes.

Nas Figura 42 à Figura 45 , pode-se verificar algumas etapas até encontrar o ajuste final considerado satisfatório, já que não cabe mostrar aqui todas as iterações realizadas em todas as estacas. Foi escolhido o sinal da estaca E49A analisada com o programa DINEXP.

Figura 42 – Simulação 0



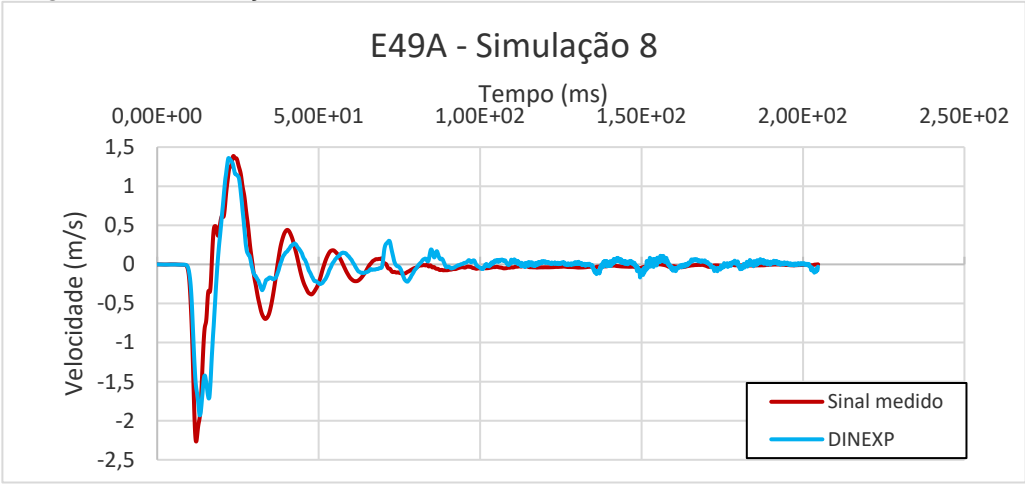
Parâmetros	Ponta	Atrito
Q_u (KN)=3421	27%	73%
Quake (mm)=	2.904	3.288
Amortecimento (s/m)=	0.806	0.706

Fonte: A Autora (2023)

Na simulação 0, foram considerados basicamente todos os parâmetros do ensaio de carregamento dinâmico obtidos da análise realizada pela PDI, no ajuste pelo CAPWAP. Ainda assim, pode ser observado que não houve um bom ajuste na análise pelo DINEXP.

Nas demais simulações foram sendo ajustados alguns parâmetros, conforme descrição abaixo de cada gráfico, sempre relacionado à simulação 0. Foram realizadas várias análises tentativas até se obter um melhor ajuste. A seguir é ilustrada a oitava simulação.

Figura 43 – Simulação 8

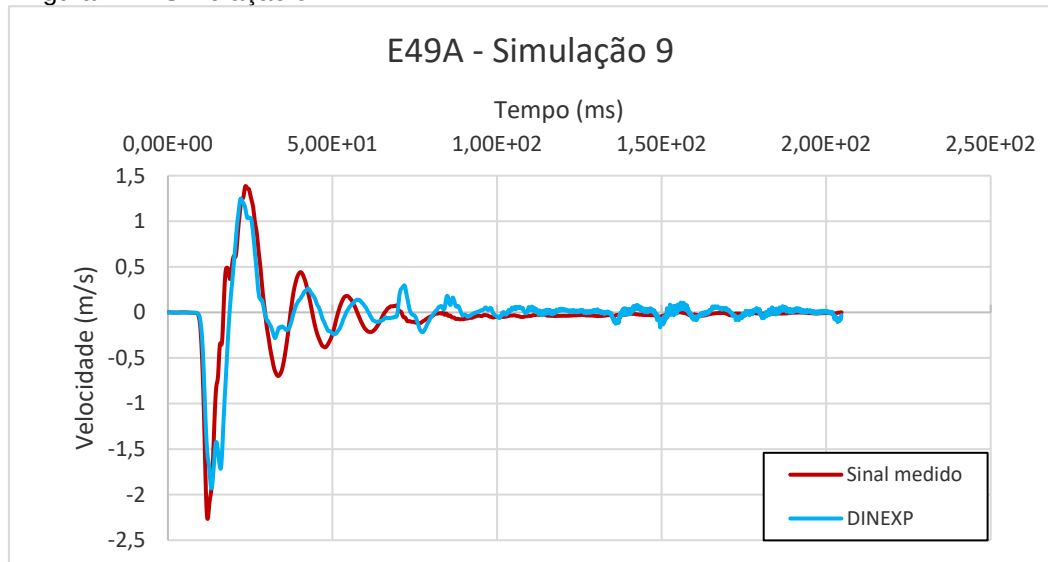


Parâmetros	Ponta	Atrito
Q_u (KN)= 2900	27%	73%
Quake (mm)=	2.904	3.288
Amortecimento (s/m)=	0.806	0.706

Fonte: A Autora (2023)

Como a velocidade medida estava maior que a calculada, reduziu-se a capacidade de carga total, no ajuste seguinte, para 2900KN, como uma forma de se obter o ajuste melhorado, conforme realizado na simulação 8.

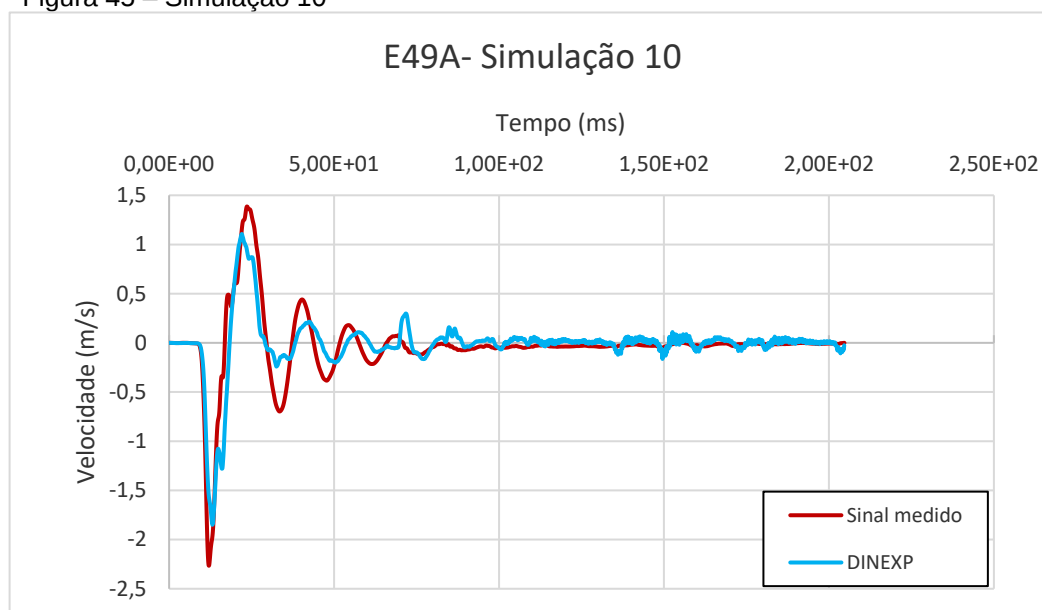
Figura 44 – Simulação 9



Fonte: A Autora (2023)

Como ainda havia diferenças entre as duas curvas, optou-se por aumentar os valores de quake da ponta, para melhorar o ajuste, porém conforme demonstrado na simulação 9, isso não ocorreu.

Figura 45 – Simulação 10



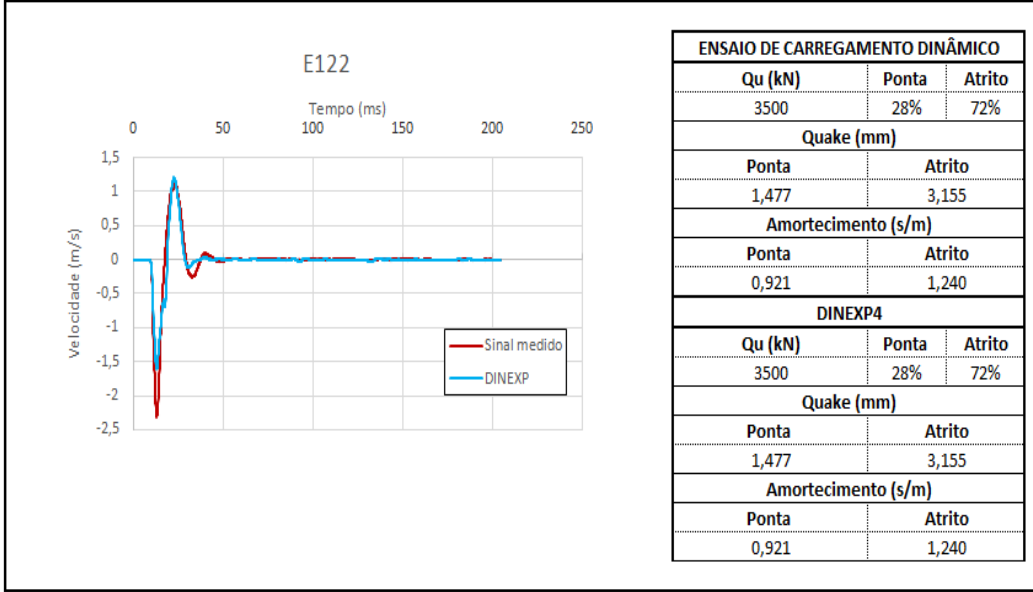
Fonte: A Autora (2023)

Mudando a distribuição do atrito aos poucos, com a mesma porcentagem, mas reduzindo a parcela mais próxima à ponta e distribuindo mais para cima, a simulação 10 mostra que a simulação 8 ainda é a melhor. Após diversas tentativas de distribuições de resistências, o melhor ajuste é o representado na Figura 43, na qual o percentual da parcela de resistência de ponta é 27%.

Fazer a variação de carga total e a distribuição da carga lateral por trecho aos poucos, ajuda a ir implementando os ajustes finos, assim é possível ir observando e vendo o que leva a um melhor ajuste.

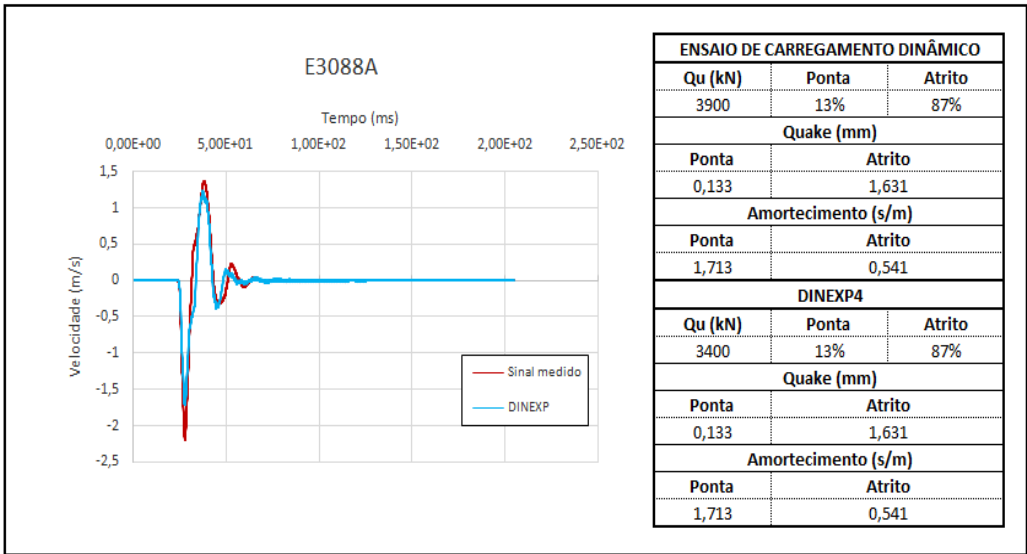
Abaixo, mais dois exemplos de melhores ajustes finais encontradas para as estacas E 122 e E 3088A.

Figura 46 – Exemplo de ajuste de curvas medidas e calculadas da estaca E122



Fonte: A Autora (2023)

Figura 47 – Exemplo de ajuste de curvas medidas e calculadas da estaca E3088A



Fonte: A Autora (2023)

Faço ao elevado número de curvas ajustadas nesta tese, apenas os gráficos de 5 sinais típicos foram apresentados. Eles apresentam-se consistentes entre si. Após a simulação das 46 estacas, foram reunidos todos os parâmetros do solo/rocha, obtido da retroanálise, conforme item 6.2.2.

6.2.2 Resultados obtidos na retroanálise das 46 estacas

Os sinais de força e velocidade medidos nos ensaios foram novamente reinterpretados para 46 estacas analisadas através do programa DINEXP. A distribuição das resistências laterais nos trechos em solo e na rocha e a distribuição estatística correspondente foram obtidas e comparadas com as das análises CAPWAP. A Tabela 37 mostra os resultados estatísticos.

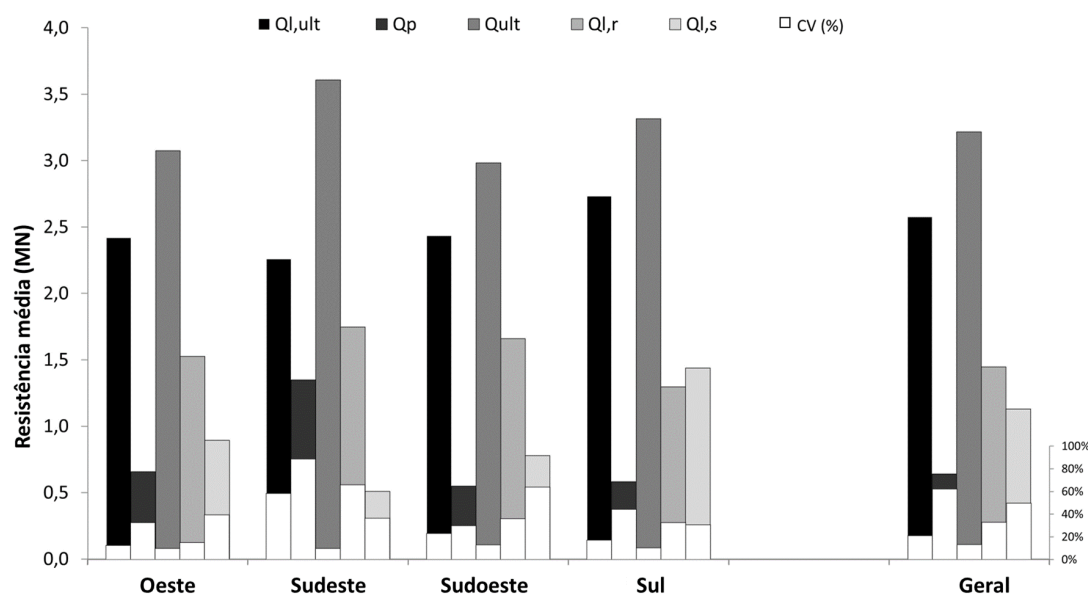
Diferentemente da análise com o programa CAPWAP, no caso da análise com o programa DINEXP o trecho Sudoeste foi o que apresentou o menor valor de resistência mobilizada total. Uma vez que o número de dados da análise CAPWAP é superior ao dos ensaios analisados pelo DINEXP, esta diferença pode ser justificada. Como o programa CAPWAP foi aplicado a 99 testes e o DINEXP a 46, a diferença no valor médio, próximo a 7%, não tem significância, especialmente quando a singularidade dos resultados do CAPWAP é levada em consideração (por exemplo, Danziger et al. (1996)).

Tabela 37 – Distribuição estatísticas das resistências e razões mobilizadas pelo DINEXP

Setor	Quantidade de Estacas	Distribuição Estatística	$Q_{l,ult}$ (kN)	Q_p (kN)	Q_{ult} (kN)	$Q_{l,r}$ (kN)	$Q_{l,s}$ (kN)	$\frac{Q_{l,ult}}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_p}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,r}}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,s}}{Q_{l,ult}}$	$\frac{Q_{l,s}}{Q_{ult}}$
OESTE	10	Média	2.419,61	657,01	3.075,62	1.527,01	894,15	0,79	0,21	0,50	0,29	0,36
		DP	288,33	202,69	284,46	217,61	334,40	0,06	0,06	0,07	0,09	0,11
		CV	12,56%	32,52%	9,75%	15,02%	39,42%	8,43%	31,15%	14,45%	34,21%	31,54%
SUDESTE	3	Média	2.257,73	1.349,27	3.607,00	1.747,27	510,47	0,62	0,38	0,48	0,14	0,27
		DP	1076,26	977,60	287,34	941,01	151,58	0,28	0,28	0,25	0,04	0,09
		CV	47,67%	72,45%	7,97%	53,86%	29,69%	45,62%	74,43%	51,68%	31,37%	32,71%
SUDOESTE	9	Média	2.435,32	549,03	2.984,44	1.659,44	778,37	0,82	0,18	0,56	0,26	0,30
		DP	531,15	282,67	592,16	439,05	619,02	0,09	0,09	0,16	0,22	0,23
		CV	21,81%	51,48%	19,84%	26,46%	79,53%	11,27%	51,32%	28,42%	83,68%	75,60%
SUL	24	Média	2.733,36	582,46	3.314,83	1.295,51	1.437,91	0,82	0,18	0,39	0,43	0,53
		DP	462,26	252,96	336,55	411,93	432,48	0,08	0,08	0,12	0,12	0,14
		CV	16,91%	43,43%	10,15%	31,80%	30,08%	10,30%	47,31%	30,12%	28,14%	26,50%
GERAL	46	Média	2.575,82	642,14	3.217,24	1.446,50	1.130,18	0,80	0,20	0,45	0,35	0,43
		DP	537,60	395,59	424,87	471,56	556,01	0,12	0,12	0,15	0,17	0,18
		CV	20,87%	61,60%	13,21%	32,60%	49,20%	14,75%	59,17%	32,86%	47,73%	43,03%

Fonte: A Autora (2023)

Figura 48 – Resistência mobilizada do DINEXP (valor médio) e sua distribuição no solo e na rocha para 46 estacas testadas.



Fonte: A Autora (2023)

Os menores coeficientes de variação das análises DINEXP também foram encontrados na resistência total mobilizada, Q_{ult} na Figura 42. Foi encontrada uma alta faixa de dispersão na resistência de ponta mobilizada, Q_p , com coeficiente de variação de 62%, muito superior ao CAPWAP, mas compatível com a experiência com testes estáticos e dinâmicos. A resistência lateral transferida para o solo ($Q_{l,s}$) nas análises com DINEXP também indicou baixa uniformidade, com coeficiente de variação de 49%. Para a resistência lateral mobilizada em rocha ($Q_{l,r}$) o coeficiente de variação foi muito menor, 33%, muito semelhante aos resultados do CAPWAP.

Ambos os programas indicaram que a capacidade lateral no solo não deve ser desconsiderada.

Juvêncio et al. (2017) também observaram uma contribuição significativa do solo residual sobrejacente à rocha na capacidade de carga lateral dos 30 ensaios dinâmicos de estacas parcialmente embutidas em uma rocha granítica gnaíssica com grau de alteração gradual do intemperismo.

A força e/ou velocidade medida e estimada no topo da estaca indicou uma correspondência muito boa com a aplicação do programa CAPWAP e DINEXP. Os resultados confirmaram as indicações da literatura: a capacidade lateral é a principal contribuição da mobilização de resistência de estacas parcialmente embutidas na rocha, chegando a quase 80% no presente caso analisado pelo CAPWAP e pelo

DINEXP. O percentual de mobilização na ponta da estaca permaneceu próximo a 20% para ambos os programas. A contribuição de cada componente da resistência total foi de 20%, 52% e 28% para resistência de ponta mobilizada em rocha, resistência lateral em rocha e resistência lateral em solo para análises CAPWAP e 20%, 45% e 35% para as análises com o DINEXP.

Apesar de desconsiderada na literatura, uma contribuição significativa da resistência lateral do solo foi encontrada não apenas neste caso em Recife, mas também na base de dados interpretada por Juvêncio et al. (2017) no Rio de Janeiro. A contribuição do solo, embora menor em relação à capacidade lateral em rocha, revela espaço para otimização no dimensionamento de fundações profundas em estacas-raiz em rochas.

6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO ESTÁTICO

O ensaio de carga estático não caracterizou a ruptura do solo. Alguns métodos de extrapolação foram adotados para obter uma carga de ruptura convencional: Terzaghi (1943), Van Der Veen (1953), Chin (1970; 1971), Davisson (1972), Décourt (1996) e ABNT (2019). Devido à falta de um valor experimental para o módulo de concreto das estacas, o valor de 25 GPa foi considerado na interpretação do encurtamento elástico das estacas pelos métodos de Davisson (1972) e ANBT (2019).

Para cada estaca foram indicadas duas cargas de ruptura convencionais extrapoladas, Apêndice D. Na Tabela 38 apresenta-se o resumo desses resultados. A coluna designada por L fornece os resultados extrapolados da prova de carga do tipo mantida lenta e a coluna designada por R mostra os resultados extrapolados da prova de carga do tipo carga mantida rápida. Com exceção da estaca E184, os testes rápidos indicam uma carga de ruptura maior em relação aos testes de carga mantida lenta, como esperado (LOPES et al., 2021).

Tabela 38 – Cargas de ruptura convencionais extrapoladas para os testes de carregamento estático de manutenção lenta e rápida interpretadas para as 5 estacas testadas.

Método	E7043 (KN)		E5043 (KN)		E5103 (KN)		E184 (KN)		E122 (KN)	
	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R
Terzaghi (1943)	6.400	7.030	3.920	5.100	3.350	3.416	5.200	2.948	3.900	4.390
Van Der Veen (1953)	6.664	7.350	4.410	5.880	3.430	3.430	*	2.940	3.920	4.410
Chin (1970;1971)	10.000	12.500	10.000	10.000	5.000	10.000	10.000	5.000	10.000	10.000
Davisson (1972)	6.540	7.248	3.628	5.200	3.200	3.377	5.250	2.940	3.855	4.385
Décourt (1996)	9.716	11.681	8.400	8.529	5.554	5.858	11.947	4.537	9.048	6.818
ABNT (2019)	6.598	7.300	2.499	5.390	3.300	3.403	5.255	2.948	3.890	4.400

Fonte: A Autora (2023)

(*) Valor Extrapolado Inconsistente

Apenas a estaca E122 foi submetida ao teste dinâmico e estático, o dinâmico dezessete dias depois do teste estático. A carga de ruptura convencional dos testes estáticos mostrados na Tabela 34 foram muito semelhantes, exceto para os métodos de Chin (1970; 1971) e Décourt (1996). Excluindo esses dois métodos, a carga de ruptura convencional média para o teste de carga lenta para a estaca E 122 é de 3890 kN e a resistência mobilizada pela análise CAPWAP é de 3432 kN, sendo a primeira 12% maior que a segunda. Se for considerado o teste de carga estática rápida, a carga de ruptura convencional é de 4396 kN, um valor 28% maior que o resultado do CAPWAP.

Na Tabela 39 são comparados os resultados da resistência mobilizada na análise CAPWAP de uma estaca muito próxima das estacas ensaiadas estaticamente (localizadas no mesmo bloco). As estacas, com resultados comparados, possuem a mesma penetração na rocha. A resistência mobilizada CAPWAP da estaca E7041 é comparada à carga de ruptura convencional do teste rápido na estaca E 7043. A estaca E5065 é comparada às estacas E5043, E5107, a E5103 e E186B à E184, respectivamente. Apenas a estaca E122 é comparada a si mesma. Todas as cargas de ruptura convencionais da Tabela 38 correspondem ao valor médio considerando os resultados dos métodos citados, exceto Chin (1970; 1971) e Décourt (1996). A escolha do teste estático de carga rápida, em vez do teste estático de carga lenta, na Tabela 39, é resultado da maior carga e deslocamento alcançado no teste rápido, permitindo uma interpretação mais confiável da carga de ruptura convencional extrapolada.

Tabela 39 – Resistência mobilizada comparada à carga de ruptura convencional do teste estático

Estaca	E7041	E7043	E5065	E5043	E5107	E5103	E186B	E184	E122	E122
	Q _{ult} (mobilizada)	Q _{ult, média} (extrapolada)	Q _{ult} (mobilizada)	Q _{ult, média} (extrapolada)	Q _{ult} (mobilizada)	Q _{ult, média} (extrapolada)	Q _{ult} (mobilizada)	Q _{ult, média} (extrapolada)	Q _{ult} (mobilizada)	Q _{ult, média} (extrapolada)
Carga de ruptura mobilizada e extrapolada (KN)	2643	7232	2500	5392	3090	3407	4069	2948	3432	4396
Relação da carga de ruptura extrapolada pela carga Mobilizada (%)	2.7		2.2		1.1		0.72		1.3	

Fonte: A Autora (2023)

Comparando os resultados da estaca E122, a única submetida ao ensaio de carregamento dinâmico e estático, com o valor médio dos demais ensaios (exceto E184), observa-se o seguinte: um valor da razão carga de ruptura extrapolada pela resistência mobilizada de 1,3 para a estaca E122 e 2 como típico para as demais estacas.

Desde que a estaca E122 apresente uma carga de ruptura convencional no teste de carga estática rápida 1,13 vezes o valor obtido na carga mantida lenta, pode-se inferir que: a carga de ruptura estática convencional esperada em uma carga mantida lenta é próxima de 1,2 a 1,8 vezes os valores mobilizados obtidos no teste dinâmico neste estudo de caso. Os resultados do teste de carga estática garantem que o projeto poderia ser otimizado. Isso ilustra que o projeto de fundações profundas em estacas raiz com penetração em rocha pode ser otimizado em casos de obras futuras.

6.4 ANÁLISE PELO MODELO DE MASSAD

A aplicação do método proposto por Massad (1993) permite fazer a separação da contribuição das camadas de solo e de maciço rochoso, no atrito lateral de forma simples. A partir desses valores, pode ser feita uma comparação com a capacidade de carga lateral de cada trecho da estaca, obtida pela retroanálise dos sinais instrumentados.

Realizou-se também a retro análise do módulo de Young E da rocha. A expressão de Carter e Kulhawy (1988), baseado no trabalho de Randolph e Wroth (1978), foi também utilizada por Mussarra e Massad (2015).

A autora da presente pesquisa utilizou uma abordagem um pouco diferente da proposta por Carter e Kulhawy (1988) e Mussarra e Massad (2015), uma vez que nesta solução foi considerada a mobilização apenas da parcela de atrito. A autora considerou também a absorção da pequena parcela de ponta. Desta forma, a partir da equação 2.149, substituindo o módulo cisalhante pelo módulo de elasticidade, $E = 2G(1+\nu)$, e explicitando o valor da rigidez da estaca equivalente, chega-se à equação (6.2):

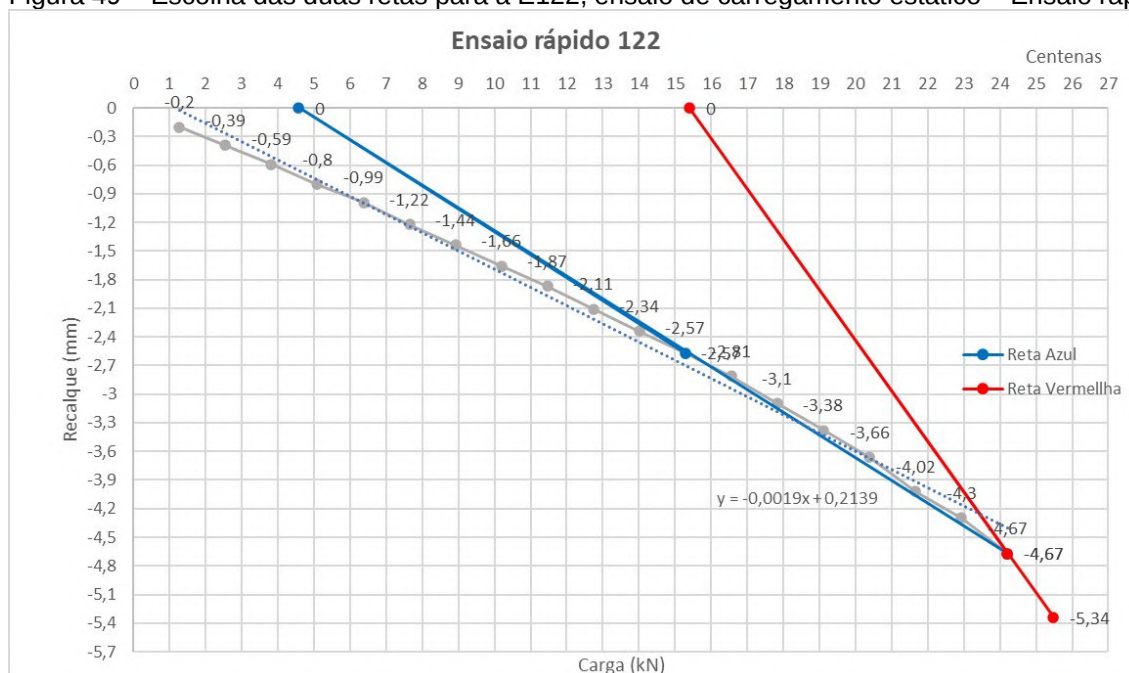
$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_0 E}{2(1+\mu)} \left[\frac{4}{(1-\mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_0} \right] \quad (6.2)$$

No Apêndice C. encontra-se o valor de E , módulo de Young, para cada estaca, obtido através da equação acima.

Como as estacas do tipo raiz são estacas relativamente rígidas, o modelo se torna mais simples, como ilustram os artigos de Mussarra et al (2015) e Fonseca et al (2007). Face à maior simplicidade de interpretação, foram interpretados cinco ensaios estáticos e 46 dos ensaios dinâmicos. A autora selecionou os ensaios dinâmicos em que foi procedida a análise pelo DINEXP. Como apenas a estaca E122 foi submetida a ensaio estático e dinâmico, por ocasião dos ensaios dinâmicos as demais estacas não haviam sido ainda carregadas. Por este motivo, não se procedeu à análise das cargas residuais.

Foram traçadas as duas retas que caracterizam o ensaio em estacas rígidas. Apenas o caso da Estaca E122 é ilustrado aqui no texto, Figura 49, por tratar-se de um caso típico e também por incluir tanto o resultado do ensaio estático como o dinâmico. Os cálculos correspondentes estão ilustrados no Apêndice C e D. Com base nos resultados da prova de carga rápida, que atingiu cargas mais elevadas, foram traçadas as duas retas do método de Massad, como mostram as Figura 15 e Figura 16 do Capítulo 2. A curva cinza foi feita a partir da curva do ensaio, as retas vermelha e azul são àquelas que a autora da presente pesquisa interpretou e indicou na Figura 49 como um caso típico.

Figura 49 – Escolha das duas retas para a E122, ensaio de carregamento estático – Ensaio rápido.



Fonte: A Autora (2023)

6.4.1 Interpretação dos resultados dos ensaios estáticos

De acordo com o método apresentado no item 2.4.3, os resultados apresentados das curvas carga x recalque dos cinco ensaios de carregamento estático tipo rápido QML (quick maintained load) foram também comparados à interpretação do modelo matemático de Massad (1992, 1993).

Após interpretação dos resultados dos ensaios estáticos pelo método de Massad Apêndice C, exceto para a estaca E122, as demais estacas ensaiadas apresentaram atrito unitário mobilizado na rocha mais elevado do que aquele mobilizado em solo. Os resultados estão resumidos na Tabela 36. Enquanto o atrito unitário em solo variou na faixa de [0.09 a 0.29] MPa, com valor médio de 0.16 MPa, os valores em rocha variaram na faixa de [0.14 a 0.33], com valor médio de 0.25 MPa.

Tabela 40 – Resultados da análise das provas de cargas estáticas pelo método de Massad.

Estaca	Setor	Carga máx. mob. (kN)	A _{ir} (kN)	P _L (kN)	P _P (kN)	AS	f _{Srocha} (MPa)	f _{Ssolo} (MPa)	E (MPa)
7043	Oeste	2.420,60	867,83	1407,97	144,80	-0,06	0,29	0,14	244,93
5043	Oeste	2.548,00	688,35	1686,23	173,42	0	0,35	0,12	93,41
5103	Oeste	2.165,80	618,95	1379,06	167,79	-0,02	0,35	0,09	187,08
184	Sul	2.548,00	1559,64	896,19	92,17	0	0,18	0,15	95,37
122	Sul	2.548,00	1777,75	691,85	78,38	0,03	0,16	0,29	81,23

Fonte: A Autora (2023)

Se for considerado o valor de ruptura extrapolado pelo método da NBR 6122-2019, e partindo do pressuposto que todo o excedente da carga, em relação à máxima do ensaio, se concentre na mobilização do atrito em rocha, os valores de atrito unitário em rocha para as estacas 7043, 5043, 5102, 184 e 122 seriam: [1.27, 0.91, 0.66, 0.29 e 0.52] MPa, com valor médio de 0.73 MPa. Estes resultados mostram uma resistência mobilizada, na ruptura, cerca de 3 vezes superior àquela mobilizada para a carga máxima do ensaio estático no trecho do atrito em rocha.

Observou-se que o maior valor de mobilização em rocha ocorreu no Setor Oeste. O menor ocorreu no Setor Sul. Não foram realizados ensaios de carregamentos estáticos nos Setores Sudeste e Sudoeste.

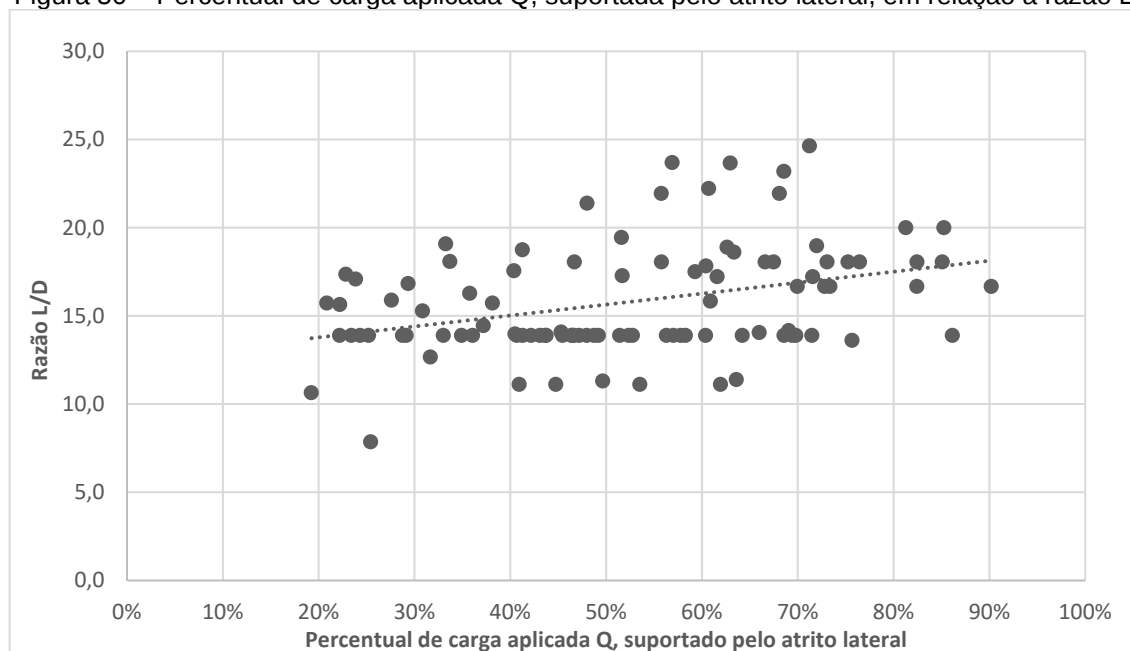
Em termos médios, os ensaios estáticos, quando interpretados pelo método de Massad (1992, 1993) indicaram uma porcentagem de resistência, na ruptura, mobilizada em solo de cerca de 12%, 13%, 18%, 53%, 40% nas estacas 7043, 5043, 5102, 184 e 122, respectivamente, com valor médio de 27%, em relação à extrapolação da carga de ruptura pela NBR 6122 (2019). Os ensaios estáticos mostram também que a parcela em solo nas estacas parcialmente embutidas em rocha tem um valor razoável, que não deve ser desprezado.

Em termos médios, os ensaios estáticos, quando interpretados pelo método de Massad (1992, 1993) indicaram uma porcentagem de resistência, na ruptura, mobilizada no trecho em rocha de cerca de 86%, 84%, 77%, 44% e 58% nas estacas 7043, 5043, 5102, 184 e 122, respectivamente, com valor médio de 70%, para a mesma premissa de que o valor que excede à maior carga mobilizada, em relação ao disponível na ruptura pela NBR 6122-2019, esteja concentrado no atrito em rocha. Os ensaios estáticos mostraram também que a parcela de atrito nas estacas parcialmente embutidas em rocha tem o valor mais significativo, entre todos os demais.

Já para a parcela de ponta, os ensaios estáticos, quando interpretados pelo método de Massad (1992, 1993) indicaram uma porcentagem de resistência, na ruptura, mobilizada no trecho de ponta em rocha de cerca de 2%, 3%, 5%, 3% e 2% nas estacas 7043, 5043, 5102, 184 e 122, respectivamente, com valor médio de 3%, para a mesma premissa de que o valor que excede à maior carga mobilizada, em relação ao disponível na ruptura pela NBR 6122-2019, esteja concentrado no atrito em rocha. Na realidade, a autora separou a parcela de atrito e ponta em rocha, no método de Massad, como se fora uma estaca rígida, considerando a proposta de Randolph (1977) e Randolph e Whroth (1978). Este aspecto será também destacado no item 6.4.3 e seu desenvolvimento é detalhado nos apêndices E e F. Os ensaios estáticos mostraram também que a parcela de ponta nas estacas parcialmente embutidas em rocha tem o valor menos expressivo, entre todos os demais. Esta é possivelmente a razão de grande parte dos métodos desprezarem a parcela de ponta.

Juvêncio (2015), baseado no método de estimativa de Osterberg e Gill (1973), destaca que em função da relação entre o comprimento embutido em rocha e o diâmetro da estaca, à medida em que a relação L/D aumenta, parte da carga aplicada é progressivamente transferida às paredes laterais (ver Figura 4, Capítulo 2). Quando o $L/D = 4$, a Figura 4 já indica parcelas de ponta muito pequenas. No caso da pesquisa, os valores de L/D são muito superiores a 4 [8,3 a 23,7]. A Figura 50 mostra que este caso específico confirma que o percentual de carga suportado por atrito lateral aumenta à medida que L/D também aumenta. A relação L/D é bastante alta, quando comparada às relações da literatura.

Figura 50 – Percentual de carga aplicada Q , suportada pelo atrito lateral, em relação à razão L/D



Fonte: A Autora (2023)

Em relação aos módulos de elasticidade da rocha retroanalizados dos ensaios estáticos para a carga máxima mobilizada no ensaio (ainda afastado da ruptura), estes foram obtidos conforme já explicitado anteriormente, diretamente pela equação (6.2), considerando a proposta da autora. Os valores assim obtidos do módulo de Young são apresentados na última coluna da Tabela 40. Os valores retro analisados se encontram na faixa de [81-245] MPa, com valor médio de 140 MPa, ou seja, cerca de 500 vezes superiores aos valores médios de atrito mobilizados nos ensaios estáticos.

6.4.2 Interpretação dos ensaios dinâmicos pelo Método de Massad

A interpretação pelo modelo de Massad (1992, 1993) das mesmas 46 estacas, Apêndice D interpretadas pelo programa DINEXP, similar ao programa CAPWAP, mas com disponibilidade do programa fonte, indicou valores de atrito unitário mobilizado na rocha mais elevados do que aqueles mobilizados em solo, Tabela 41. Enquanto o atrito unitário em solo variou na faixa de [0,08 a 1,4] MPa, com valor médio de 0,24 MPa, os valores na rocha variaram na faixa de [0,14 a 0,58], com valor médio de 0,29 MPa. Cabe destacar que os valores médios mobilizados no ensaio dinâmico foram superiores aos mobilizados nos ensaios estáticos, em cerca de 15% no trecho em solo

e 18% em rocha. Como a resistência varia com a velocidade do carregamento, estes resultados parecem compatíveis com o esperado pela autora da pesquisa.

Tabela 41 – Resultados da análise dos ensaios dinâmicos pelo método de Massad.

Setor	Q_p (kN)	$Q_{l,r}$ (kN)	$Q_{l,s}$ (kN)	AS (kN)	Q_{ult} (kN)	$\frac{Q_p}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,r}}{Q_{ult}}$	$\frac{Q_{l,s}}{Q_{ult}}$	$\frac{AS}{Q_{ult}}$	f_{ssolo} MPa	f_{srocha} MPa	E (MPa)
Oeste	152,58	1.419,19	1535,13	14,17	3122,39	5%	46%	49%	1%	0,23	0,31	99,77
Sudeste	127,28	1.554,06	1552,49	39,70	3273,53	4%	47%	47%	1%	0,42	0,24	97,20
Sudoeste	159,39	1.580,65	1491,35	20,73	3269,18	5%	49%	46%	0%	0,41	0,32	112,48
Sul	154,81	1.587,95	1602,16	18,09	3354,62	5%	47%	48%	0%	0,16	0,31	174,19

Fonte: A Autora (2023)

Observou-se que os valores médios de mobilização em rocha em todos os Setores ficaram muito próximos. Isso não aconteceu nos ensaios estáticos, onde o Setor Sul apresentou menor mobilização em rocha.

No caso dos ensaios dinâmicos, os resultados são apenas os mobilizados no ensaio, para a energia transmitida. A autora pretendia proceder a análise dos resultados dinâmicos à luz do Método de Hamilton, conforme concepção de Aoki (1989). Porém, a extensão do banco de dados não permitiu que esta análise fosse elaborada no prazo do término desta pesquisa. Por este motivo, esta análise foi sugerida para um trabalho futuro. Em termos médios, os ensaios dinâmicos, quando interpretados pelo método de Massad (1992, 1993) indicaram uma porcentagem de resistência máxima mobilizada em solo variando de [47% a 49%] com valor médio de 48%. Os ensaios dinâmicos mostram também que as parcelas de resistência mobilizada por atrito em solo nas estacas parcialmente embutidas em rocha apresentaram um valor razoável, que não deve ser desprezado por ocasião do projeto.

Em termos médios, os ensaios dinâmicos, quando interpretados pelo método Massad indicaram uma porcentagem de resistência, mobilizada no trecho em rocha variando de [46% a 49%], com valor médio de 47%.

Já para a parcela de ponta, os ensaios dinâmicos, quando interpretados pelo método de Massad (1992, 1993) indicaram uma porcentagem de resistência mobilizada no trecho de ponta em rocha variando de [4% a 5%], com média de cerca de 5%. Semelhantemente aos ensaios estáticos, os ensaios dinâmicos mostraram também que a parcela de ponta nas estacas parcialmente embutidas em rocha tem o

valor menos expressivo, entre todos os demais. Reforça-se o que já foi antes destacado, de que este fato é possivelmente a razão de grande parte dos métodos desprezarem a parcela de ponta para estimativas de projeto.

Em relação aos módulos de elasticidade da rocha retroanalizados dos ensaios dinâmicos para a carga máxima mobilizada no ensaio (ainda afastado da ruptura), estes foram obtidos pela proposta alternativa da autora pelo método do Randolph. Os valores retro analisados se encontram na faixa de [43-375] MPa, com valor médio de 120 MPa, ou seja, compatível com média, dos ensaios estáticos e cerca de 400 vezes superiores aos valores médios de atrito mobilizados nos ensaios dinâmicos em rocha, resultado também compatível com os testes estáticos.

6.4.3 Comparação entre as Interpretações dos ensaios dinâmicos: Massad, CAPWAP e DINEXP

A Tabela 42 resume os resultados médios, em termos percentuais das parcelas de carga mobilizada em cada trecho.

Tabela 42 – Resultados médios percentuais para Massad, CAPWAP e DINEXP

	Ponta em Rocha (%)	Atrito em Rocha (%)	Total em Rocha (%)	Atrito em Solo (%)
Massad	5	47	52	48
CAPWAP	20	52	72	28
DINEXP	20	45	65	35

Fonte: A Autora (2023)

Nos três métodos de interpretação da distribuição de cargas, a parcela de ponta apresentou o menor percentual, com maior concordância entre os resultados obtidos pelo ajuste de sinal por CAPWAP e pelo programa DINEXP.

Considerando a parcela total mobilizada pelo embutimento em rocha, o método de Massad se aproximou muito da solução do DINEXP. O método de Massad obtém a parcela mobilizada em rocha como uma resistência de ponta fictícia em rocha. A separação entre atrito e ponta em rocha, no método de Massad, foi obtido pela autora da presente pesquisa como se fora uma estaca rígida, considerando a proposta de Randolph (1977) e Randolph e Whroth (1978).

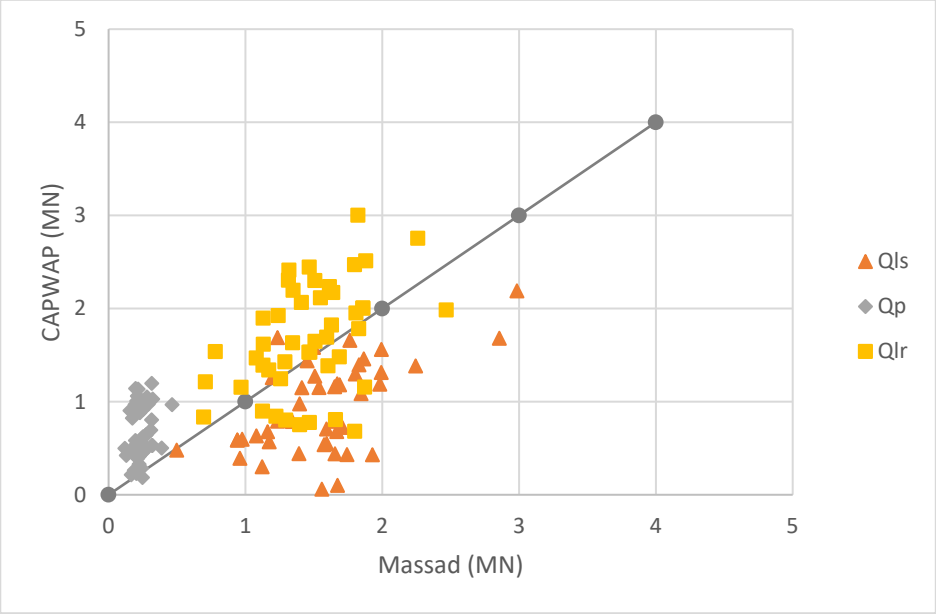
Para uma estaca rígida, como o deslocamento elástico do fuste pode ser assumido como sendo nulo, o recalque da ponta é igual ao recalque do topo, e assim, com base nas expressões de recalque do nível da ponta e do topo da solução de Randolph (1977) e Randolph e Whroth (1978), é possível se obter a transferência de carga por atrito e ponta em rocha igualando-se os valores das parcelas de recalque. Conforme demonstrado nos apêndices E e F.

Com a transferência de carga total, trecho de atrito em solo, trecho de atrito em rocha e carga transferida à ponta da estaca, calculou-se o deslocamento elástico do fuste. O deslocamento elástico do fuste, somado ao recalque da ponta, resulta no recalque do topo. Este valor foi depois comparado ao medido no topo no ensaio dinâmico, para a carga P correspondente à soma da parcela mobilizada na ponta e no atrito (solo e rocha). As diferenças foram todas muito pequenas, praticamente desprezíveis. Isso mostra que o trecho abaixo da ponta fictícia da estaca pode ser considerado rígido, o que está de acordo com a premissa adotada. Além disso, o deslocamento elástico do trecho em solo calculado acima da ponta fictícia, deve ter sido muito próximo ao valor real, já que os resultados de deslocamento total no topo convergiram. Esta verificação confirma a hipótese considerada pela autora para a separação da parcela de atrito e ponta mobilizados na rocha.

Os resultados da Tabela 42 mostram que a interpretação de Massad se aproximou muito da retroanálise de sinais pelo programa DINEXP, baseado no ajuste da velocidade estimada com a velocidade medida, obtida da instrumentação. Quando se entra com a força medida na cabeça da estaca, como dado de entrada e procedendo-se o processo iterativo, comparando-se a velocidade medida com a ajustada, até o ajuste do sinal, se obtém os valores de carga mobilizada e sua distribuição ao longo da profundidade, da mesma forma que é feita com o programa CAPWAP.

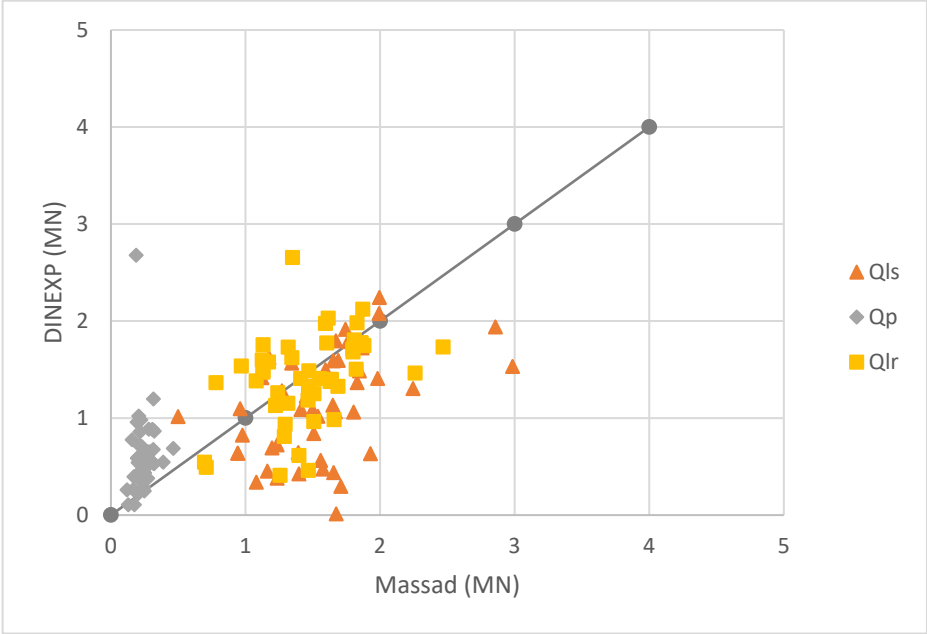
A seguir serão mostrados todos os resultados, em forma gráfica, de forma a verificar a dispersão dos resultados entre as diversas estacas, nas 3 metodologias de distribuição de resistências interpretadas nesta pesquisa.

Figura 51 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por Massad, nas abscissas, e pelo CAPWAP, nas ordenadas.



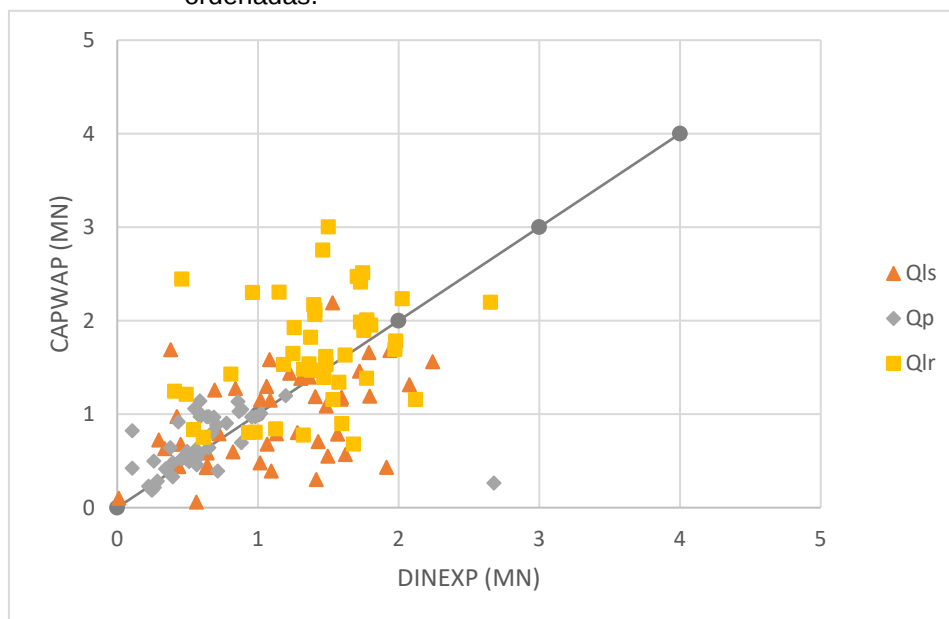
Fonte: A Autora (2023)

Figura 52 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por Massad, nas abscissas, e pelo DINEXP, nas ordenadas.



Fonte: A Autora (2023)

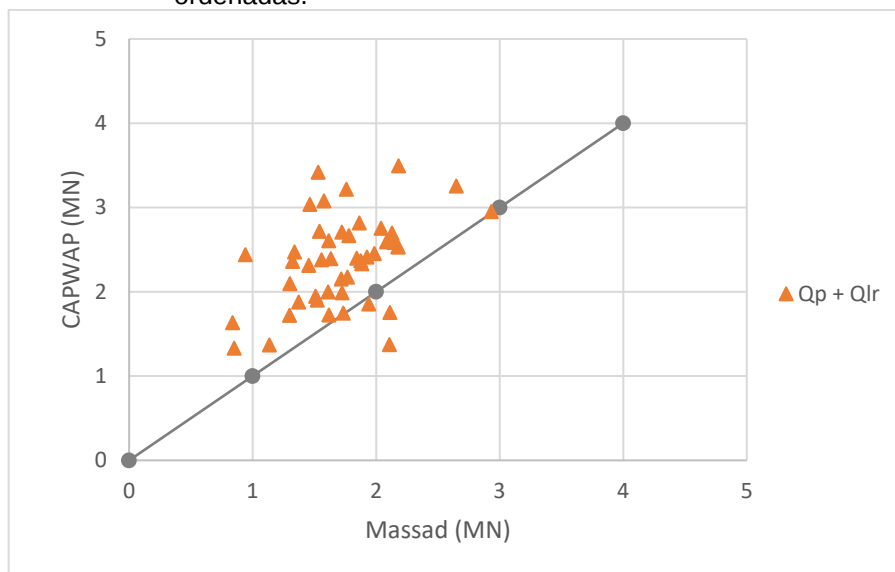
Figura 53 – Comparação gráfica para cada uma das estacas entre as parcelas de resistências mobilizadas por DINEXP, nas abcissas e CAPWAP, nas ordenadas.



Fonte: A Autora (2023)

Nas figuras 51, 52 e 53, a reta em diagonal permite observar que: a solução de Massad (1992,1993) resultou numa parcela de ponta inferior às soluções obtidas por ajuste, e estas indicaram valores similares. Em relação às parcelas de atrito em solo e em rocha, os valores de Massad (1992,1993) se aproximaram muito daqueles obtidos pelo DINEXP, com uma dispersão relativamente baixa. Cabe observar também que, embora em termos médios os resultados do ajuste pelo CAPWAP e pelo DINEXP sejam equivalentes, há diferenças pontuais que devem ser causadas por pequenas diferenças entre os programas. Infelizmente, não se tem o código fonte do CAPWAP, portanto pouco se pode avançar na interpretação destas pequenas diferenças.

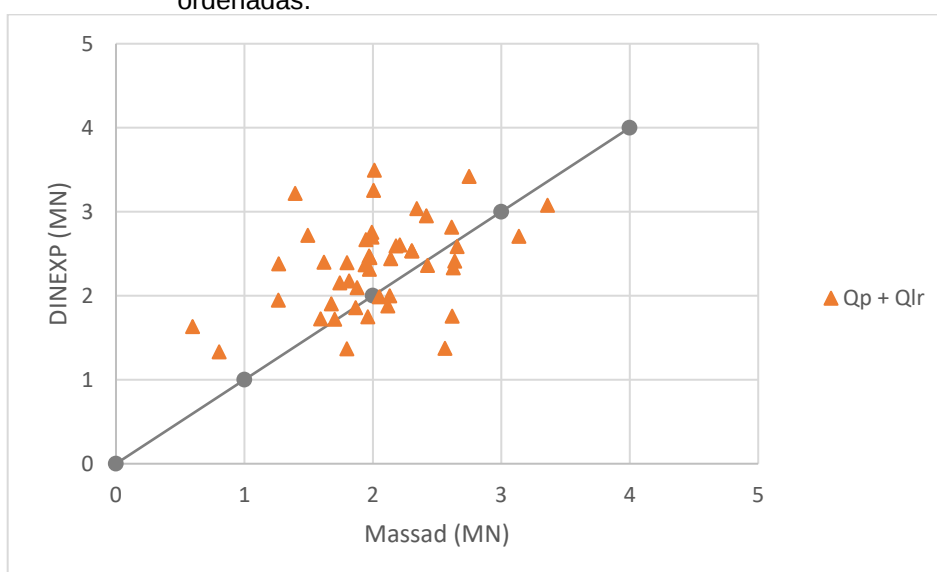
Figura 54 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por Massad, nas abcissas e CAPWAP, nas ordenadas.



Fonte: A Autora (2023)

As Figuras 55 56 ilustram que a proximidade da resistência estimada em rocha pelo programa DINEXP e pelo modelo matemático de Massad, apesar de terem formulação muito distintas, apresentam maior proximidade do que os resultados obtidos pelos programas CAPWAP e DINEXP, que apresentam a mesma formulação.

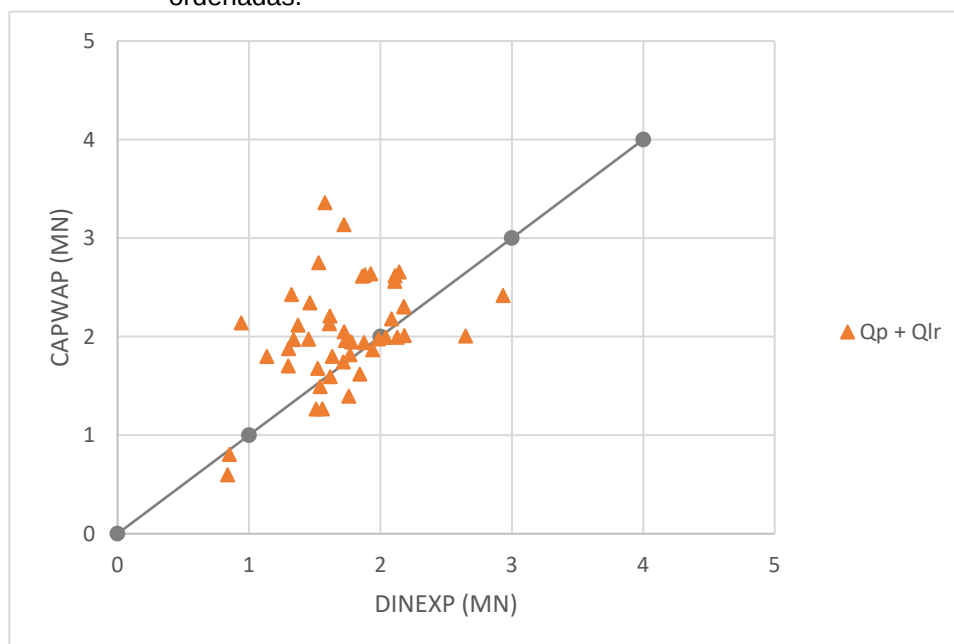
Figura 55 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por Massad, nas abcissas e DINEXP, nas ordenadas.



Fonte: A Autora (2023)

As Figuras 55 e 56 ilustram que a interpretação do modelo matemático de Massad, que determina a ponta fictícia, se aproxima da soma das parcelas de atrito e ponta em rocha pela análise do DINEXP.

Figura 56 – Comparação para cada uma das estacas entre a parcela de resistência em rocha (atrito + ponta) mobilizada por DINEXP, nas abcissas e CAPWAP, nas ordenadas.



Fonte: A Autora (2023)

7 PREVISÃO DA CAPACIDADE DAS ESTACAS RAIZ PARCIALMENTE EMBUTIDA EM ROCHA E SOLO

Neste Capítulo será apresentada a previsão da capacidade de carga da estaca raiz, parcialmente embutida em rocha, com base na aplicação de métodos empíricos e semiempíricos. Os métodos resumidos no Capítulo 2 foram aplicados para as 99 estacas testadas. Algumas limitações dos métodos são resumidas abaixo.

Para Rosenberg e Journeaux (1976) a resistência à compressão uniaxial foi limitada para $5 \leq \frac{q_u}{P_{atm}} \leq 340$ e $P_{atm} = 0.1 \text{ MPa}$. Como os resultados dos ensaios de resistências a compressão ultrapassaram essa faixa, o limite superior $q_u = 34 \text{ MPa}$ foi aplicado nas estimativas.

Para os métodos de Horvath (1978), Meigh & Wolski (1979) e Zhang & Einstein (1998), a resistência lateral está relacionada ao menor valor entre $\frac{q_u}{P_{atm}}$ e $\frac{f_{atm}}{P_{atm}}$. Uma vez que a resistência uniaxial da rocha intacta foi superior a resistência característica à compressão do concreto da estaca $q_u > f_{ck}$, foi utilizada a resistência característica do concreto.

A correlação elaborada por Rowe e Armitage (1987), foi estabelecida para com $q_u \leq 30 \text{ MPa}$, assim o limite superior de 30 MPa foi utilizado para todas as estacas.

Para o método AASHTO (1996) a resistência lateral é dada pelo menor valor entre $\frac{q_u}{P_{atm}}$ e $\frac{f_{atm}}{P_{atm}}$, mas aqui é utilizado um fator de redução baseado no RQD. Para Cabral e Antunes (2000) e Poulos e Davis (1980), foram mantidos os valores de resistência à compressão uniaxial definidos em cada Setor, para cada estaca.

O método proposto por método de España (2011) utiliza coeficientes relacionados ao tipo de rocha, grau de intemperismo do maciço rochoso e espaçamento das descontinuidades para a determinação da pressão admissível ($P_{v,adm}$).

Na aplicação de Xu (2020) foi utilizada a resistência a compressão uniaxial da rocha intacta, associada ao RQD e à influência da descontinuidade do maciço rochoso. A capacidade de carga das estacas ensaiadas foi estimada pelos métodos selecionados e comparadas com a resistência mobilizada obtida pelo programa DINEXP. A escolha do programa DINEXP decorreu dos seguintes motivos: as rotinas do programa são conhecidas, permitindo uma compreensão aprofundada das etapas

da retroanálise; a comparação feita na seção anterior mostrou resultados muito semelhantes com o CAPWAP.

A comparação entre a capacidade estimada e a capacidade mobilizada do ensaio de carregamento dinâmico foi separada para cada componente e para o valor total da capacidade de carga lateral em solo, capacidade de carga lateral em rocha, resistência de ponta em rocha e capacidade total.

A estimativa da capacidade de carga lateral no solo ($Q_{l,s}$) foi prevista pelos métodos de Aoki & Velloso (1975), Décourt & Quaresma (1978), adaptados pelos métodos de Décourt (1996) e Cabral (1986). A capacidade estimada e a capacidade mobilizada são apresentadas na Tabela 43 quanto à sua distribuição estatística na Figura 57 para cada uma das 46 estacas ensaiadas analisadas pelo programa DINEXP.

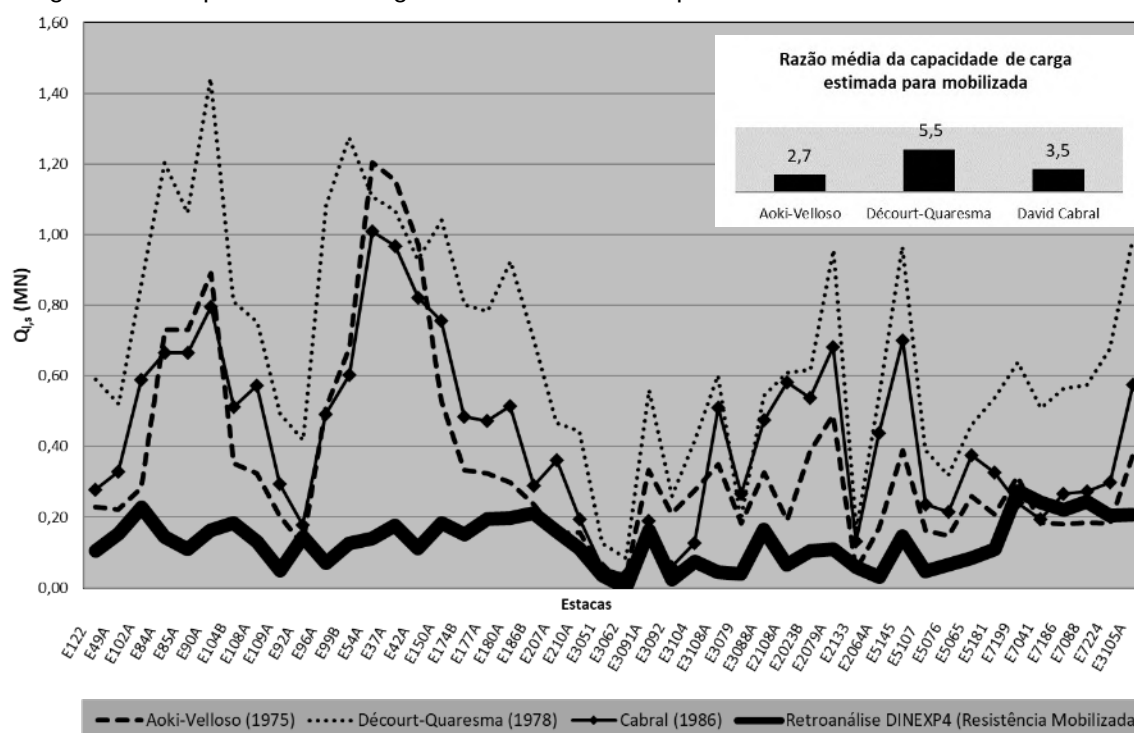
Tabela 43 – Distribuição estatística da resistência lateral mobilizada e estimada da estaca no solo

Setor	Quantidade de Estacas	Distribuição Estatística	$Q_{l,s}$			
			Resistência Estimada			Resistência Mobilizada
			Aoki-Velloso (1975)	Décourt-Quaresma (1978)	Cabral (1986)	
OESTE	10,00	Média	221,21	563,27	312,34	163,42
		DP	76,83	177,83	146,81	83,63
		CV	34,73%	31,57%	47,00%	51,18%
SUDESTE	3,00	Média	137,24	439,65	383,75	51,05
		DP	75,84	240,50	230,09	18,57
		CV	55,26%	54,70%	59,96%	36,37%
SUDOESTE	9,00	Média	236,71	419,05	254,91	83,29
		DP	129,77	288,29	213,24	74,54
		CV	54,82%	68,80%	83,66%	89,50%
SUL	24,00	Média	479,92	848,13	544,09	143,78
		DP	318,29	281,54	226,94	44,17
		CV	66,32%	33,19%	41,71%	30,72%
GERAL	46,00	Média	353,74	675,61	426,67	130,17
		DP	272,89	315,81	239,48	67,83
		CV	77,14%	46,74%	56,13%	52,11%

Fonte: A Autora (2023)

A Figura 57 também indica a razão média da capacidade de carga estimada para a mobilizada variando de 2,7 a 5,5, revelando capacidades estimadas no solo muito superiores às mobilizadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Juvêncio et al. (2017).

Figura 57 – Capacidade de carga lateral estimada e capacidade lateral mobilizada no solo.



Fonte: A Autora (2023)

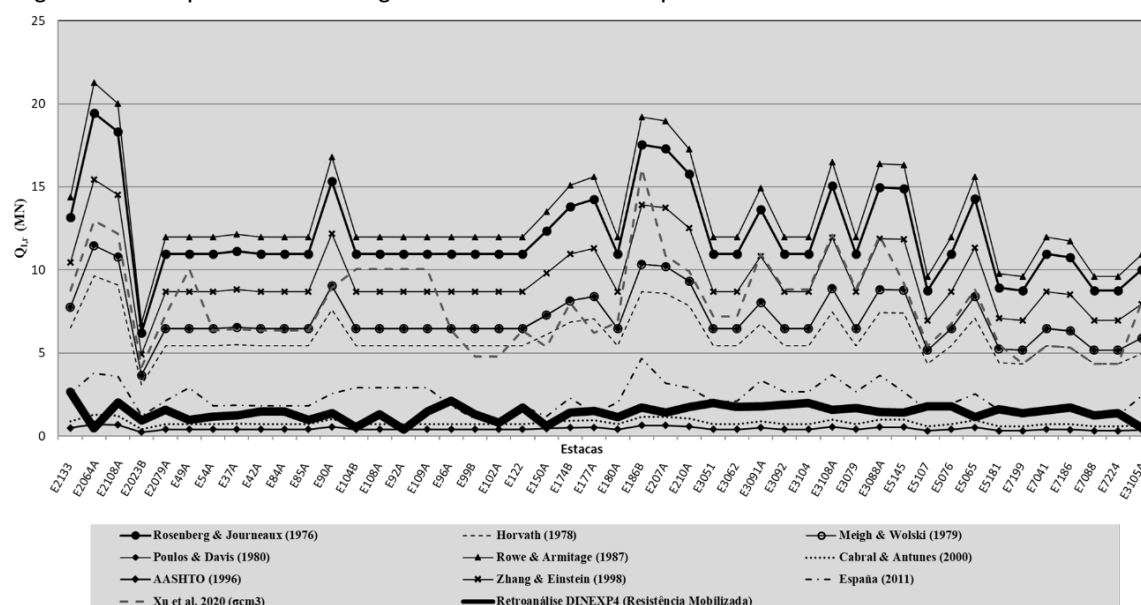
A estimativa da capacidade de carga lateral na rocha ($Q_{l,r}$) foi prevista por Rosemberg & Journeaux (1976), Horvath (1978), Meigh & Wolski (1979), Poulos & Davis (1980), Rowe & Armitage (1987), Cabral & Antunes (2000), AASHTO (1996), Zhang & Einstein (1998), España (2011) e Xu et al. (2020). A estimativa e a capacidade mobilizada são apresentadas na Tabela 40 em termos de sua distribuição estatística e na Figura 58 são indicados os valores para cada uma das 46 estacas ensaiadas analisadas pelo programa DINEXP.

Tabela 44 – Distribuição estatística da resistência lateral mobilizada e estimada da estaca na rocha.

Q _{l,r} (kN)													
Setor	Quant. Estacas	Distribuição Estatística	Resistência Estimada										Resistência Mobilizada
			Rosenberg & Journeaux (1976)	Horvath (1978)	Meigh & Wolski (1979)	Poulos & Davis (1980)	Rowe & Armitage (1987)	AASHTO (1996)	Zhang & Einstein (1998)	Cabral & Antunes (2000)	España (2011)	Xu et al. (2020)	
Oeste	10	Média	10.585,96	5.254,28	6.238,77	6.250,44	11.583,29	387,52	8.406,86	702,35	1.697,89	5.955,21	1.497,04
		DP	2.322,65	1.152,84	1.368,84	1.371,40	2.541,48	85,03	1.844,54	154,10	523,67	1.773,77	225,22
		CV	21,94%	21,94%	21,94%	21,94%	21,94%	21,94%	21,94%	21,94%	30,84%	29,79%	15,04%
Sudeste	3	Média	16.970,86	8.423,40	10.001,68	10.020,37	18.569,72	621,26	13.477,44	1.125,97	3.309,38	11.303,59	1.713,51
		DP	3.352,84	1.664,17	1.975,98	1.979,67	3.668,72	122,74	2.662,66	222,45	653,82	2.233,19	1.130,21
		CV	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	19,76%	65,96%
Sudoeste	9	Média	12.054,52	5.983,20	7.104,27	7.117,54	13.190,21	441,28	9.573,12	799,79	2.815,42	9.337,19	1.625,98
		DP	1.945,41	965,59	1.146,52	1.148,66	2.128,69	71,22	1.544,95	129,07	606,84	1.920,71	458,86
		CV	16,14%	16,14%	16,14%	16,14%	16,14%	16,14%	16,14%	16,14%	21,55%	20,57%	28,22%
Sul	24	Média	12.007,32	5.959,77	7.076,45	7.089,67	13.138,56	439,55	9.535,63	796,66	2.210,34	7.841,30	1.270,23
		DP	2.498,18	1.239,96	1.472,29	1.475,04	2.733,54	91,45	1.983,93	165,75	845,19	2.677,02	412,37
		CV	20,81%	20,81%	20,81%	20,81%	20,81%	20,81%	20,81%	20,81%	38,24%	34,14%	32,46%
Geral	46,00	Média	12.031,27	5.971,66	7.090,56	7.103,82	13.164,77	440,43	9.554,66	798,24	2.289,00	7.949,76	1.418,05
		DP	2.744,53	1.362,23	1.617,47	1.620,50	3.003,10	100,47	2.179,57	182,09	842,73	2.682,31	467,73
		CV	22,81%	22,81%	22,81%	22,81%	22,81%	22,81%	22,81%	22,81%	36,82%	33,74%	32,98%

Fonte: A Autora (2023)

Figura 58 – Capacidade de carga lateral estimada e capacidade lateral mobilizada na rocha.



Fonte: A Autora (2023)

Resultados semelhantes foram encontrados por Juvêncio et al. (2017) que justificaram que os valores de ruptura da capacidade da estaca não foram alcançados nos ensaios dinâmicos devido principalmente à limitada energia utilizada. Outro motivo que contribuiu para os baixos valores mobilizados em relação aos valores previstos de ruptura, segundo Juvêncio et al. (2017), é que os métodos de dimensionamento foram concebidos para rochas sedimentares, com valores de ruptura muito facilmente alcançados em ensaios de carregamento.

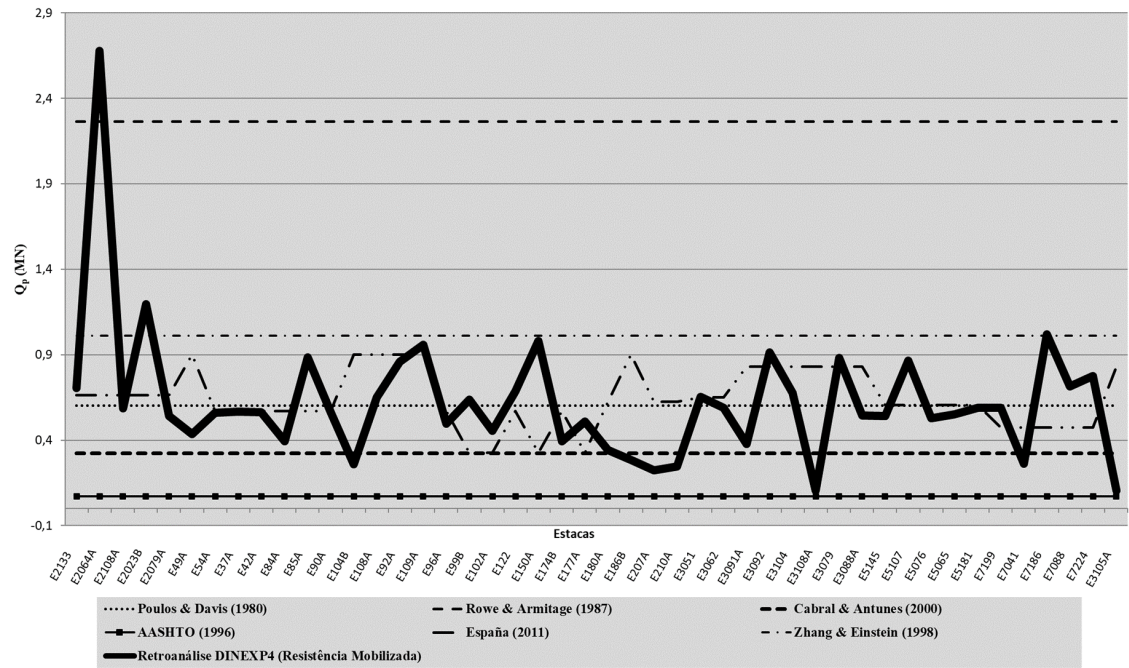
A capacidade de ponta em rocha ($Q_{p,r}$) foi prevista por Poulos & Davis (1980), Rowe & Armitage (1984), Cabral & Antunes (2000), AASHTO (1996) e Espanha (2011). As capacidades estimadas e mobilizadas são apresentadas na Tabela 45 em termos de sua distribuição estatística e na Figura 59 são indicadas para cada estaca ensaiada analisada pelo programa DINEXP.

Tabela 45 – Distribuição estatística da resistência de ponta mobilizada e estimada da estaca na rocha.

$Q_{p,r}$ (kN)									
Setor	Quant. Estacas	Distribuição							Carga Mobilizada
		Estatística	Poulos & Davis (1980)	Rowe & Armitage (1987)	AASHTO (1996)	Zhang & Einstein (1998)	Cabral & Antunes (2000)	España (2011)	
Oeste	10	Média	603,51	2.263,16	72,52	1.012,11	322,12	539,00	643,77
		DP	0,00	0,00	0,00	-	0,00	69,32	209,81
		CV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	12,86%	32,59%
Sudeste	3	Média	603,51	2.263,16	72,52	1.012,11	322,12	662,73	1.323,18
		DP	-	-	-	0,00	-	-	1.174,17
		CV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	88,74%
Sudoeste	9	Média	603,51	2.263,16	72,52	1.012,11	322,12	790,14	538,42
		DP	0,00	-	-	0,00	0,00	79,20	294,02
		CV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	10,02%	54,61%
Sul	24	Média	603,51	2.263,16	72,52	1.012,11	322,12	626,38	570,54
		DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	192,14	253,34
		CV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	30,67%	44,40%
Geral	46,00	Média	603,51	2.263,16	72,52	1.012,11	322,12	641,79	629,26
		DP	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	166,89	392,29
		CV	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	26,00%	62,34%

Fonte: A Autora (2023)

Figura 59 – Carga de carga na ponta estimada e mobilizada na rocha



Fonte: A Autora (2023)

A estimativa da capacidade total (Q_{ult}) e da capacidade mobilizada são apresentadas na Tabela 46, em termos de distribuição estatística, e na Figura 59 para as 46 estacas ensaiadas analisadas pelo programa DINEXP. Foram considerados os mesmos métodos preditivos descritos anteriormente. As estimativas consideraram apenas a resistência lateral em rocha, ($Q_{l,r}$) e a resistência de ponta em rocha, ($Q_{p,r}$). A análise abrangeu Rosemberg & Journeaux (1976), Horvath (1978), Meigh & Wolski (1979), Poulos & Davis (1980), Cabral e Antunes (2000), Rowe & Armitage (1987), AASHTO (1996), Zhang & Einstein (1998), España (2011) e Xu et al. (2020). Os resultados dos testes de carregamento incluíram toda a capacidade mobilizada, incluindo a resistência lateral no solo ($Q_{l,s}$).

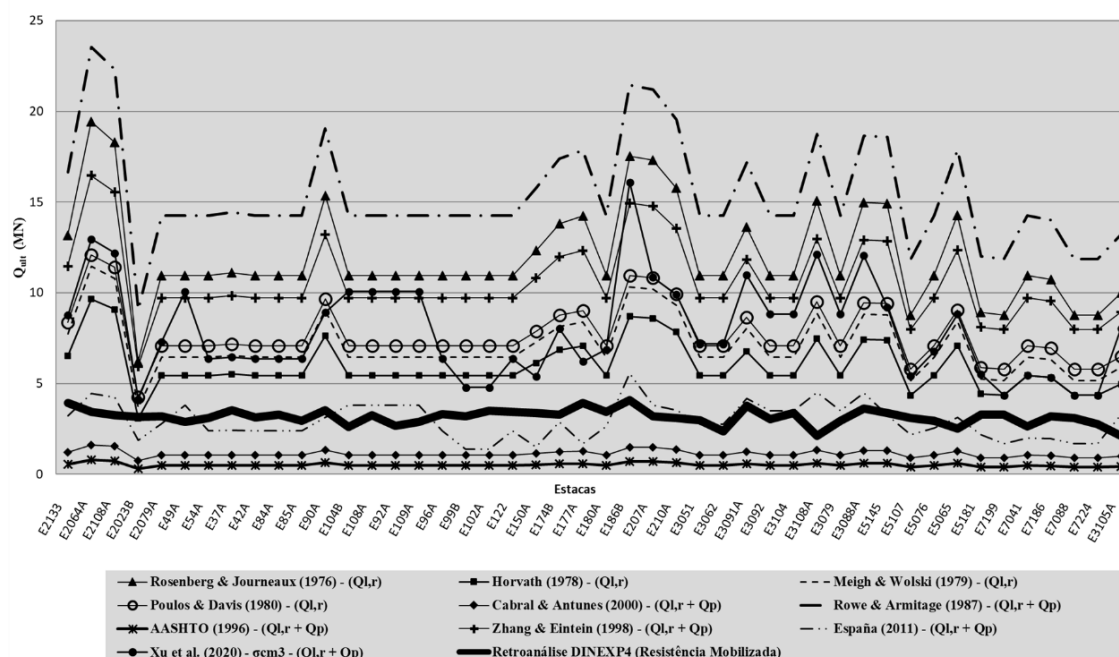
Quatro dos dez métodos aplicados no presente caso não consideram a contribuição da resistência de ponta: Rosenberg & Journeaux (1976), Hovarth (1978), Meigh & Wolski (1979) e Xu et al. (2020). Mesmo com essa premissa conservadora, a aplicação de todos esses métodos de projeto estimou uma capacidade muito maior do que a resistência mobilizada obtida nos ensaios.

Tabela 46 – Distribuição estatística da capacidade de carga total mobilizada e estimada da estaca.

Q _{ult} (kN)													
Setor	Quant. Estacas	Distribuição		Resistência Estimada									Resistência Mobilizada
		Estatística	Rosenberg & Journeaux (1976)	Horvath (1978)	Meigh & Wolski (1979)	Poulos & Davis (1980)	Rowe & Armitage (1987)	AASHTO (1996)	Zhang & Einsten (1998)	Cabral & Antunes (2000)	España (2011)	Xu et al. (2020)	
Oeste	10	Média	10.585,96	5.254,28	6.238,77	6.853,94	13.846,44	460,04	9.418,97	1.024,47	2.236,89	5.955,21	3.016,17
		DP	2.322,65	1.152,84	1.368,84	1.371,40	2.541,48	85,03	1.844,54	154,10	575,96	1.773,77	294,06
		CV	21,94%	21,94%	21,94%	20,01%	18,35%	18,48%	19,58%	15,04%	25,75%	29,79%	9,75%
Sudeste	3	Média	16.970,86	8.423,40	10.001,68	10.623,88	20.832,88	693,77	14.489,55	1.448,10	3.972,11	11.303,59	3.537,28
		DP	3.352,84	1.664,17	1.975,98	1.979,67	3.668,72	122,74	2.662,66	222,45	653,82	2.233,19	345,12
		CV	19,76%	19,76%	19,76%	18,63%	17,61%	17,69%	18,38%	15,36%	16,46%	19,76%	9,76%
Sudoeste	9	Média	12.054,52	5.983,20	7.104,27	7.721,05	15.453,36	513,80	10.585,23	1.121,91	3.605,56	9.337,19	2.926,66
		DP	1.945,41	965,59	1.146,52	1.148,66	2.128,69	71,22	1.544,95	129,07	662,52	1.920,71	616,09
		CV	16,14%	16,14%	16,14%	14,88%	13,77%	13,86%	14,60%	11,50%	18,37%	20,57%	21,05%
Sul	24	Média	12.007,32	5.959,77	7.076,45	7.693,18	15.401,71	512,07	10.547,75	1.118,78	2.836,72	7.841,30	3.250,76
		DP	2.498,18	1.239,96	1.472,29	1.475,04	2.733,54	91,45	1.983,93	165,75	1.004,96	2.677,02	337,14
		CV	20,81%	20,81%	20,81%	19,17%	17,75%	17,86%	18,81%	14,82%	35,43%	34,14%	10,37%
Geral	46,00	Média	12.031,27	5.971,66	7.090,56	7.707,32	15.427,92	512,95	10.566,77	1.120,37	2.930,79	7.949,76	3.155,03
		DP	2.744,53	1.362,23	1.617,47	1.620,50	3.003,10	100,47	2.179,57	182,09	977,06	2.682,31	421,31
		CV	22,81%	22,81%	22,81%	21,03%	19,47%	19,59%	20,63%	16,25%	33,34%	33,74%	13,35%

Fonte: A Autora (2023)

Figura 60 – Capacidade de carga total estimada e mobilizada.



Fonte: A Autora (2023)

A Figura 60 revela grandes variações encontradas. Vê-se claramente que os métodos de Rosenberg & Journeaux (1976), Rowe & Armitage (1987) e Zhang & Einstein (1998) apresentaram estimativas de capacidade de carga total muito altas em comparação com os outros métodos. A aplicação dos métodos de Espanha (2011), Cabral e Antunes (2000) e AASHTO (1996) resultam em estimativas com maior concordância com a carga mobilizada nos ensaios.

7.1 VERIFICAÇÃO DA TENSÃO CISALHANTE ATRAVÉS DAS ANÁLISES REALIZADAS

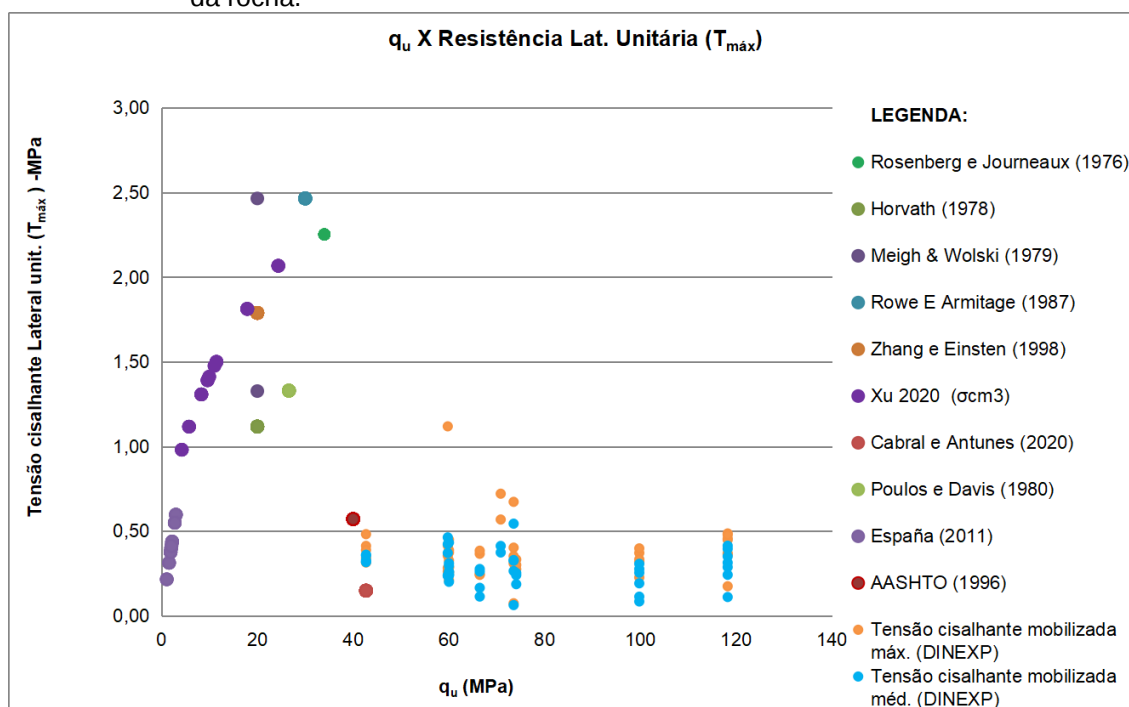
Uma vez que a maior parte dos ensaios de carregamento dinâmico não leva a estaca à ruptura, a resistência mobilizada é apenas uma parte da disponível na ruptura. Os ensaios de avaliação do desempenho são atendidos quando se chega a uma carga máxima de duas vezes a carga de trabalho, sem que o projetista conheça a carga disponível à ruptura. Nestas situações, para os comprimentos executados das estacas, as tensões cisalhantes resistentes são inferiores àquelas máximas disponíveis.

No Apêndice C são apresentados os gráficos das resistências mobilizadas ao longo da profundidade das 99 estacas analisadas neste trabalho, a fim de verificar as

tensões unitárias máximas mobilizadas, comparando com os valores médios, conforme exemplo apresentado no apêndice B, numa tentativa de interpretação capaz de sugerir alguma tendência de comportamento típico. Na Figura 61 se observa, no eixo das abcissas, a resistência à compressão uniaxial da rocha e, no eixo das ordenadas, a tensão cisalhante na ruptura de cada método de cálculo e os valores máximos e médios correspondentes à interpretação do programa DINEXP.

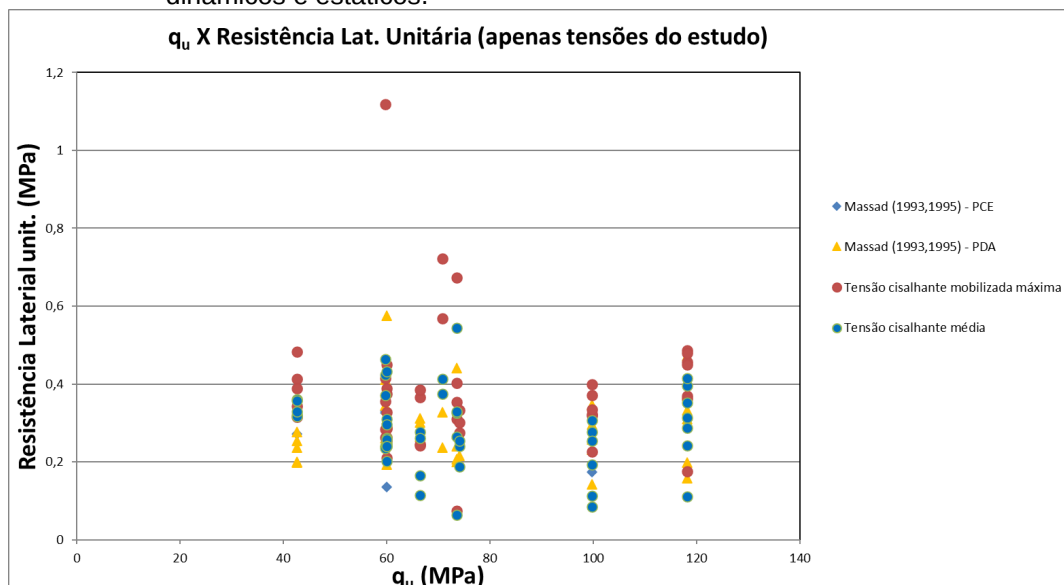
Na Figura 61 são introduzidos os valores mobilizados nos ensaios dinâmicos, interpretados pelo DINEXP e Massad (1992,1993), bem como os resultados dos ensaios estáticos interpretados por Massad (1992,1993).

Figura 61 – Tensão cisalhante estimada pelos métodos de cálculo e os valores máximos e médios mobilizados pela interpretação do DINEXP em função da resistência à compressão da rocha.



Fonte: A Autora (2023)

Figura 62 – Resistência mobilizada por atrito em rocha interpretada pelo programa DINEXP (valores máximos e médios) e pelo modelo de Massad (1992, 1993) nos ensaios dinâmicos e estáticos.



Fonte: A Autora (2023)

Pode-se observar que os resultados mobilizados, médios e máximos, interpretados pelo Dinexp, foram muito inferiores aos valores previstos pelos métodos da literatura, que correspondem a valores últimos, de ruptura na Figura 61.

Na Figura 62, em escala vertical ampliada, se observa que os valores de resistência unitária máxima e média obtidos pelo programa DINEXP, apesar de terem sido obtidos em menores trechos, estão compatíveis com os resultados interpretados pelo modelo de Massad (1992,1993) que considera o atrito médio em todo o trecho embutido em rocha.

Estes gráficos mostram também que não houve uma tendência de variação das resistências mobilizadas nos ensaios em função da resistência à compressão uniaxial da rocha, o que era a expectativa da autora. Por este motivo, não foi realizado nenhuma tentativa de correlação.

8 CONCLUSÕES

A pesquisa apresenta a classificação geológica geotécnica do maciço rochoso que ocorre no empreendimento realizado na cidade de São Lourenço da Mata, região metropolitana de Recife, na expectativa de melhor interpretar os 99 ensaios dinâmicos e 5 ensaios estáticos de estacas do tipo raiz parcialmente embutidas em rocha.

A rocha consiste em depósitos muito antigos, formados principalmente por granitos de diferentes composições, gnaisses e xistos. Os depósitos se encontram intensamente deformados por vários processos tectônicos superpostos.

A classificação dos maciços rochosos foi realizada através da aplicação do sistema RMR. Verificou-se que a qualidade dos maciços rochosos da obra está situada na classe III (regular), com peso variando entre $41 \leq \text{RMR} \leq 49$.

A estimativa do ângulo de atrito da matriz rochosa, bem como da coesão para os Setores da classe III, é de $25^\circ - 35^\circ$ e de 200 kPa - 300 kPa, respectivamente.

Através das correlações propostas por Bieniawski (1979) e Serafim & Pereira (1983), foram obtidos valores para o módulo de elasticidade de cada Setor. Os resultados encontrados para os maciços rochosos da classe III estão compreendidos entre $5,95 \text{ GPa} \leq E \leq 9,44 \text{ GPa}$.

A análise CAPWAP aplicada a 99 estacas produziu resultados semelhantes ao programa equivalente DINEXP aplicado a 46 das 99 estacas ensaiadas, apresentando uma boa acurácia, com distribuição de resistência semelhante na ponta, resistência lateral no solo e resistência lateral na rocha.

A resistência mobilizada pela penetração da estaca no solo atingiu 35% da resistência mobilizada total. No entanto, muitos métodos de projeto não consideram esse componente em suas estimativas.

Apesar de incluir uma caracterização mais completa do maciço rochoso, España (2011) e Xu et al. (2020) os métodos de projeto não atingiram uma capacidade preditiva mais próxima da mobilizada nos testes. Já España (2011) apresentou resultados que podem ser considerados em uma análise em que a caracterização da rocha é bem realizada. Os outros métodos, incluindo uma caracterização de rocha muito mais simples, como Cabral & Antunes (2000) e AASHTO (1996), resultaram em uma estimativa mais próxima da resistência mobilizada para a capacidade lateral na rocha.

Os métodos de dimensionamento de capacidade resistente de natureza empírica indicaram resultados contra a segurança para as estacas parcialmente embutidas em rochas neste estudo de caso. Os métodos de Rosenberg & Journeaux (1976), Rowe & Armitage (1987) e Zhang & Eisten (1998) não devem ser aplicados em situações semelhantes à apresentada.

Uma sugestão alternativa para propostas de projeto para estacas em condições semelhantes às analisadas no trabalho é uma composição envolvendo o método de Aoki & Velloso (1975) em solo e España (2011), Cabral & Antunes (2000) ou AASHTO (1996) para o trecho embutido em rocha.

Cinco provas de carga realizadas indicaram valores de capacidade de carga convencional (extrapolada) superiores aos valores máximos mobilizados nos ensaios dinâmicos. Uma vez que os ensaios estáticos do tipo QML, quick maintained tests, carga incremental rápida, atingiram maiores valores de carga aplicada, estes ensaios foram selecionados para a interpretação nesta pesquisa. A única estaca contemplada com os ensaios estático e dinâmico, a E122, mostrou uma carga de ruptura extrapolada pelo ensaio QML 1,13 vezes superior à do ensaio SML, slow maintained load, carga incremental lenta. Considerando também as demais estacas testadas estaticamente, valores da ordem de 1,2 a 1,8 foram encontrados a mais, na carga de ruptura extrapolada de ensaios rápidos, em relação à ruptura extrapolada de ensaios lentos. Estes resultados mostram a possibilidade de muito espaço para a otimização de projetos de estacas parcialmente embutidas em rocha.

A aplicação da metodologia de Massad (1992, 1993) aos resultados dos ensaios, tanto estáticos como uma boa parte dos dinâmicos, indicou o grande potencial do modelo matemático de Massad na separação das parcelas de resistência mobilizada por atrito no solo, pela resistência por atrito na rocha e pela resistência de ponta na rocha. O modelo permite também a obtenção da parcela de ponta presa à estaca pela ação das cargas residuais que surgem por ocasião do descarregamento. Em se tratando de estacas concretadas in-situ, não foram realizadas análises para isolar a parcela das cargas residuais, o que foge ao escopo já bastante extenso da presente pesquisa. Este é um dos temas propostos para trabalhos futuros. Os ensaios estáticos com dois carregamentos sucessivos, embora com velocidades de carregamento diferentes, possibilitam um olhar mais profundo neste tema. Além disso, os ensaios de carregamento dinâmico possibilitam a análise da curva de

descarregamento, o que pode nortear este tipo de análise proposta nas sugestões de pesquisas futuras.

Embora as análises obtidas pelo CAPWAP, pelo DINEXP e pelo modelo de Massad indiquem valores relativamente próximos entre si, os resultados do modelo matemático de Massad apresentou resultados mais próximos da distribuição de resistências obtidas dos ajustes de sinais realizados pelo DINEXP. A grande vantagem do programa DINEXP é o fato de se ter conhecimento do programa fonte, com todas as rotinas detalhadas em pesquisas anteriores. Já o programa CAPWAP só se tem a versão executável e esta foi a razão da autora ter utilizado ambos os programas.

Quanto à variabilidade das soluções do CAPWAP, DINEXP e Massad, observou-se uma menor dispersão entre as estacas na análise interpretada pelo modelo de Massad, seguida da análise do DINEXP e, por fim, da análise do CAPWAP.

Uma vez que a carga máxima aplicada nos ensaios não atingiu à ruptura, realizou-se a retro análise dos valores de módulo de elasticidade da rocha no trecho de embutimento das estacas. Observou-se que os valores de módulo de elasticidade retro analisados situaram-se na faixa de [81 a 245] MPa, para os ensaios estáticos e [43 a 375] MPa para os ensaios dinâmicos, enquanto os valores encontrados na classificação de maciços da classe III, que foi a classe caracterizada nesta pesquisa, é da ordem de [5950 a 9440] MPa. Sabe-se que o módulo de elasticidade, ou módulo de Young, varia com o nível de deformação do maciço. Valores maiores são obtidos para pequenos níveis de deformação e carregamentos mais rápidos. Os valores retro analisados na presente pesquisa foram muito inferiores àqueles esperados na classificação do maciço. Este também é um campo em aberto, para pesquisas futuras.

A continuidade de interpretação de ensaios de bancos de dados de provas de carga estáticas e dinâmicas, bem como a reunião de dados de diferentes tipos de estacas, é uma linha de pesquisa que possibilita um melhor conhecimento dos resultados decorrentes de diferentes tipos de execução, dos valores esperados, de sua variabilidade e, portanto, de sua confiabilidade. Pesquisas desta natureza poderão ser muito úteis às atualizações das normas futuras.

8.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Face ao extenso banco de dados, muitas análises não chegaram a ser procedidas pela autora desta pesquisa e são propostas para temas futuros.

- Analisar o banco de dados dos 99 ensaios dinâmicos à luz dos conceitos de energia, concebido por Aoki (1989) e comparar os resultados com as análises procedidas pelo modelo de Massad (1992, 1993).
- Analisar as diferenças de comportamento das provas de carga estáticas do primeiro carregamento, com velocidade de carregamento mais lenta, com a curva do segundo carregamento, procedido com maiores velocidades de deformação, que por terem alcançado cargas mais elevadas foram escolhidas para análise nesta pesquisa.
- Analisar os trechos de descarregamento dos ensaios, tanto os estáticos como os dinâmicos, para a obtenção das cargas residuais.
- No caso da estaca E122, submetida inicialmente ao ensaio estático e, posteriormente ao ensaio dinâmico, é possível que o ensaio dinâmico esteja incorporando cargas residuais que poderiam ter sido isoladas, quando da análise do descarregamento do ensaio estático. Este aspecto pode ser melhor investigado em análises futuras.
- Comparar a transferência de carga obtida a partir das parcelas de resistências mobilizadas com base no modelo de Massad e estimar os recalques elásticos do fuste, na tentativa de obter os recalques estimados para a ponta da estaca, partindo do recalque medido no topo. Comparar com o recalque na ponta da estaca obtido na análise CAPWAP.
- Com base nos registros dos ensaios dinâmicos e no tempo observado para a reflexão da onda na ponta, bem como no registro do comprimento da estaca, obter a velocidade de transmissão da onda nas 99 estacas ensaiadas. Com esta velocidade, e fixando um mesmo valor para a massa específica do concreto, retroanalisar o módulo de Young do material da estaca e sua faixa de variação, o que pode possivelmente alterar, embora com pouca intensidade, as análises do modelo de Massad.
- Uma vez que os ensaios dinâmicos são muito mais numerosos do que os estáticos, analisar este banco de dados com base num método probabilístico para a estimativa da capacidade de carga a posteriori. Considerando aqueles modelos de previsão com melhor confiabilidade obtido nesta pesquisa, como uma função a priori, e os ensaios dinâmicos como função de verossimilhança, obter uma estimativa atualizada (a

posteriori) da capacidade de carga das estacas embutidas em rocha e compará-la aos ensaios estáticos. Esta comparação pode ser feita também com base nas parcelas de carga de atrito em solo, de atrito em rocha, de parcela de ponta e comparação da estimativa atualizada com os valores obtidos do modelo de Massad.

REFERÊNCIAS

AASHTO. "LRFD Bridge Design Specifications", **American Association of State Highway and Transportation Officials**. Section 10, Washington, D.C..2008.

AASHTO. "LRFD Bridge Design Specifications". **American Association of State Highway and Transportation Officials**., Interim, Foundations, Section10, Washington, D.C. 2006.

AASHTO. **Standard Specifications for HighwayBridges**. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. 1996.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. **Geologia de Engenharia** - Caracterização e Classificação dos Maciços Rochosos, São Paulo. 2011.

ALVES, A. M.L. **A Influência da Viscosidade do Solo e do Tempo após a Cravação na Interação Dinâmica Estaca-Solo em Argilas**, Tese (Doutorado) UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. 2004.

AOKI, N. **Considerações sobre a capacidade de carga de estacas isoladas**. Notas de aula. Universidade Gama Filho. Rio de Janeiro, 1976.

AOKI, N., & VELLOSO, D.A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. In: **Proceedings of the 5th Pan**. Conference on Soil Mechanics and Foundations: Vol. 5 (pp. 367-374). Buenos Aires. 1975.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13208** – Estacas – Ensaio de carregamento dinâmico. Rio de Janeiro 2007.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118** - Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6122** - Design and execution of foundations. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ (in Portuguese). 2019.

ASTM - American Society for Testing and Materials. "**Standard Practices for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances**". ASTM standard D4543., West Conshohocken, Pa. v. 04.08, p.5. 2001.

BAGUELIN, F., ET AL., "La Capacité Portante des Pieux," **Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics**, Supplement330, Serie SF/116, July-Aug., 1975.

BARTON, N., "The influence of joint properties in modelling jointed rock masses". In: **8th ISRM Congress**, v. 3, pp. 1023-1032, Tokyo, Japan, Sep. 1995.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics**, Wien, 6, (4) : 189 – 236, 1974.

BIENIAWSKI, Z. T.; ORR C. M. **Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification**. Proc. 12 th Int. Cong. On Large Dams. I COLD, México Q 46, R 32 pp. 483 – 501, 1976.

BIENIAWSKI, Z. T. **Rock mass classification in rock engineering**. Pro. Of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, Nov. p. 97 – 106, 1976.

BIENIAWSKI, Z.T. Determining rock mass deformability - experiences from case histories. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**, Vol.15, No. 5, p.237-247. 1978.

BIENIAWSKI, Z. T. **Design Methodology in Rock Engineering**. Balkema. 1992.

BIENIAWSKI, Z. T. **Tunnel design rock mass classifications**. Pennsylvania State University, Department of Mineral Engineering, University Park Technical report G1 – 79 – 19. 1979.

BIENIAWSKI, Z. T., ORR C. M. (1976). **Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification**. Proc. 12 th Int. Cong. On Large Dams. I COLD, México Q 46, R 32 pp. 483 – 501. 1976.

BIENIAWSKI, Z. T., The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice. KIRKALDIE, L. **Rock classification systems for engineering purposes**, Philadelphia. ASTM STP 984. P. 17-34. 1988.

BIENIAWSKI, Z.T. **Engineering Rock Mass Classifications**. New York, USA: John Wiley & Sons, 1989. 251 p.

BRIAUD, J. L.; Tucker, L. Piles in Sand: a Method including Residual Stresses. **Journal ASCE**, Vol.110, No 11, pp.1666-1680, 1984.

BRIAUD, J. L.; Tucker, L.; NG, E. **Axially loaded 5 pile group and single pile in sand**. 12nd Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. General Report, Rio de Janeiro, 1989.

BRITO, J. L. W. **Fundações do edifício**. São Paulo, EPUSP, 1987.

CABRAL, D. A. O uso da estaca raiz como fundação de obras normais. In: **Congresso Brasileiro de Mecânica dos solos e engenharia de fundações**. 8. 1986, Porto Alegre. Anais: ABMS, 1986. v. 6, p. 71-82.

CABRAL, D. A., E ANTUNES, W. R. **Sugestão para determinação da capacidade de carga de estacas escavadas embutidas em rocha**, Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia – SEFE, 4. São Paulo. 2000.

CARTER, J., & KULHAWY, F. **Analysis and design of drilled shaft foundations socketed into rock**. Report EL-5918. Palo Alto: Electric Power Research Institute. 1988.

CHIN, F. K. Discussion of pile test. Arkansas River Preoject. **Journal for soil mechanics and foundation engineering**, ASCE, vol. 97, SM 6, pp.930-932. 1971.

CHIN, F. K. **Discussion**: Pile testes. Arkansas River Project, JSMFD, ASCE, v. 97, n. SM7, Pag. 930-932, 1970.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações Por Estacas**: Projeto Geotécnico. 1. ed. Oficina de Textos Ltda. São Paulo. 2010.

CINTRA, J.C.A., AOKI, N., TSUHA, C.H.C., GIACHETI, H.L., **Fundações** –Ensaio estáticos e dinâmicos. 1 ed. São Paulo, Oficina de textos. 2013.

DANZIGER, B. R.; COSTA, A. M. ; LOPES, F. R. ; PACHECO, M. P. **A discussion on the uniqueness of Capwap analysis**. V International Conference on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Orlando. Proceedings, v. 1. p. 394-408, 1996.

COOKE, R. W. **Influence of residual installation forces on the stress transfer and settlement under working loads of jacked and bored piles in cohesive soils**. ASTM SYMPOSIUM ON BEHAVIOUR OF DEEP FOUNDATION, BOSTON, 1979.

COOKE, R. W., "The Settlement of Friction Pile Foundations," Proceedings, Conference on Tall Buildings, Kuala Lumpur, Malaysia, 1974.

COSTA, L. M.; DANZIGER, B. R.; LOPES, F. R. Prediction of residual driving stresses in piles. **Canadian Geotech. Journal**, No. 38, pp. 410-421, 2001.

COSTA, A.M. - **DINEXP Programa desenvolvido no CENPES/ Petrobras**. 1988

COSTA, A.M. - **DINEXP Program developed**. CENPES/ Petrobras. 1988

COSTA, C.A., 2005, **Estudos numéricos de estacas em rochas Brandas**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2005.

COUTINHO, R. Q.; LIMA, E. S.; COSTA, F DE Q.; SOUZA NETO J. B.; CARVALHO, H. A. **Estudo geológico-geotécnico do solo residual/rocha biotita gnaiss do escorregamento do espinhaço da gata**, PE - 089, Pernambuco. 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ; setembro. p. 177 – 202,1996.

DANZIGER, B. R. **A Influência das Cargas Residuais no Comportamento das Fundações**. Palestra Pacheco Silva, a ser publicada na S&R, 2023.

DANZIGER, B.R. **Dynamic Analysis of Driven Piles** [Unpublished doctoral dissertation]. Coppe/UFRJ. 1991.

DANZIGER, B.R., **Análise Dinâmica da Cravação de Estacas**. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 1991.

DANZIGER, B.R., COSTA, A.M., LOPES, F.R., & PACHECO, M.P. A discussion on the uniqueness of CAPWAPtype analyses. In: **Proceedings of the 5th International Congress on the Application of Stress-Wave Theory to Piles**: Vol. 1 (pp. 394-408). Miami. 1996.

DARRAG, A. A.; LOVELL, C. W. **A simplified procedure for predicting residual stresses for piles**. 12nd Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., pp.1127-1130. Rio de Janeiro, 1989.

DAVISSON, M.T. **High capacity piles** (Proceedings, Lecture Series. Innovations in Foundation Construction, pp. 52). ASCE, Illinois. 1972.

DECOURT, L. **Thoughts Concerning the Interpretation of Successive Load Tests on the Same Pile**. 9th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol 2, pp.585-597, 1991.

DÉCOURT, L. Analysis of deep foundations: piles. In Hachich. Foundations: theory and practice (pp. 265-301) Editora Pini Ltda. (in Portuguese). 1996.

DÉCOURT, L., & QUARESMA, A. Pile load capacity from SPT values. In: **Proceedings of the VI Brazilian Conference Cobramseg**: Vol. 1 (pp. 45-53). Rio de Janeiro (in Portuguese). 1978.

DEERE, D.U. Technical description of rock cores for engineering purposes. **Rock Mechanics And Engineering Geology**. Vol. 1, nº 1, p. 17 – 22,1964.

DEERE, D.U.; MERRITT, A. H.; COON, R. F. “**Engineering Classification of In-Situ Rock**,” Technical Report No. AFWL-TR-67-144, Kirtland Air Force Base, 1969. EGT, Planta de Locação de Sondagens.2011.

ESPAÑA,. **Guía de cimentaciones en obras de carretera**. 3 ed. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, p.304. 2011.

FELLENIOUS, B. H. ; ALTAEE, A. **The critical depth** - How it came into being and why it does not exist. Proc. Institution of Civil Engineers, 113 (2); pp107-111, 1995.

FELLENIOUS, B. H. Determining the Residual Distribution in Piles. Part 1 and 2 Method for Determining the Residual Load. **Geotechnical News Magazine**, Vol.20, No3, pp.25-29, 2002.

FELLENIOUS, B. H. **Proc. International Deep Foundation Congress**, Orlando, 2003.

FERREIRA, M.M. S. **Classificação geomecânica e análise de estacas raiz parcialmente embutidas em maciço rochoso** – Petroquímica Suape. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife.2017.

FLEMING, K.,WELTMAN,A.,RANDOLPH, M.,& ELSON, K . **Piling Engineering 93rd edition ed.**. New York: Taylor & Francis. 2009.

FONSECA, ANTONIO VIANA DA; SANTOS, Jaime Alberto dos; ESTEVES, Elisabete Costa; MASSA, F. Analysis of piles in residual soil from granite considering residual loads. **Solos e Rochas**, V.30, p63-80, 2007.

FRANK, R., "**Etude Théorique du Comportement des Pieux sous Charge Verticale Introduction de la Dilatance**," Doctor-Engineer Thesis, University Paris (Pierre et Marie Curie University), France, Nov., 1974.

FRANK, R., "Etude Théorique du Comportement des Pieux sous Charge Verticale," **Rapport de recherche no 46**, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 1975.

FRANKLIN, J. A., DUSSEAU, M. B. Rock Engineering Applications. **McGraw-Hill International Editions**. 431 p, 1992.

FRAZÃO, E.B.; PARAGUASSU, A.B. Materiais rochosos para construção. In: Oliveira, A.M.S.; Brito, S.N.A. (Ed.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, p.331- 342, 1998.

GAMA, E. M., FRAZÃO, E. B. **Comportamento geomecânico de um maciço de arenito Caiuá/divisa dos Estados do Paraná e Mato Grosso do Sul**. 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e IX COBRANSEF, BA. p. 57 – 67, 1990.

GARCIA, J. R.; ALBUQUERQUE, P. J. R.; MELO, R. Á. A. Experimental and numerical analysis of foundation pilings partially embedded in rock. REM. **Revista Escola de Minas**, v. 66, p. 439-446, 2013.

GOBLE, G.G., RAUCHE, F., & LIKINS, G.E.. The Analise of Pile Driving – A State of the Art Report. In: **Proceedings of the 2nd International Conference on the Application of Stress – Wave Theory to Piles** (pp. 131-161). Stockholm., 1980.

GOBLE. (1986). **Notes on the course of Application of Stress Wave in Driven Piles**. PUC. (in Portuguese), 1986.

GONÇALVES, J. A. G. F. **Estabilidade de fundações e taludes em maciços rochosos**. Dissertação (mestrado) – Universidade Nova Lisboa. Lisboa, 2013.

GOODMAN, R. E.. **Introduction to Rock Mechanics**, 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1989.

GREGERSEN, O. G.; AAS, G. DIBIAGIO, E. **Load Tests on Friction Piles in Loose Sand**. 8th Int. Conf. Soil Mech. Found. PP.109-117, Moscow, 1973

GUIDICINI, G; SANTOS OLIVEIRA, A.M; PIRES DE CAMARGO ,F.;KAJI, N.), Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. In: **Semana Paulista de Geologia Aplicada Anais**. São Paulo. P 275-282, 1972.

HAWKES, I.; MELLOR M. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. **Eng. Geol.**, 4 (3) 177 – 285, 1970.

HEGAZY, Y.A.; CUSHING, A. G. Cushing ; LEWIS, C. J. L. **Driven Pile Capacity in clay and drilled shaft capacity in rock from field load tests**, Fifth International Conference on case histories in geotechnical engineering, New York, NY, April 13-17, 2004.

HOEK, E. & Londe, P. The Design of Rock Slopes and Foundations. **General report for Third Congress of the International Society for Rock Mechanics**, 1974.

HOEK, E. . Strength of Rock and rock masses. **ISRM News Journal**, 2, 4-16. 1994.

HOEK, E., BROWN, E.T., "Practical estimates of rock mass strength". **International Journal of Rock Mechanics & Mining Science & Geomechanics Abstracts**, v. 34, n.8, pp.1165-1186, 1997.

HOEK, H., BROWN, E. T. "**Underground Excavations in Rock**". The Institution of Mining and Metallurgy. London. 328 p. 1980.

HOLLOWAY, D. M.; CLOUGH, G. W.; VESIC, A. S. **The effects of residual driving stress on piles performance under axial loads**. Proceedings of Offshore Technology Conference, Houston, OTC 3306, pp. 2225-2236, 1978.

HORVATH, R.G.. **Drilled Piers Socketed into Weak Rock** - Methods of Improving Performance. Ph.D. dissertation, Department of Civil Engineering, University of Toronto, ON, Canada, 1982.

HORVATH, R. & KENNEY, T. **Shaft resistance of rock socketed drilled piers**. Symposium on Deep Foundations (PP.182-214). Atlanta: F.M. Fuller, 1979.

HORVATH, R. **Field load test data on concrete-to-rock bond strength for drilled pier foundations** (Publication 78-07). University of Toronto, 1978.

HORVATH, R. G., KENNY, T. C. e KOZICKI, P.. Methods of improving the performance of drilled piers in weak rock. **Canadian Geotechnical Journal**, 20. pp. 758-772, 1983.

IAEG. COMMISSION "ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING". **Classification of rocks and soils for engineering geology mapping Part 1: rock and soil materials**. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. Krefeld, v. 19 pp. 364 – 371, 1979.

ICOSOMEF. Xu, J., Gong, W., Gamage, R.P., Zhang, Q., & Dai, G. "**A new method for predicting the ultimate shaft resistance of rock-socketed drilled shafts**". Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Geotechnical Engineering, 173(2), 169-186. <http://dx.doi.org/10.1680/jgeen.18.00221>, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Estudos geológico-geotécnicos para caracterização e classificação de maciços rochosos para projetos de engenharia (túneis, lavra a céu aberto e barragens)**. São Paulo. (IPT – Relatório, 19569). 1984.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM. **Basic Geotechnical Description of rock mass**, Commission on Classification of Rocks and Rock Masses, M Rocha, Coordinator, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., 18 (1), 85 – 110, 1980.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM. **Rock Characterization Testing and Monitoring**-ISRM – Suggested Methods. E.T Brown (ed), pergamon, Oxford, England, 211p, 1981.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock mechanics. **International Journal of Rock Mechanics Science and Geomechanics**. Abstract. v.15p. 319-368, 1978.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS – ISRM. The complete ISRM suggested methods for characterization, testing and monitoring: 1974-2006. In: Ulusay, R. & Hudson, J.A. (eds.), **suggested methods prepared by the Commission on Testing Methods**, ISRM. Ankara, Turkey. 628 p, 2007.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. Rock characterization testing & monitoring – ISRM suggested methods. London: Ed. E. T. Brown, Pergamon Press, 1981. 211 p apud AZEVEDO, I.C.D.; MARQUES, E.A.G. **Introdução à Mecânica das Rochas**. Ed. UFV, 2001. 361 p

JOHNSTON, I. W., LAM, T. S. K., Shear behavior os regular triangular concrete/rock koints –analysis. **Journal of Geotechnical Engineering** – ASCE, v. 115, n.5, PP. 711 -727. 1989.

JUVÊNCIO, E. L. **Avaliação do Comportamento de Estacas Parcialmente Embutidas em Rocha Gnáissica**. Tese (Doutorado) UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro. .2015.

JUVÊNCIO, E.L., LOPES, F.R., & NUNES, A.L.L.S. An Evaluation of the Shaft Resistance of Piles Embedded in Gneissic Rock. **Soils and Rocks**, São Paulo, 40(1), 61-74. 2017.

KULHAWY, F. H. e GOODMAN, R. E.,. **'Foundations in rock'**, Chapter 55 in Ground Engineers Reference Book, F. G. Bell (ed.) Butterworths, Oxford, London. 1987.

KULHAWY, F.H., “Drilled shaft foundations”. In: Fang, H.Y., Van Nostrand Reinhold,(eds), **Foundation Engineering Handbook**, 2 ed., chapter 13, NY, USA, Springer US, 1991.

KULHAWY, F.H., “Geomechanical Model for Rock Foundation Settlement,” **Journal of the Geotechnical Engineering Division**, v. 104, n. 2 (Feb), pp. 211- 227. 1978.

KULHAWY, F.H., PHOON, K.K.,. “Drilled shaft side resistance in clay soil to rock”. In: **Proceedings of Conference on design and performance of deep foundations**:

piles and piers in soil and soft rock. Geo. ASCE, v. 38, pp.172 - 183, New York,NY. Jun. 1993.

KULHAWY, F.H., PRAKOSO, W.A., AKBAS, S.O., "Evaluation of Capacity of Rock Foundation Sockets". In: **Proceedings of 40th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)**, Paper 05-767, 8p. (on CD-ROM), Anchorage, AK, Jun. 2005.

LADANYI, B., DOMINGUE, D., An analysis of bond strenght for rock ocketedpiers. In: **Proceedings of the International Conference on Structural Foundations on Rock**, v. 1, pp. 367-373, Sydney, Austrália. 1980.

LADANYI, B... Friction and end bearing tests on bedrock for high capacity socket design: Discussion. **Canadian Geotechnical Journal**, 14(1), pp. 153-155. 1977.

LOPES, F.R., SANTA MARIA, P.E.L., DANZIGER, F.A.B., MARTINS, I.S.M., & TASSI, M.C. "A proposal for static load tests on piles: the Equilibrium Method. **Soils and Rocks**", São Paulo, 44, 1-10. 2021.

MALAFIA, A.L. **Estudo de sistema de classificação dos maciços rochosos da UHE Batalha**. Dissertação (Mestrado)- COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2007.

MARINOS P.; MARINOS V.; HOEK, E. **The Geological Strenght Index**: applications and limitations. Bulletin of Engineering Geology and the Enviroment, Verlag, v. 64, n. 1, p. 55-65, Feb. 2005.

MASCARENHAS M.T.S. **Método de Estimativa de Capacidade de Carga de Estacas em Rochas Brandas** – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2018.

MASSAD, F. Sobre a Interpretação de Provas de Cargas em Estacas Considerando as Cargas Residuais na Ponta e a Reversão do atrito Lateral. Parte I: Solos Relativamente Homogêneos. **Solos e Rochas**, Vol.15, N2, pp.103-115, 1992

MASSAD, F. Sobre a Interpretação de Provas de Cargas em Estacas Considerando as Cargas Residuais na Ponta e a Reversão do atrito Lateral. Parte II: Estaca Embutida em Solo mais Resistente. **Solos e Rochas**, Vol.16, N2, pp.93-112, 1993

MASSAD, F. **The analysis of piles considering soil stiffness and residual stresses**. 10th Panamericam Conf. Soil Mech. Foundation Eng. Guadalahara, 1995.

MASSAD, F. **Comportamento de Estacas Escavadas de Elevadas Compressibilidades**. SEFE II, SP, vol.1, 245-254, 1991.

MASSAD, F.; FONSECA, A V,. **Método da Rigidez de Décourt aplicado a estaca submetida a vários ciclos de carregamento**, SEFE7, São Paulo. 2012.

MASSAD, F.; FONSECA,. "Sobre a Interpretação de Provas de Carga em Estacas, Considerando a Reversão do Atrito Lateral e a Carga Residual na Ponta. Parte I: Solos Relativamente Homogêneos". **Revista Solos e Rochas**. Solos e Rochas. , v.15. 1992.

MASSAD, F.; FONSECA, . “Sobre a interpretação de provas de cargas em estacas, considerando ascargas residuais de ponta e a reversão do atrito lateral. Parte II: Estacas embutidas em camada mais resistente”. **Revista Solos e Rochas**. Solos e Rochas. , v.16, p.93 – 112. 1993.

MEIGH, A.C., & WOLSKI, W,. Design parameters for weak rock. In: **Proceedings of the 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**: Vol. 5 (pp. 59-79). London. British Geotechnical Society, Brighton, 1979.

MEIGH, A.C., WOLSKI, W., “Design parameters for weak rock”. In: **Proceedings of 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**. London: British Geotechnical Society, v. 5, pp.59-79, Brighton, UK, Sep. 1979.

MELO, B.N. **Análise de provas de carga a compressão a luz do conceito de rigidez**. Dissertação de Mestrado, Campinas-SP, 2009.

MIRANDA, T., **Contribuição para a Obtenção de Parâmetros Geomecânicos para a Modelação de Obras Subterrâneas em Maciços Graníticos**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Braga, Portugal. 2003.

MONTOYA, C.A., ASSIS A.P. **Classificação Geomecânica e Simulação Numérica de Estruturas Subterrâneas de Barragens**, 2002.

MUSARRA, M. D. **Análise de comportamento de estacas embutidas em rocha**. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2014.

NUNES, A. L. L. S.; CASTILHOS, C. M.; SCHNAID, F. **Estimativa da resistência lateral de estacas embutidas em arenito Botucatu no RS**. Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul, 3, GEOSUL 2002 – Joinville, Santa Catarina, 2002.

O’NEILL, M.W.; REESE, L.C., **Drilled Shafts: Construction and Design**, FHWA, Publication No. HI-88-042. 1988.

OSTERBERG, J. O., GILL, S. A., Load Transfer Mechanisms for piers socketed. In: **HARD SOILS OR ROCK**. Proceedings of Canadian Symposium on Rock Mechanics, 9th, pp.235-62, Montreal, ON, Canada, Dec. 1973.

OSTERBERG, J., Side Shear and End Bearing in Drilled Shafts. In: **PROCEEDINGS OF SESSIONS OF GEO DENVER**. - New technological and design developments in deep foundations, pp. 72-79, Denver, Colorado, Aug. 2000.

PALMSTROM, A., “Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)”, **Tunnels and Underground Space Technology**, v.20, n. 4 (Jul), pp 362-377. 2005.

PALMSTROM, A., “The volumetric joint count - a useful and simple measure of the degree of rock jointing”. In: **Proceedings 4th congress International Association for Engineering Geology (IAEG)**, v. 5, pp. 221-228, New Delhi, Dec. 1982.

- PALMSTROM, A., BROCH, E., "Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system". **Tunnels and Underground Space Technology**, v. 21, n. 6 (Nov), pp. 575-593. 2006.
- PELLS, P. J. N., TURNER, R. M., 1979, "Elastic solutions for the design and analysis of rock-socketed piles". **Canadian Geotechnical Journal**, v. 16, n. 3 (Aug), pp. 481-487.
- PELLS, P.J.N., ROWE, R.K., TURNER, R.M. An Experimental Investigation into Side Shear for Socketed Piles in Sandstone, In: **Proceedings, International Conference on Structural Foundations on Rock**, v.1, pp. 291-302. Sydney, Austrália. 1980.
- POULOS, H. Analysis of Residual Stress Effects in Piles. **Journal ASCE**, Vol.113, No 3, pp. 216-229, 1987
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H. **Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics**, Wiley and Sons, NY, 1974.
- POULOS, H. G.; DAVIS, E. H.. **Pile Foundation Analysis and Design**. New York: John Wiley and Sons. 397 p. (Series in geotechnical Engineering). 1980.
- RANDOLPH, M. F., WROTH, C.P. - "Analysis of deformation of vertically loaded piles", Proc. ASCE, JGED, Vol. 104, N° GT 12, pp. 1465-1488. 1978.
- REDAELLI, L.L.; CERELLO, L.. "Escavações". In. OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. ABGE. Cap. 19. p. 311-330, 1998.
- REESE, L.C., & O'NEILL, M.W. **Drilled Shafts: construction procedures and design methods** (Report FHWA-IF-99-025). Federal Highway Administration. 1999.
- RIEKE, R. D.; CROWSER, J. C. Interpretation of Pile Load Tests Considering Residual Stresses. **Journal ASCE**, Vol.113, No 4, pp. 320-334, 1987.
- ROSENBERG, P., & JOURNEAUX, N. Friction and end bearing tests on bed rock for high-capacity socket design. **Canadian Geotechnical Journal**, 13(3), 324-333. 1976.
- ROWE, R.K. ARMITAGE, H.H. **The design of piles socketed into weak rock** (Report GEOT-11-84). University of Western Ontario. 1984.
- ROWE, R.K. ARMITAGE, H.H., A design method for drilled piers in soft rock, **Canadian Geotechnical Journal**, v. 24, n.1, pp.126-142. 1987.
- SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas aplicações a Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de Texto 2000.
- SEIDEL, J. P., COLLINGWOOD, B., A new socket roughness factor for prediction of rock socket shaft resistance. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 38, pp. 138-153. 2001.

SERAFIM, J. L.; PEREIRA, J. P. “**Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski**”. Proceedings, International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction, LNEC, Lisbon, Portugal, Vol. 1, pp. II.33-II.42. 1983.

SERRA JUNIOR, E.; OJIMA, L. M. Caracterização e classificação de maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A. M. do S.; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**, p. 211-226. 2011.

SILVA, M. D., COUTINHO, R. Q., DANZIGER, B. R., “A case study of bearing capacity of piles partially embedded in rock”. **Soils and Rocks**, An International Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2022.

SILVA, M. D. **Caracterização Geotécnica do Maciço Rochoso e Fundações em Estacas Embutidas em Rochas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2013.

SIMONS, H.A., & RANDOLPH, M.F. A new approach to one dimensional pile driving analysis. In: **Proceedings of the 5th International Congress on Numerical Methods in Geomechanics**. Nagoya. 1985.

SMITH, E.A.L. Pile driving analysis by the Wave Equation. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, 127(I), 1145-1193. 1960.

SOUZA, A.P; Silva R.F; IYOMASA, W. S.” Métodos de Investigação”. In: **Geologia de Engenharia**, . 163-169 São Paulo: ABGE, 2008.

TERZAGHI, K. **Rock defects and loads on tunnel supports, Rock tunnelling with steel supports**. Eds. Proctor. R.v. and White, T., Commercial Shearing Co., Youngstown, 1946, revised 1968. Pp. 47 – 99, 1946.

Terzaghi, K. **Theoretical soil mechanics**. John Wiley & Sons. 1943.

Timoshenko, S.P, AND Goodier, J. N., **Theory of Elasticity**, 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, N.Y.,1970.

TOMLINSON, M. J. **Foundation Design and Construction**. 6 ed. Essex, England, Longman Scientific and Technical. 1995.

TURNER, J.. Rock Socketed Shafts for Highway Structure Foundations- A Synthesis of Highway Practice, NCHRP Synthesis 360, In: **Transportation Research Board**, Washington, D.C. 2006.

VAN DER VEEN, C. The bearing capacity of a pile. In: **International of the 3rd Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering**: Vol. 2 (pp. 84-90). Zurich. 1953.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R.. **Fundações**., Editora Oficina de Textos, Vol 2, São Paulo. 2010.

VELOSO, Dirceu A.; LOPES, F.R.. **Fundações**. Editora Oficina de Textos. Nova Edição. São Paulo, 2004.

WEAVER, J. M. Geological factor significant in the assessment of rippability. **Civil Engineer in South Africa**, 17 (12): 313 – 316. Dec ,1975.

WILLIAMS, A.F., JOHNSTON, I.W., DONALD, I.B., 1980, “The Design of Socketed piles in Weak Rock”. In: **Proceedings of the International Conference on Structural Foundations on Rock**, v.1, pp. 327-347, A.A. Balkema, Sidney.

WILLIAMS, A. F.; PELLIS, P. J. N.. Side resistance rock sockets in sandstone, mudstone, and shale. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 18, n. 4, pp. 502-513. 1981.

XU, J.; GONG, W; GAMAGE, R.P.; ZHANG, Q.; DAI G.. “A new method for predicting the ultimate shaft resistance of rock-socketed drilled shafts”. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Geotechnical Engineering** 173(2): 169–186, <https://doi.org/10.1680/jgeen.18.00221>. 2020.

ZHANG, L., & EINSTEIN, H.H. End bearing capacity of drilled shafts in rock. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 124(7), 574-584. 1998.

**APÊNDICE A – RESULTADOS CAPWAP DOS ENSAIOS DE CARREGAMENTO DINÂMICO PARA AS 99 ESTACAS
ENSAIADAS**

Tabela 1 - Resultados ensaios PDA.

Item	Estaca	Golpes	Hq m	Peso t	Ea t.m	EMX t.m	Ef %	DMX mm	Ru tf	Rlat tf	Rp tf	Qp mm	Jlat s/m	Jp s/m	MQ	Set mm
1	E2096	3	0.9	3.78	3.4	0.63	19%	3	320	253.4	66.6	1.252	0.678	1.666	1.81	0.100
2	E2097	3	0.7	3.78	2.65	0.68	26%	4	283.4	240.8	42.5	1.033	0.495	1.313	2.22	0.100
3	E2098	3	0.7	3.78	2.65	0.45	17%	3	299.3	281.4	18	1.246	0.476	1.484	2.47	0.100
4	E2099	3	0.9	3.78	3.4	1.18	35%	6	245	123.3	121.7	2.649	1.29	0.08	3.32	2.000
5	E2102	3	0.9	3.78	3.4	0.79	23%	4	300.3	229.4	70.9	1.291	0.876	2.065	1.49	0.100
6	E2120	3	0.7	3.78	2.65	0.63	24%	4	285	242.8	42.2	1.010	0.624	1.001	1.94	0.100
7	E2123	2	0.5	3.78	1.89	0.5	26%	3	218.7	173.8	45	1.313	1.313	1.313	2.01	1.000
8	E2124	3	0.7	3.78	2.65	0.72	27%	4	340.5	243.2	97.3	2.852	0.613	1.476	2.38	0.100
9	E2131	4	0.9	3.78	3.4	0.95	28%	5	263.7	244.5	19.2	1.005	0.975	2.94	4.03	1.000
10	E2132	3	0.7	3.78	2.65	0.51	19%	3	243.5	230.3	13.2	1.369	0.785	1.313	3.46	0.100
11	E2133	4	0.9	3.78	3.4	0.88	26%	6	320	230	90	1.004	0.129	1.313	2.97	0.100
12	E2134	3	0.7	3.78	2.65	0.55	21%	4	244.1	186.5	57.6	2.469	0.696	1.609	2.32	0.100
13	E2066A	4	0.9	3.78	3.4	0.38	11%	3	270	245.2	24.8	1.519	0.505	1.791	2.51	0.100
14	E2072A	3	0.7	3.78	2.65	0.79	30%	4	350	323.2	26.8	1.433	0.47	1.728	2.3	0.100
15	E2094A	3	0.7	3.78	2.65	0.5	19%	3	325	284.4	40.6	1.004	1.313	1.181	3.46	0.100
16	E2118	4	0.9	3.78	3.4	0.99	29%	5	285	223.2	61.8	1.184	1.184	1.119	1.82	0.100
17	E2059A	4	0.9	3.78	3.4	0.95	28%	5	335	303.8	31.2	1.000	0.54	2.597	2.67	0.100
18	E2064A	3	0.7	3.78	2.65	1.13	43%	8	350	323.2	26.8	1.004	0.516	1.647	4.15	0.100
19	E2087B	3	0.7	3.78	2.65	0.72	27%	4	337	261.5	75.5	1.605	0.593	1.745	4.19	0.100
20	E2111	3	0.7	3.78	2.65	0.69	26%	4	323.2	202.6	120.6	1.919	0.205	0.912	2.92	0.100

Item	Estaca	Golpes	Hq m	Peso t	Ea t.m	EMX t.m	Ef %	DMX mm	Ru tf	Rlat tf	Rp tf	Qp mm	Jlat s/m	Jp s/m	MQ	Set mm
21	E2112	3	0.7	3.78	2.65	0.64	24%	4	265.6	238.1	27.4	2.806	0.41	1.313	2.98	0.100
22	E2105	5	1.1	3.78	4.16	0.88	21%	5	252.6	194.8	57.8	1.004	1.149	0.606	1.57	1.000
23	E2108A	4	0.9	3.78	3.4	1.29	38%	6	332.1	272.8	59.4	1.269	0.652	1.548	4.45	0.100
24	E2023B	4	0.9	3.78	3.4	1.83	54%	10	321.3	199.3	122.1	3.277	0.514	0.907	1.91	0.100
25	E2033A	4	0.9	3.78	3.4	1.23	36%	7	315.4	272.1	43.2	2.042	0.725	0.488	3.03	0.100
26	E2057A	4	0.9	3.78	3.4	1.53	45%	8	335	280.8	54.3	1.974	0.524	1.756	1.91	0.100
27	E2079A	3	0.9	3	2.7	1.07	40%	6	324.1	269	55	1.006	0.69	0.96	4.43	0.100
28	E2127A	3	0.9	3	2.7	0.67	25%	5	290	266.1	23.9	1.004	0.336	1.313	4.98	1.000
29	E44B	3	0.9	3	2.7	0.74	27%	5	347.6	246.3	101.3	1.263	0.495	1.313	3.87	0.100
30	E49A	3	0.9	3	2.7	1.8	67%	8	342.1	248.6	93.5	3.228	0.706	0.806	4.41	0.100
31	E54A	4	0.9	3.78	3.4	1.85	54%	10	361.9	298.4	63.5	3.024	0.492	1.358	3.48	0.100
32	E37A	4	0.9	3.78	3.4	1.6	47%	9	370.8	316.9	53.9	2.294	0.229	1.514	4.63	0.100
33	E42A	3	0.7	3.78	2.65	1.15	43%	7	320	273.3	46.7	1.780	0.405	1.802	3.72	0.100
34	E79A	3	0.9	3	2.7	0.76	28%	5	287.8	219.5	68.3	1.225	1.025	1.326	4.93	0.100
35	E80A	2	0.6	3	1.8	0.88	49%	5	264.5	200.3	64.2	1.324	1.084	1.313	3.82	0.100
36	E84A	4	1.1	3.78	4.16	1.69	41%	10	335	285.9	49	2.766	0.495	1.544	4.35	0.100
37	E85A	3	0.7	3.78	2.65	1.54	58%	9	350.8	243.6	107.2	3.446	0.547	1.468	2.32	0.100
38	E90A	3	0.7	3.78	2.65	1.52	57%	8	359.9	304.1	55.8	1.655	0.615	1.313	3.21	0.100
39	E104B	3	0.9	3	2.7	1.54	57%	8	257.4	206.6	50.8	2.451	0.755	0.955	4.01	0.200
40	E108A	3	0.9	3	2.7	1.75	65%	8	332.2	232.9	99.3	1.406	1.241	0.814	4.37	0.100
41	E92A	4	0.9	3	2.7	2	74%	12	273.5	157.7	115.8	7.281	0.395	0.405	3.98	0.100
42	E109A	3	0.9	3	2.7	2.06	76%	9	295.7	196.8	98.9	2.298	1.019	1.155	4.72	0.100
43	E96A	3	0.7	3.78	2.65	1.43	54%	9	337.5	276.2	61.2	1.738	0.224	1.437	4.6	3.000
44	E99B	3	0.7	3.78	2.65	1.54	58%	9	325	225.8	99.2	1.303	0.142	1.313	4.8	0.100

Item	Estaca	Golpes	Hq m	Peso t	Ea t.m	EMX t.m	Ef %	DMX mm	Ru tf	Rlat tf	Rp tf	Qp mm	Jlat s/m	Jp s/m	MQ	Set mm
45	E102A	3	0.7	3.78	2.65	1.59	60%	8	357.6	304.7	53	1.967	0.66	1.313	2.61	0.100
46	E133A	3	0.9	3	2.7	1.06	39%	6	279.1	227.4	51.7	1.174	0.336	1.315	4.17	1.000
47	E122	4	1.2	3.78	4.54	1.96	43%	9	350	251.2	98.8	3.155	1.24	0.921	3.11	4.000
48	E139A	2	0.6	3	1.8	0.9	50%	5	358.9	225.8	133.2	1.732	0.464	1.493	4.36	1.000
49	E140	2	0.5	3.78	1.89	1.02	54%	5	320	215.8	104.2	1.004	1.026	1.313	2.47	0.100
50	E144A	3	0.7	3.78	2.65	1.52	57%	9	390.2	291.7	98.5	2.703	0.279	1.414	4.25	0.100
51	E147A	3	0.7	3.78	2.65	1.3	49%	6	376.8	322.9	53.8	1.749	1.091	1.29	2.54	0.100
52	E150A	3	0.7	3.78	2.65	1.42	54%	7	345	245.8	99.2	2.138	0.69	1.313	3.17	
53	E174B	3	0.7	3.78	2.65	1.24	47%	7	355	321.4	33.6	2.096	0.493	1.313	3.68	0.100
54	E177A	4	0.7	3.78	2.65	1.57	59%	8	400.3	350.1	50.2	1.471	0.457	1.489	3.99	0.100
55	E180A	3	0.7	3.78	2.65	2.08	79%	9	448.7	406.3	42.3	3.082	0.281	1.442	2.55	1.000
56	E186B	3	0.7	3.78	2.65	1.4	53%	7	415	386	29	3.700	0.638	1.901	3.98	0.100
57	E207A	3	0.7	3.78	2.65	1.1	42%	6	325	301.6	23.4	2.074	0.598	4.587	2.07	0.100
58	E210A	3	0.7	3.78	2.65	1.06	40%	6	315	296	19	1.287	0.58	2.347	2.63	0.100
59	E3120A	3	0.7	3.78	2.65	1.35	51%	5	380	322.8	57.2	2.521	0.4	6.884	3.65	0.100
60	E3130	3	0.9	3.78	3.4	0.78	23%	5	293.6	242.5	51.1	1.004	1.014	0.778	3.17	0.100
61	E3051	3	0.9	3.78	3.4	1.05	31%	6	302.3	236.9	65.4	1.628	0.564	1.313	5.21	0.100
62	E3062	3	0.7	5	3.5	1.28	37%	6	320	203.6	116.4	2.54	0.637	0.849	4.25	0.100
63	E3091A	3	0.7	3.78	2.65	1.57	59%	8	385	319.4	65.5	1.989	0.367	1.875	4.39	0.100
64	E3092	3	0.9	3.78	3.4	1.2	35%	7	310	217.1	92.9	1.068	0.617	1.117	3.76	1.000
65	E3104	3	0.9	3.78	3.4	1.32	39%	7	344.6	262.5	82	1.218	0.751	1.125	4.92	0.500
66	E3108A	2	0.5	3.78	1.89	1.01	53%	6	275	191.1	84	1.707	0.904	3.554	3.06	0.100
67	E3079	3	0.9	3.78	3.4	1.09	32%	6	341.1	241.6	99.5	1.813	0.722	5	1.99	0.300
68	E3088A	3	0.7	3.78	2.65	1.57	59%	8	390	338.8	51.2	2.591	0.541	1.713	3.18	0.100

Item	Estaca	Golpes	Hq m	Peso t	Ea t.m	EMX t.m	Ef %	DMX mm	Ru tf	Rlat tf	Rp tf	Qp mm	Jlat s/m	Jp s/m	MQ	Set mm
69	E5145	4	1.2	3.78	4.54	2.58	57%	10	344.1	287.6	56.5	1.332	1.252	0.854	5.24	1.000
70	E5107	3	0.9	3.78	3.4	1.21	36%	7	315.1	210.2	104.9	2.025	0.224	1.128	3.9	1.000
71	E5076	3	0.9	3.78	3.4	0.95	28%	6	318.3	264.4	54	1.004	0.757	16.53	3.73	0.300
72	E5059	3	0.9	3.78	3.4	0.77	23%	5	275	199.6	75.4	1.246	1.027	1.313	3.71	2.000
73	E5065	3	0.9	3.78	3.4	1.15	34%	6	255	146.8	108.1	2.119	0.778	0.794	4.31	4.000
74	E5181	3	0.7	3.78	2.65	1.59	60%	7	335	235.7	99.3	1.119	1.369	0.53	4.45	0.100
75	E5027	3	0.9	3.78	3.4	0.63	19%	4	282.3	209.1	73.3	1.004	0.642	1.313	3.59	0.100
76	E5013	2	0.6	3.78	2.27	0.34	15%	2	250.8	238.1	12.7	1.334	0.87	1.313	1.72	0.100
77	E7199	3	0.7	3.78	2.65	1.77	67%	9	365.7	263.2	102.5	4.208	0.303	1.499	5.8	0.100
78	E7202	3	0.7	3.78	2.65	0.76	29%	4	322.1	287.5	34.6	1.149	0.383	3.443	4.14	0.100
79	E7021	4	0.9	3.78	3.4	0.81	24%	5	300	272.5	27.5	2.106	0.278	1.313	4.36	0.100
80	E7041	4	0.9	3.78	3.4	0.76	22%	6	269.6	247.7	21.9	2.459	0.349	1.606	3.82	0.100
81	E7186	3	0.7	3.78	2.65	1.54	58%	8	325	222.2	102.8	1.004	1.313	1.313	3.05	0.100
82	E7088	4	0.9	3.78	3.4	1.07	31%	7	316.6	276.7	39.9	1.702	0.432	0.889	3.46	0.100
83	E7107	3	0.7	3.78	2.65	0.57	22%	4	255	204.5	50.5	1.774	0.438	0.466	3.33	0.100
84	E7224	3	0.7	3.78	2.65	1.7	64%	8	292.7	200.5	92.2	3.028	0.989	0.314	4.36	0.100
85	E2113	3	0.7	5	3.5	1.39	40%	5	492.1	404.1	88	2.764	0.416	1.384	2.75	0.100
86	E2110	3	0.7	5	3.5	0.98	28%	4.8	378.7	329.3	49.4	1.605	1.087	0.867	3.14	0.100
87	E2122	2	0.5	5	2.5	0.57	23%	3.8	291.7	236.7	54.9	2.540	0.85	1.326	1.76	0.100
88	E2103	3	0.7	5	3.5	1.13	32%	4.5	369	232.9	136	3.110	0.92	1.106	2.16	0.100
89	E2125	3	0.9	3.78	3.4	0.66	19%	4	325.7	280.8	44.9	2.490	0.667	1.326	2.19	0.100
90	E2117	4	1.2	3.78	4.54	0.77	17%	4	287.1	235.5	51.6	1.004	1.072	0.778	2.59	0.100
91	E2121	3	0.8	3.78	3.02	0.63	21%	3	318.7	294.1	24.5	1.050	0.361	2.388	2.61	0.100

Item	Estaca	Golpes	Hq m	Peso t	Ea t.m	EMX t.m	Ef %	DMX mm	Ru tf	Rlat tf	Rp tf	Qp mm	Jlat s/m	Jp s/m	MQ	Set mm
92	E2101	3	0.7	3.78	2.65	0.42	16%	4	254.5	220.1	34.4	1.004	0.344	2.682	2.85	0.100
93	E2100	3	0.7	3.78	2.65	0.46	17%	3	294	276.5	17.6	1.032	0.17	1.313	1.86	0.100
94	E2119	3	0.7	3.78	2.65	0.72	27%	5	252.8	222.3	30.5	2.066	0.685	0.981	2.48	0.100
95	E2114	3	0.7	3.78	2.65	0.71	27%	5	301.7	293.4	8.3	2.580	0.456	1.313	2.72	
96	E2104	3	0.7	3.78	2.65	0.77	29%	4	356	302	54	1.834	0.321	1.175	3.17	0.100
97	E3105A	3	0.7	3.78	2.65	1.32	50%	7	390	346.9	43.1	2.706	0.104	1.388	3.24	0.100
98	E7058	3	0.7	3.78	2.65	0.8	30%	5	305.9	244.5	61.4	1.155	0.528	1.313	1.97	0.100
99	E2116	3	0.9	3.78	3.4	0.54	16%	4	290	247.7	42.3	1.004	0.348	1.88	2.14	0.100

Onde:

H - altura de queda do martelo;

Ea - energia aplicada;

EMX - energia medida;

Ef - eficiência;

Ru - resistência total;

Rlat - resistência lateral;

Rp - resistência de ponta;

Qp - quake da ponta (Máximo deslocamento elástico do solo.)

Jlat - damping lateral (Amortecimento dinâmico do movimento da estaca imposto pelo solo)

Jp - damping de ponta;

DMX - deslocamento máximo medido no topo;

MQ – match (Corresponde à diferença percentual entre a curva (em análise) medida e a correspondente curva calculada);

Set- Nega.

APÊNDICE B – EXEMPLO DA ESTACA E122 E TODOS OS GRÁFICOS DA SEPARAÇÃO DE CARGA LATERAL NO TRECHO

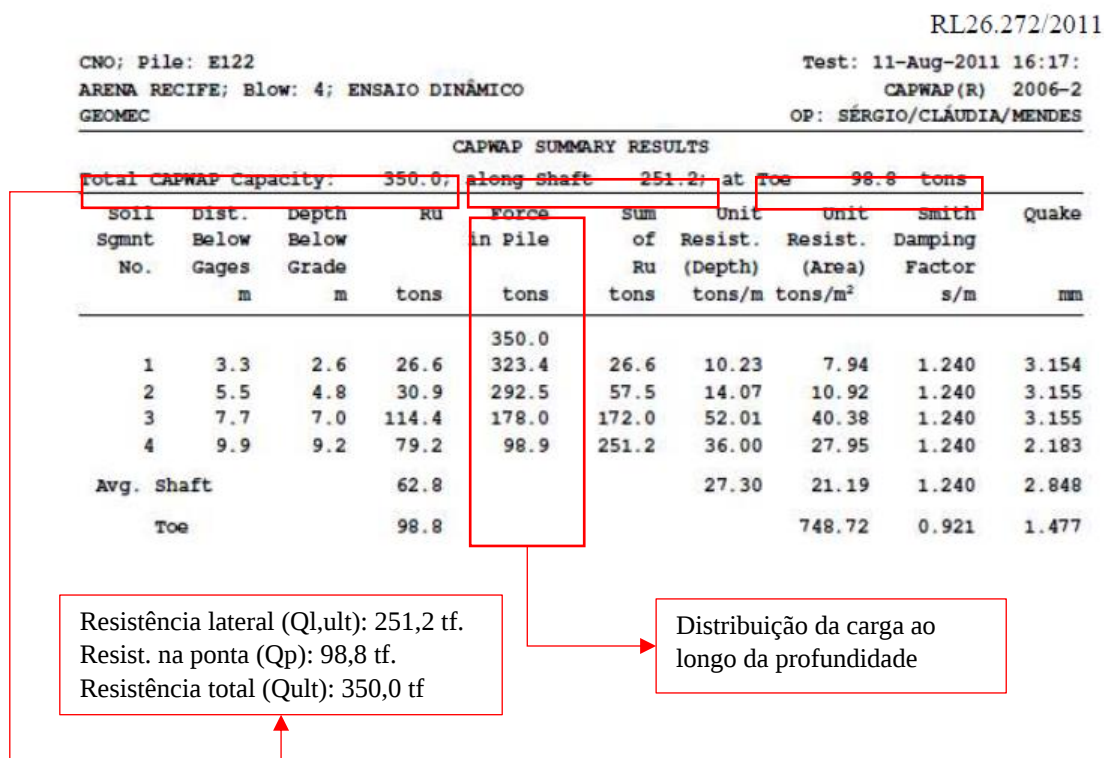
Exemplo E 122

Com os dados de boletim de campo, sabe-se o comprimento da estaca no trecho em solo e em rocha. Registro de acompanhamento da fiscalização da obra.

E 122– Setor Sul- Comprimento da estaca em solo: 4,8 m Comprimento em rocha: 4,4

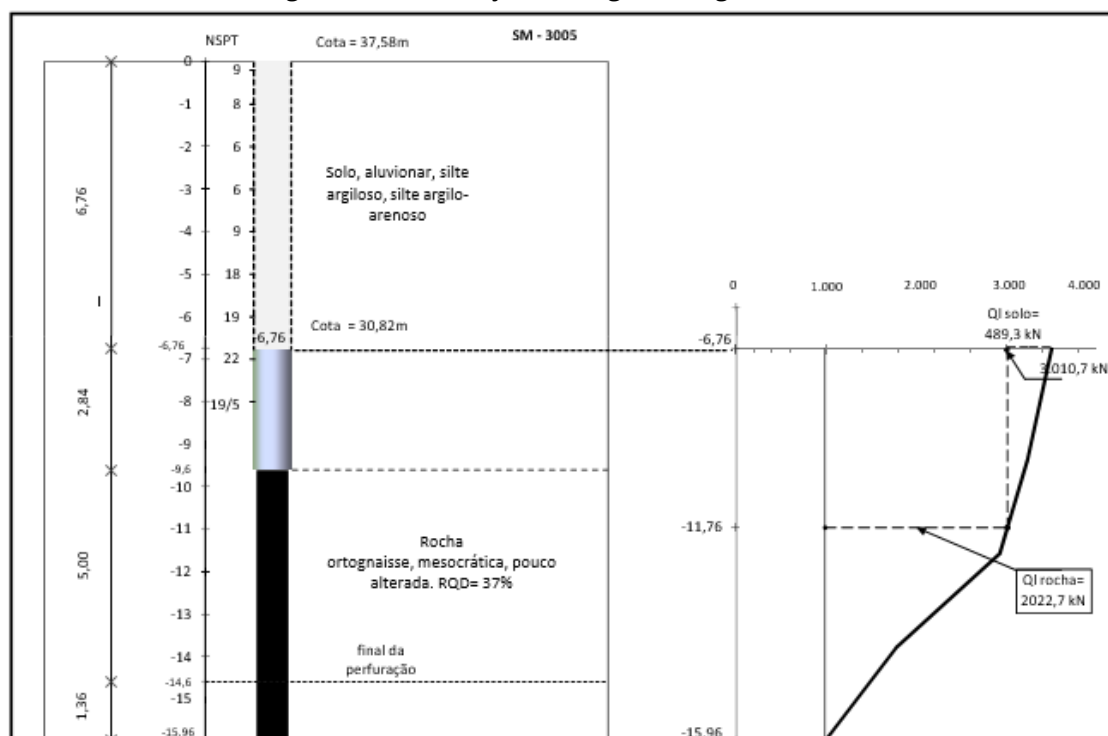
O boletim do ECD apresenta os seguintes resultados da imagem abaixo, que foi retirada do boletim da empresa que executou a prova de carga dinâmica (setas explicativas do trabalho em análise).

Figura 1 - Resultados dos boletins do ECD (Fonte: Empresa que executou a PCD).



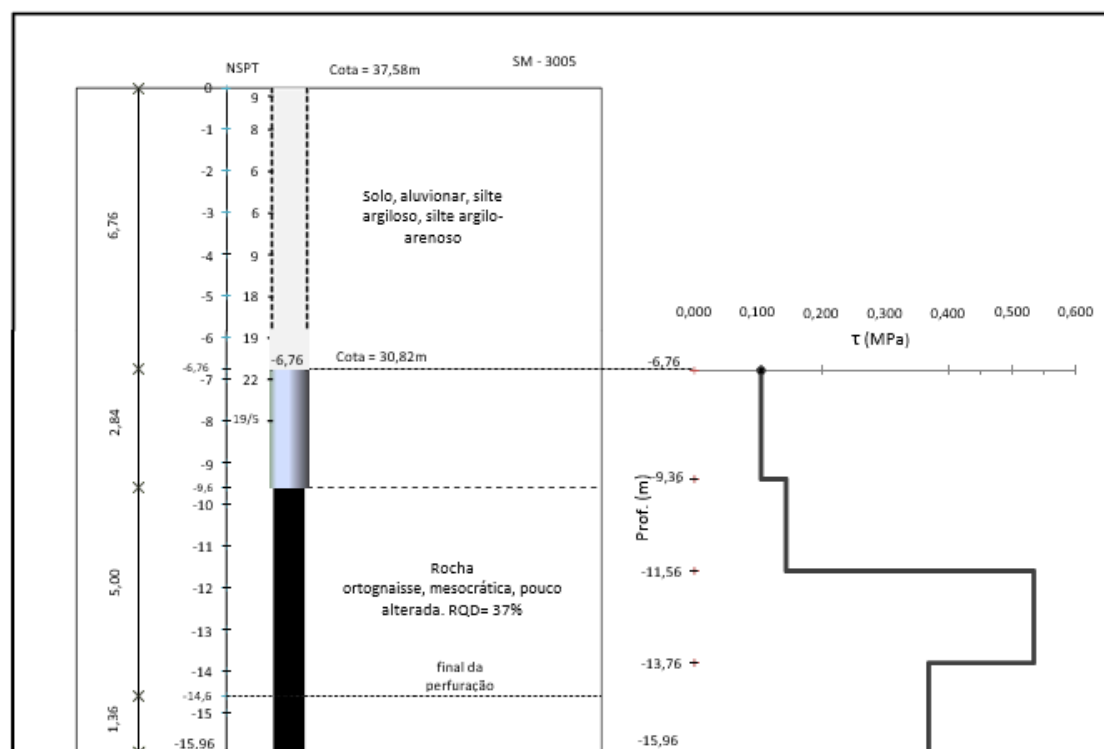
Com base nessas informações, foi feita a distribuição da carga ao longo da profundidade e, na cota do início da rocha, determinando-se a parcela da carga lateral no trecho rochoso. A parcela da ponta foi 98,8 tf = 968,89KN.

Figura 2 - Distribuição da carga ao longo da estaca.



Da mesma foi feita a distribuição da resistência cisalhante mobilizada, a partir dos resultados do ensaio de carregamento dinâmico, conforme Figura 3.

Figura 3 - Distribuição da tensão cisalhante mobilizada.



Considerando os dados da estaca E122, apresentados, tem-se que a tensão cisalhante média mobilizada no ensaio é:

$$\tau_{\text{méd}} = \frac{Q_{l,\text{rocha}}}{(\pi \cdot \phi_{\text{pino}} \cdot L_r)}$$

$$\tau_{\text{méd}} = \frac{2022,7}{(\pi \cdot 0,310 \cdot 4,4)} = 472,27 \text{ kPa} = 0,47 \text{ MPa}$$

A seguir a distribuição da carga ao longo de todas as estacas – Separação da carga lateral no trecho em solo e em rocha:

Figura 4 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2096.

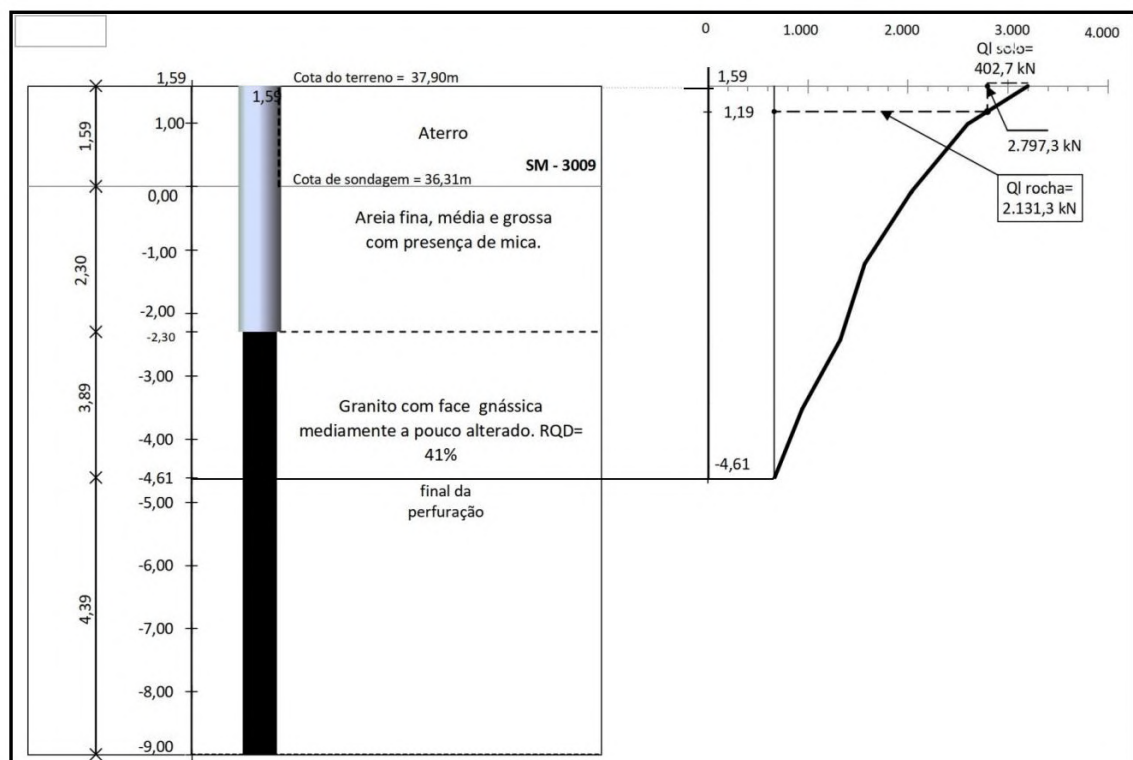


Figura 5 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2097.

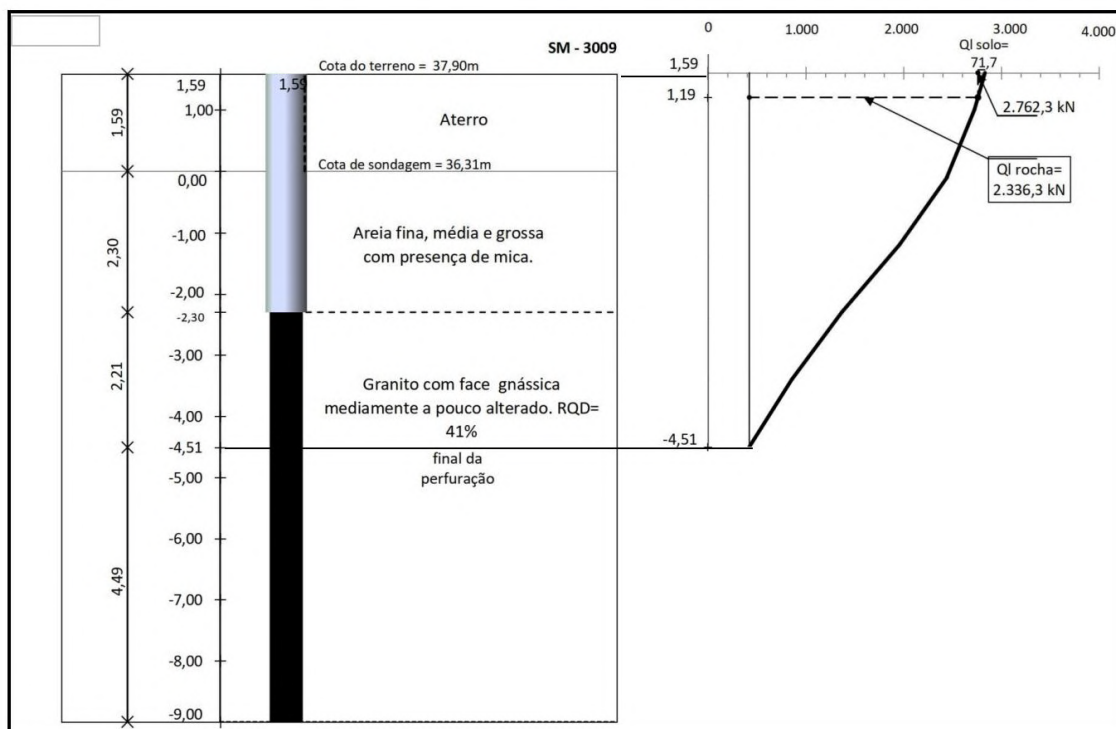


Figura 6 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2098.

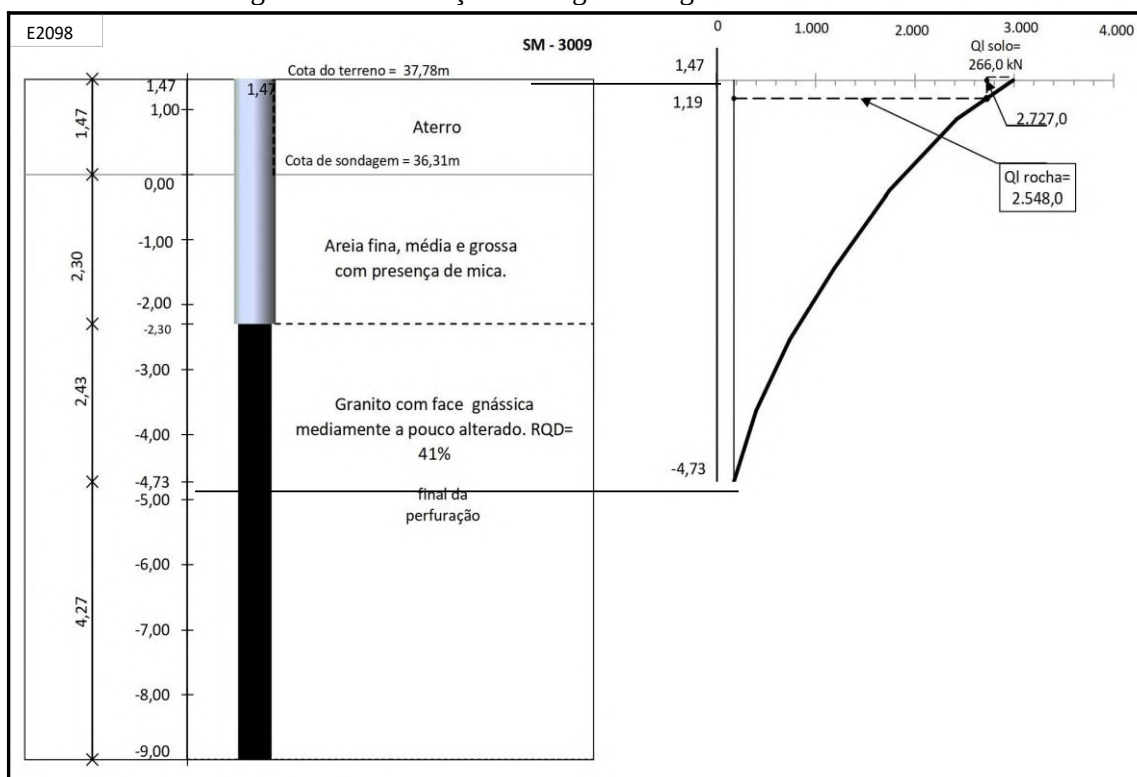


Figura 7 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2099

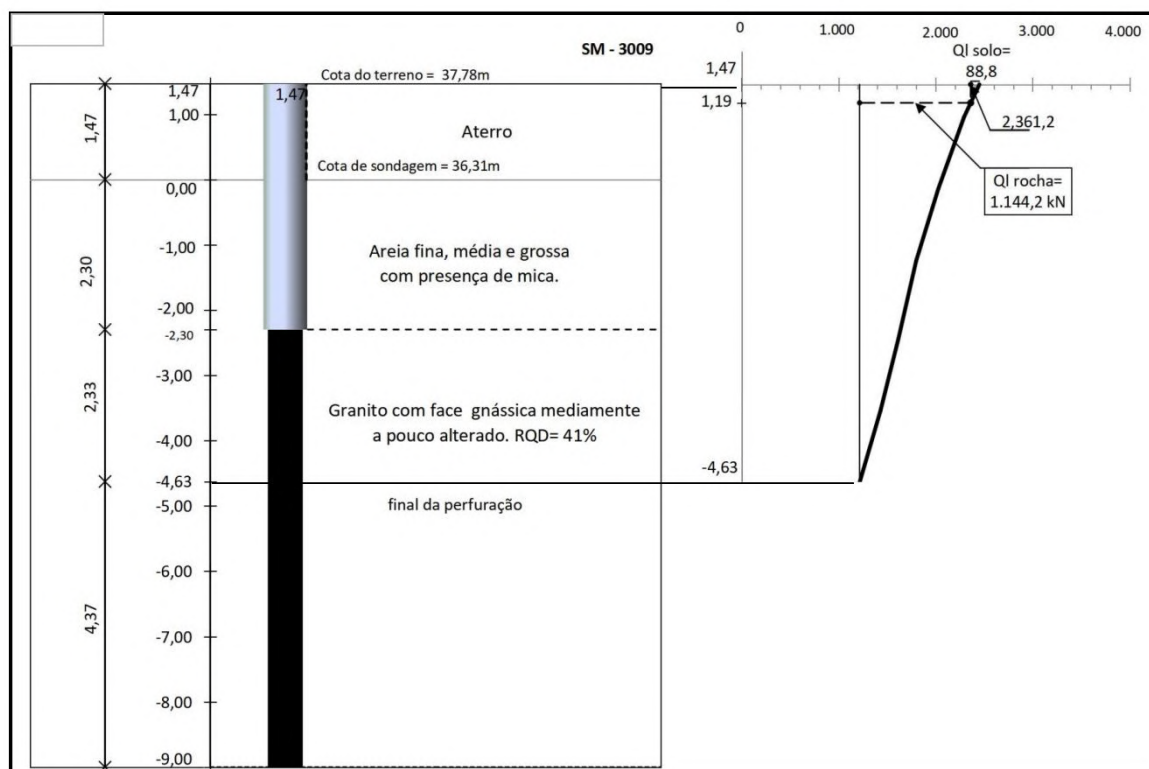


Figura 8 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2102.

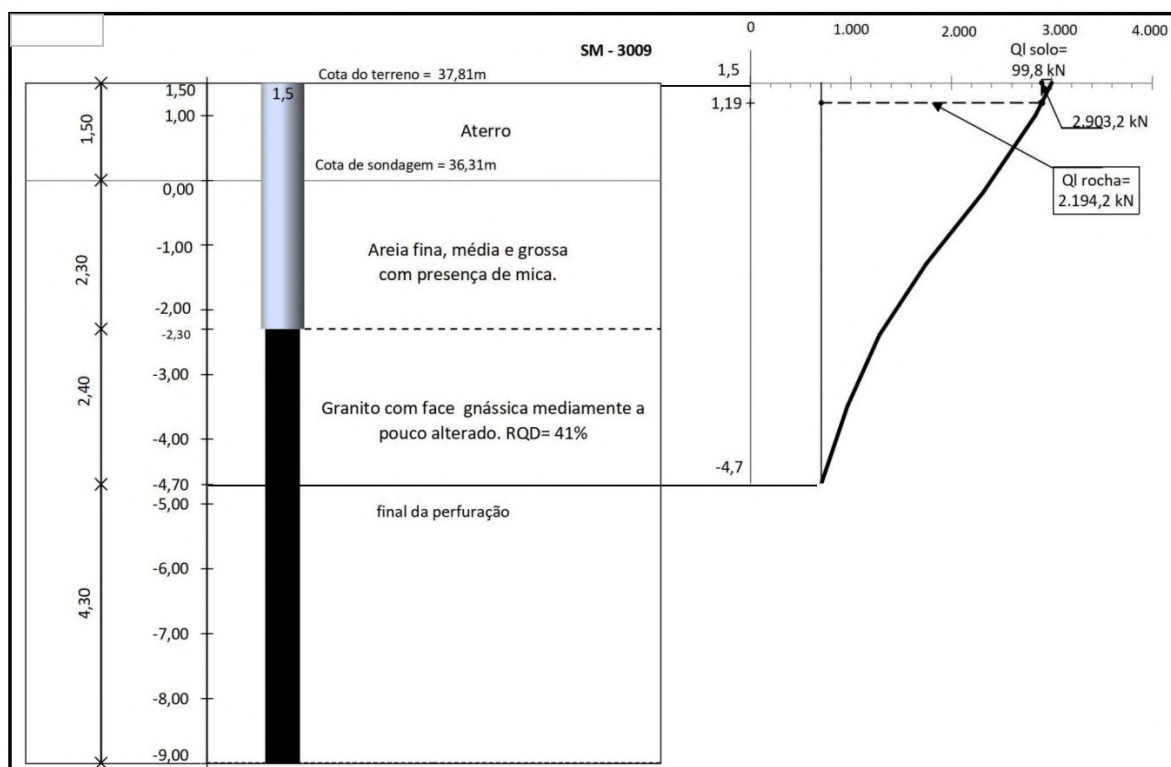


Figura 9 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2120.

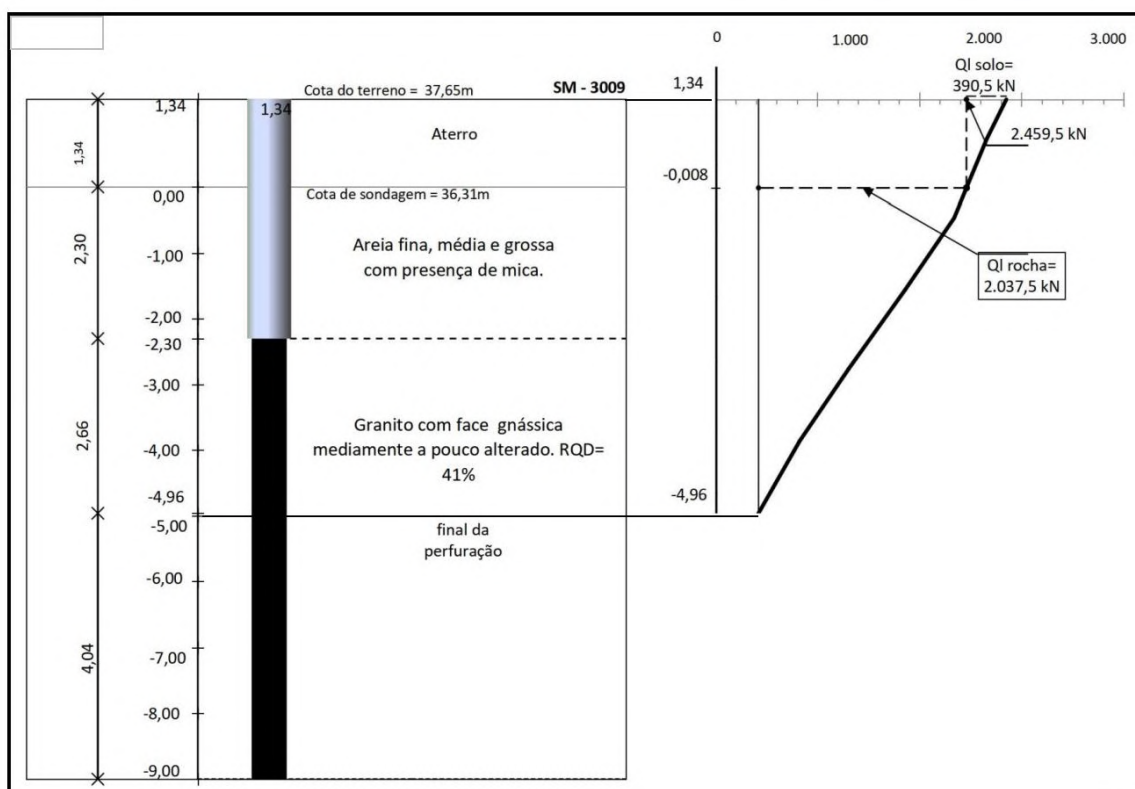


Figura 10 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2123.

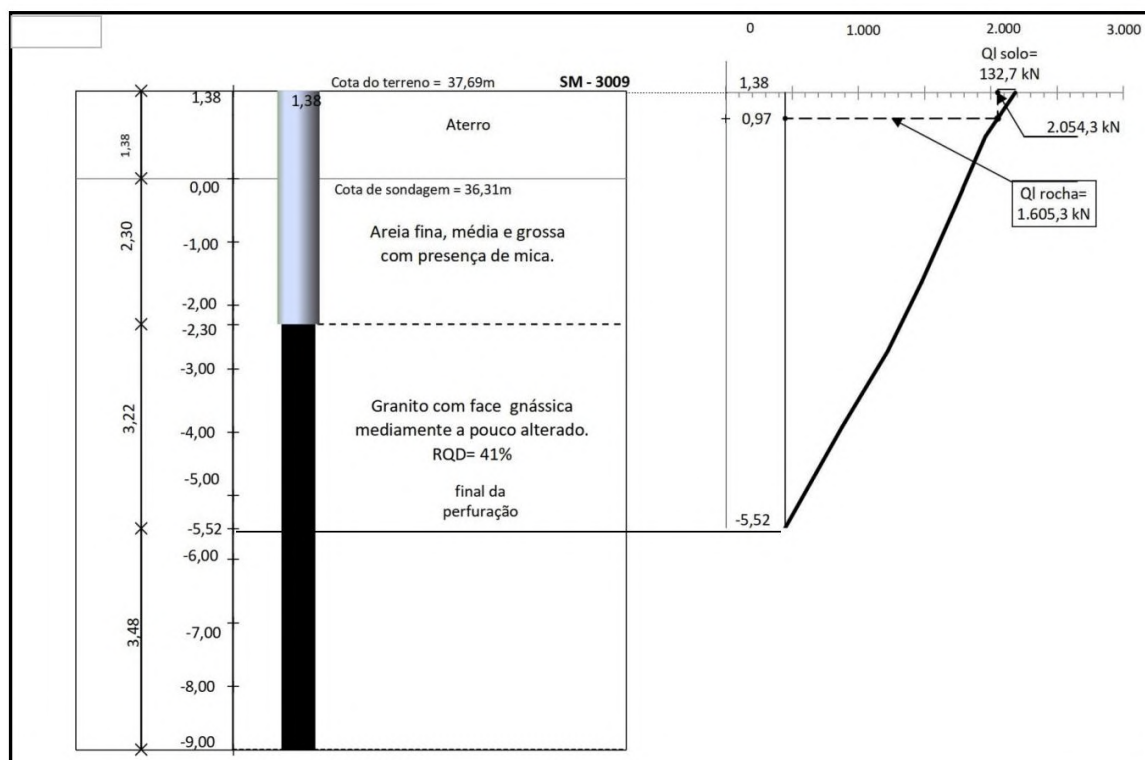


Figura 11 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2124.

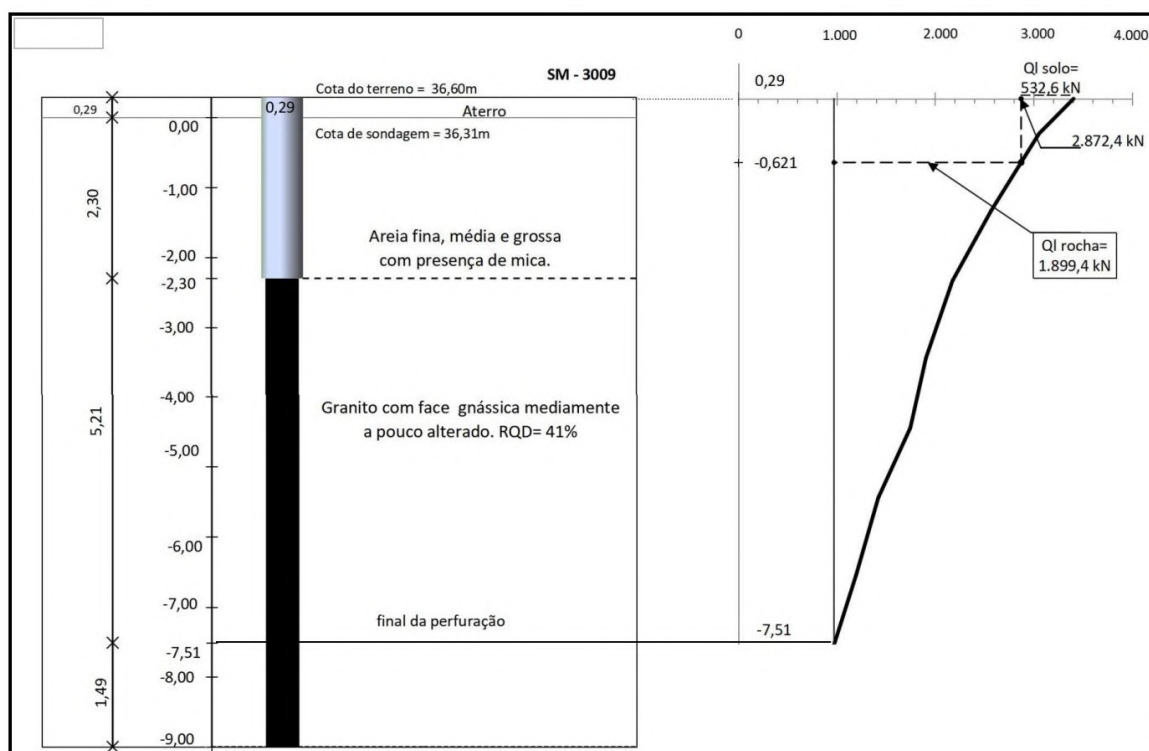


Figura 12 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2131.

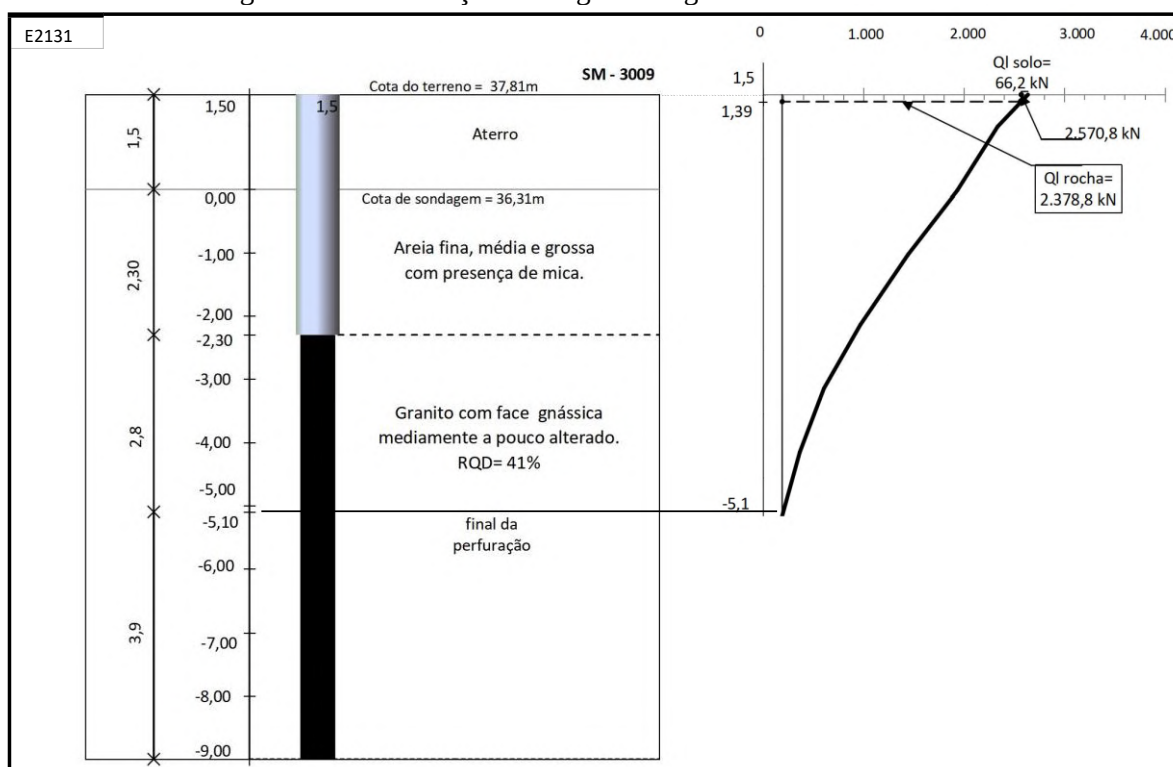


Figura 13 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2132.

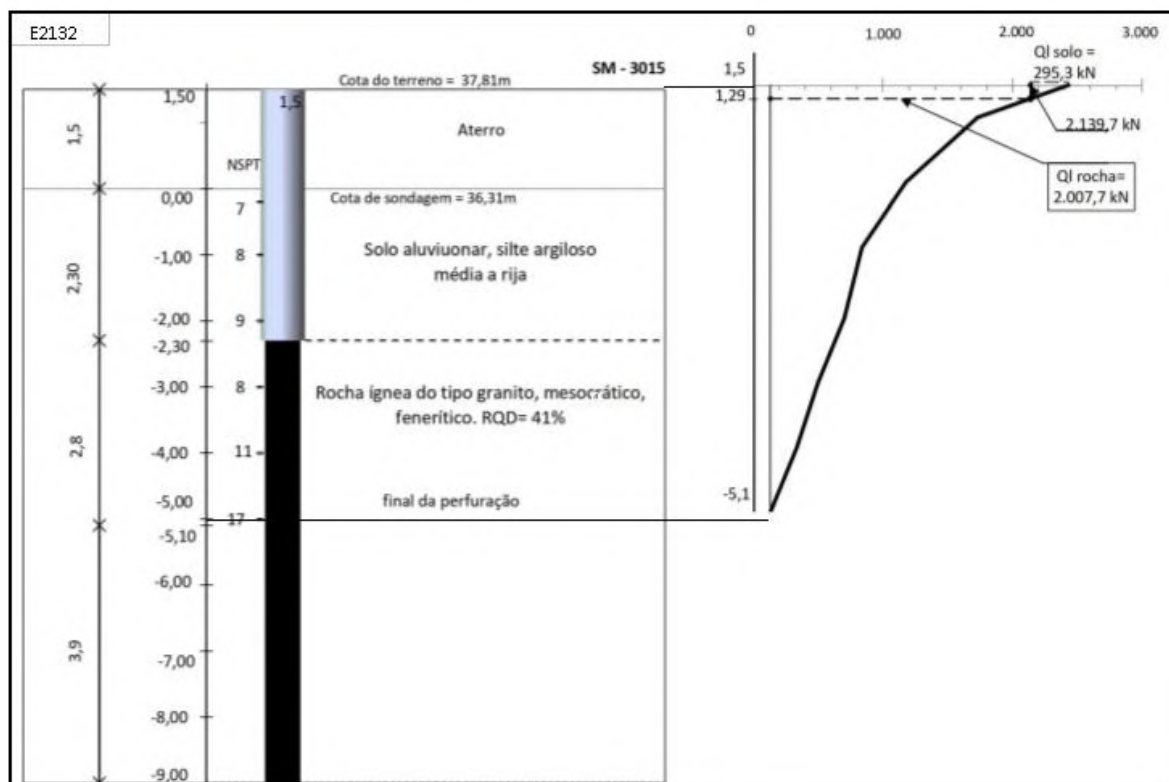


Figura 14 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2133.

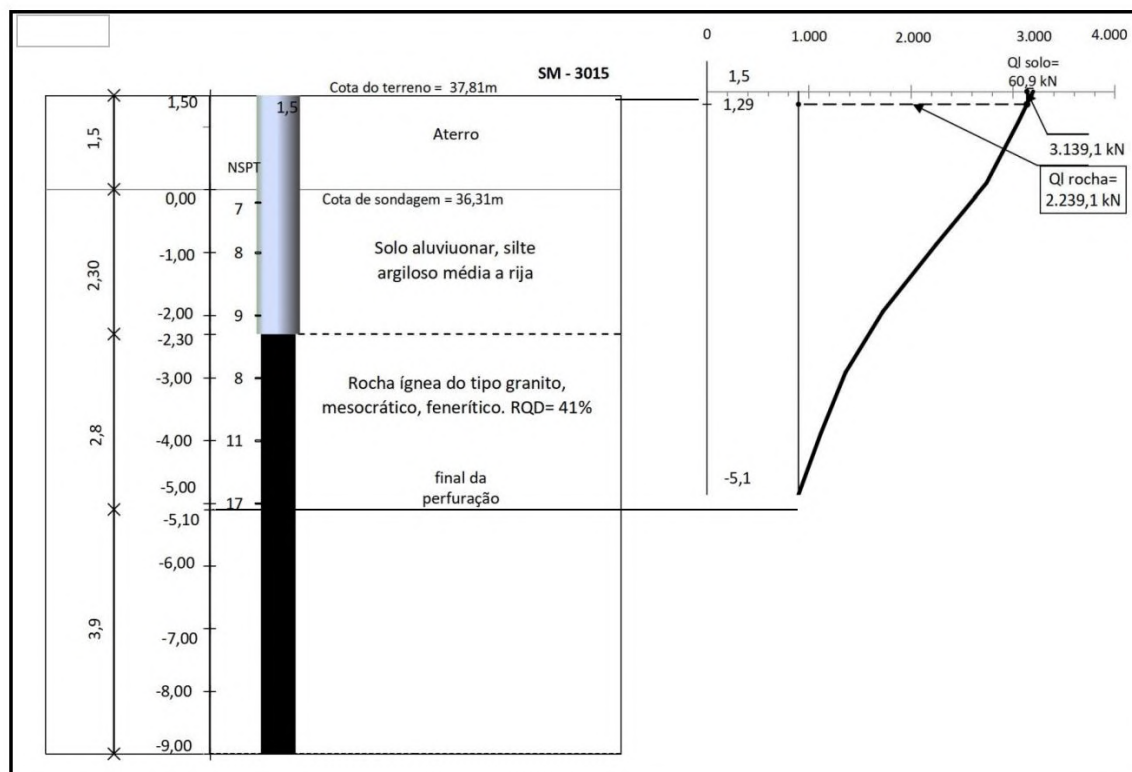


Figura 15 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2134.

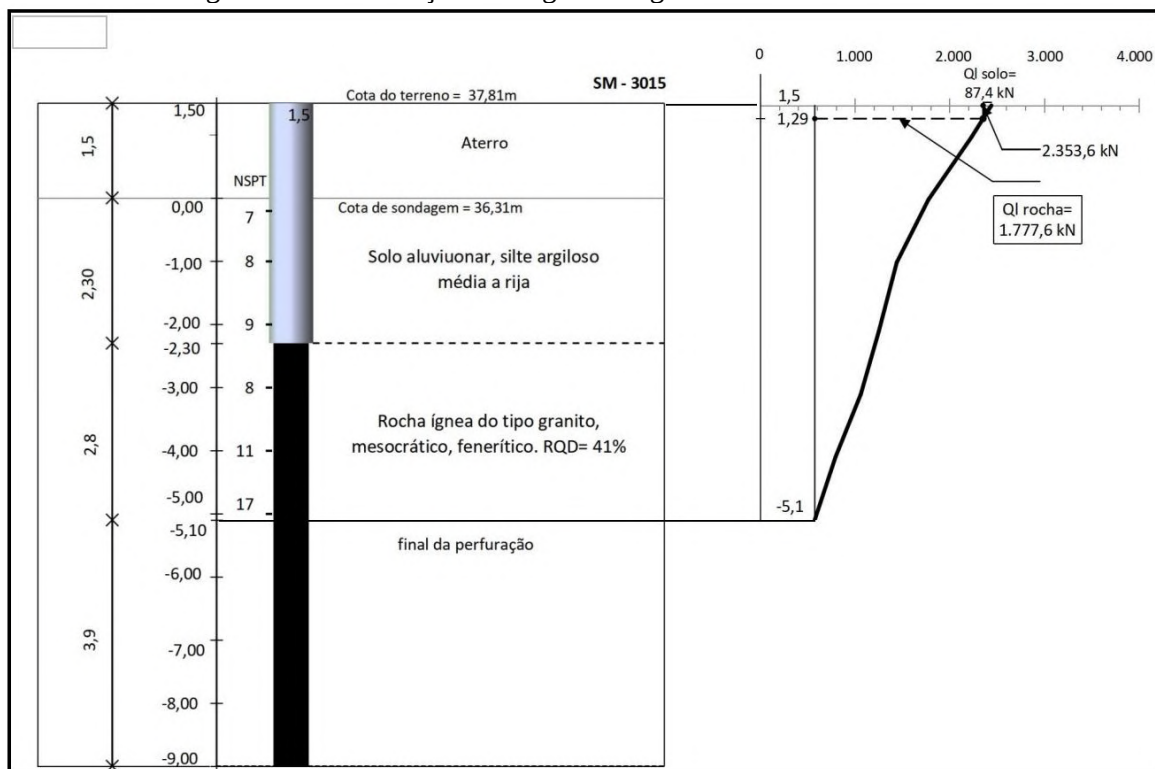


Figura 16 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2066A.

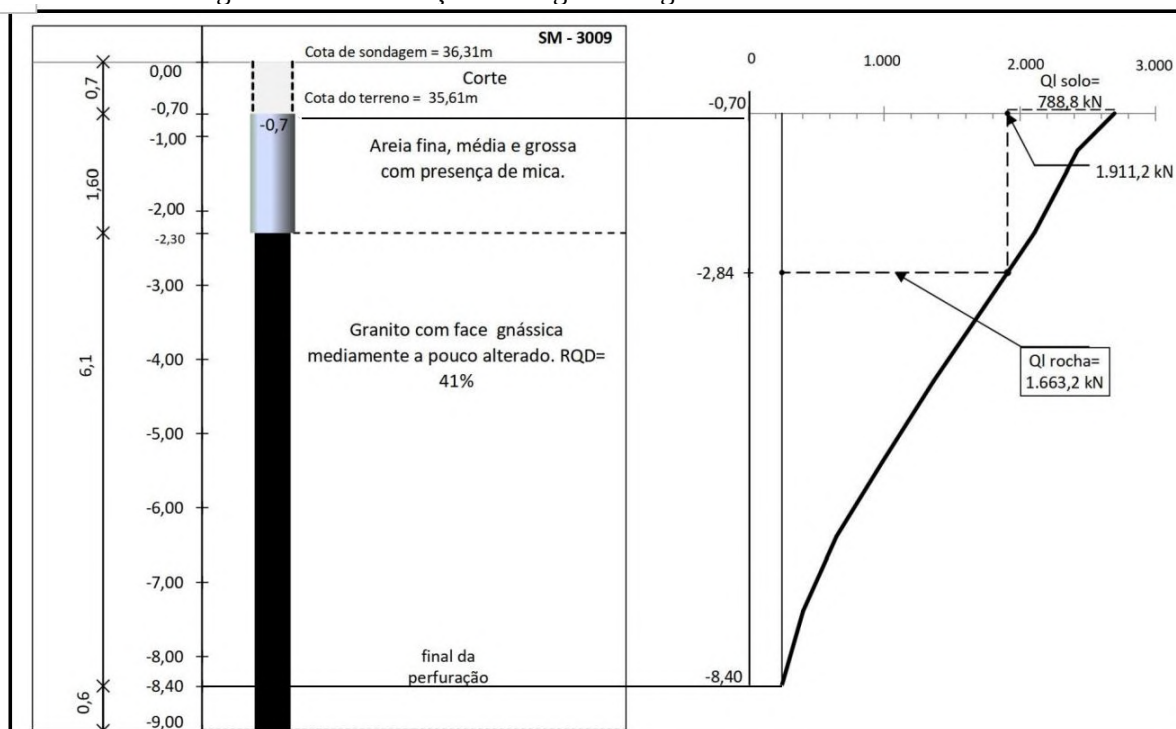


Figura 17 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2072A.

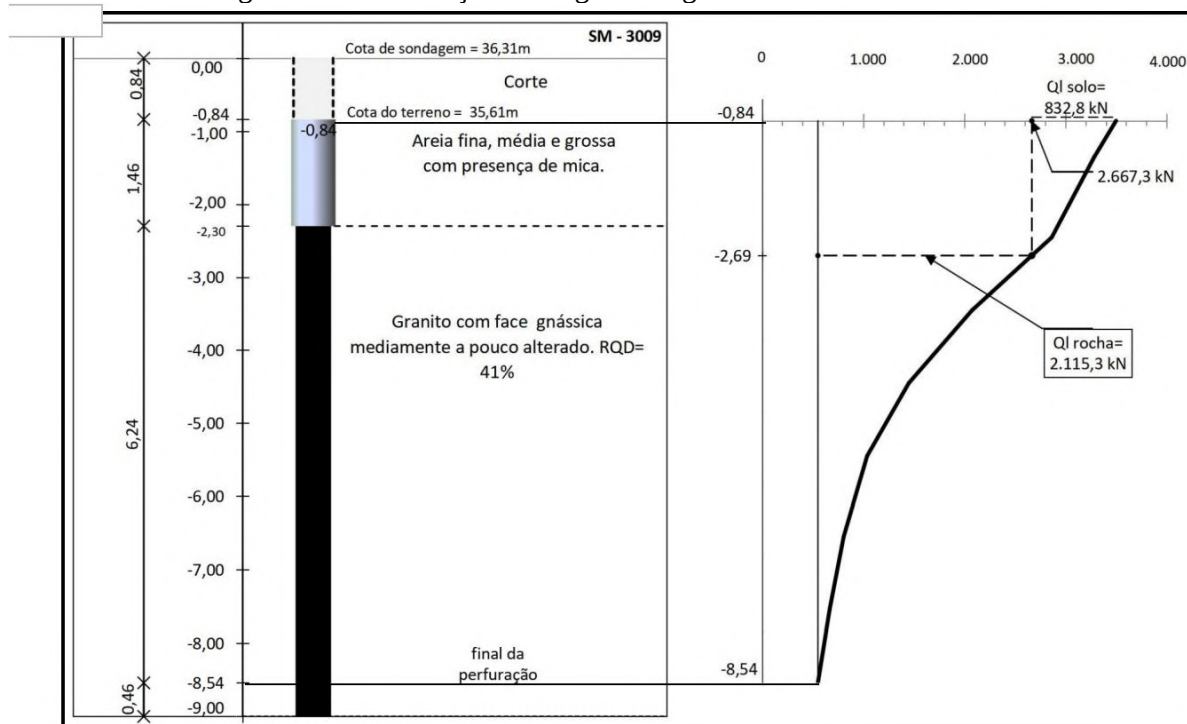


Figura 18 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2094A.

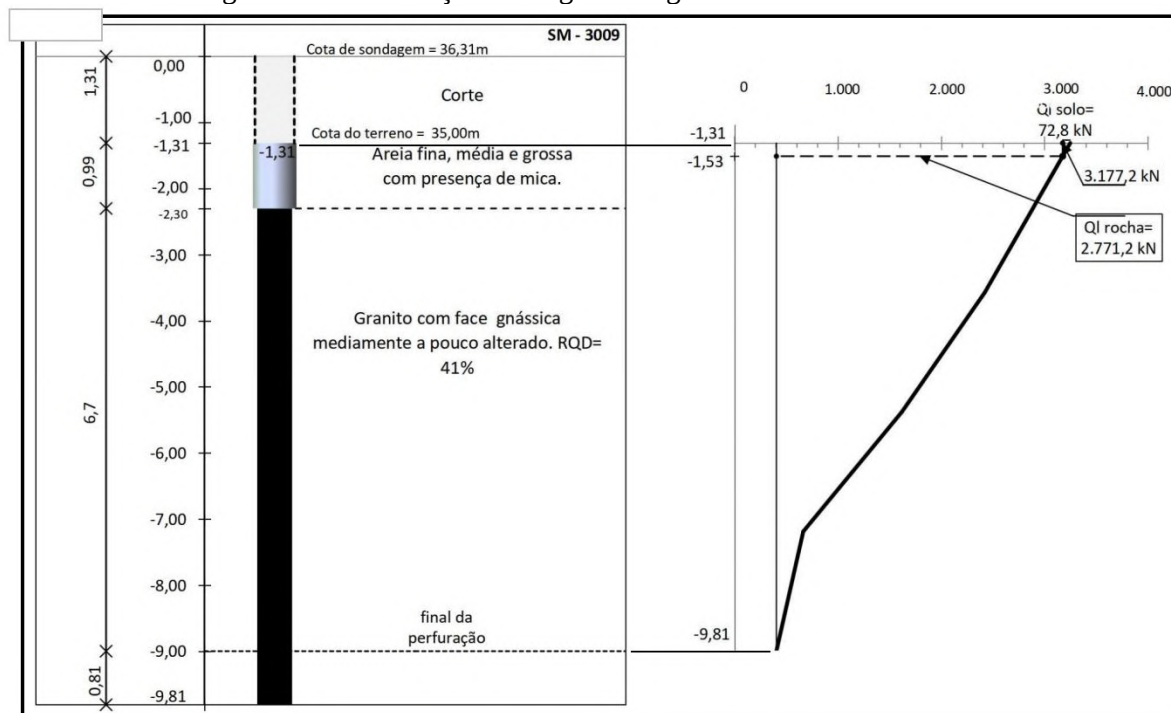


Figura 19 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2118

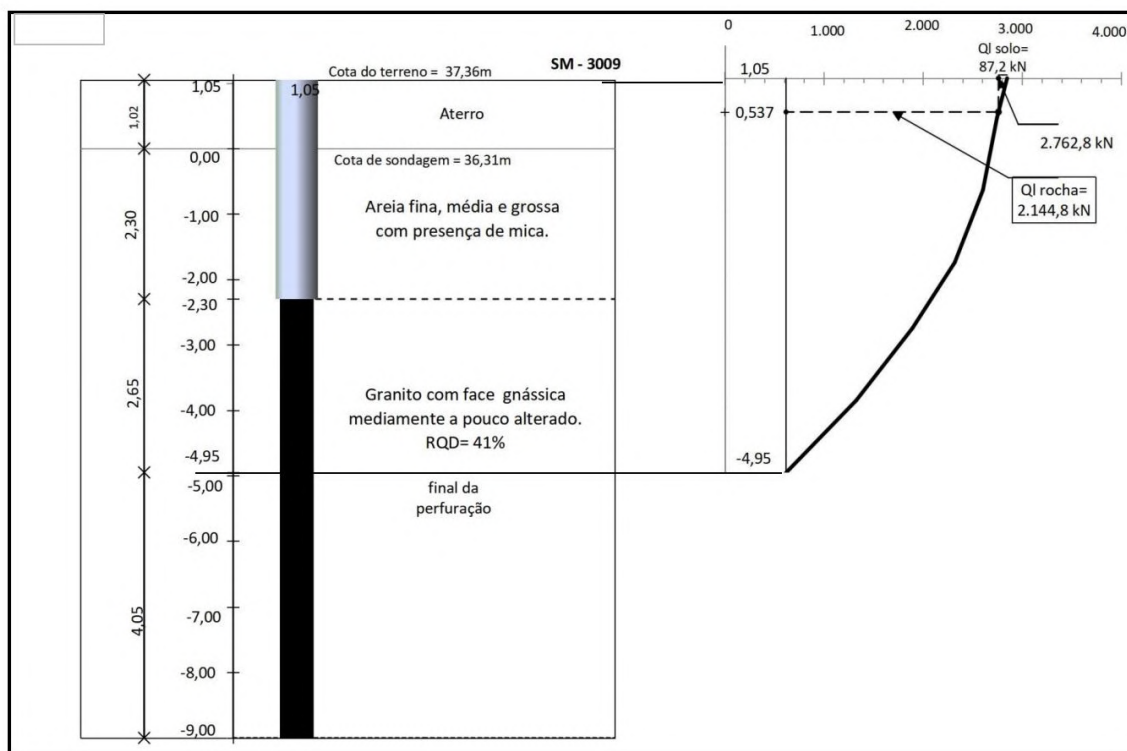


Figura 20 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2059A

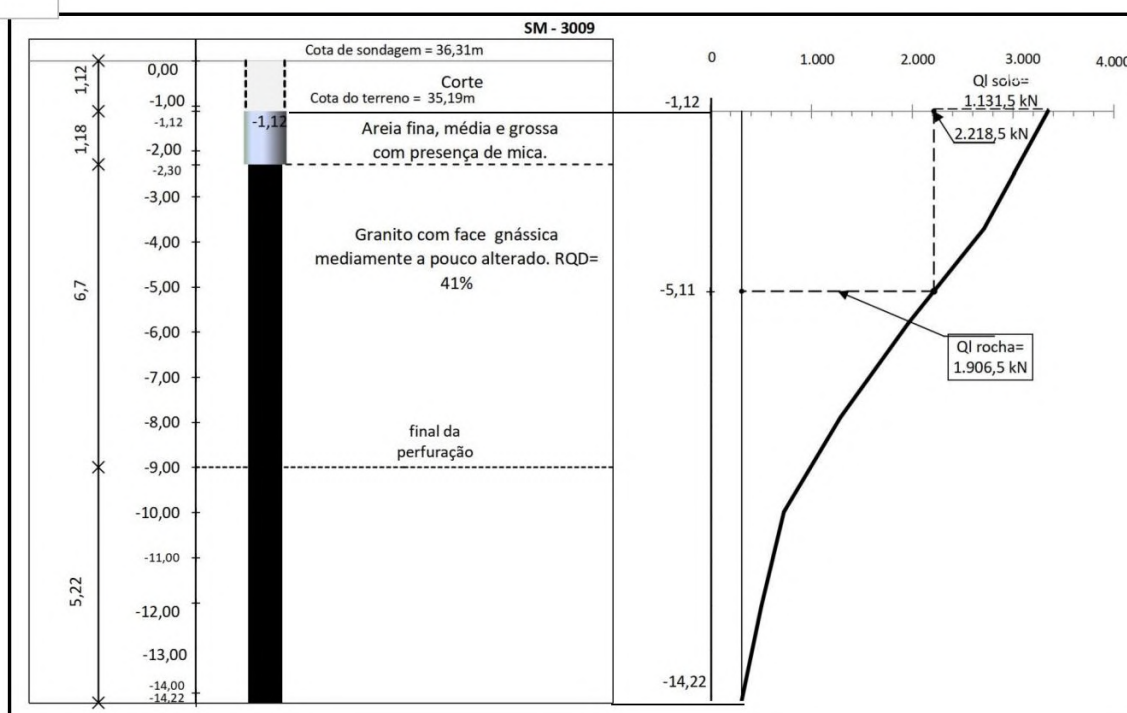


Figura 21 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2064A

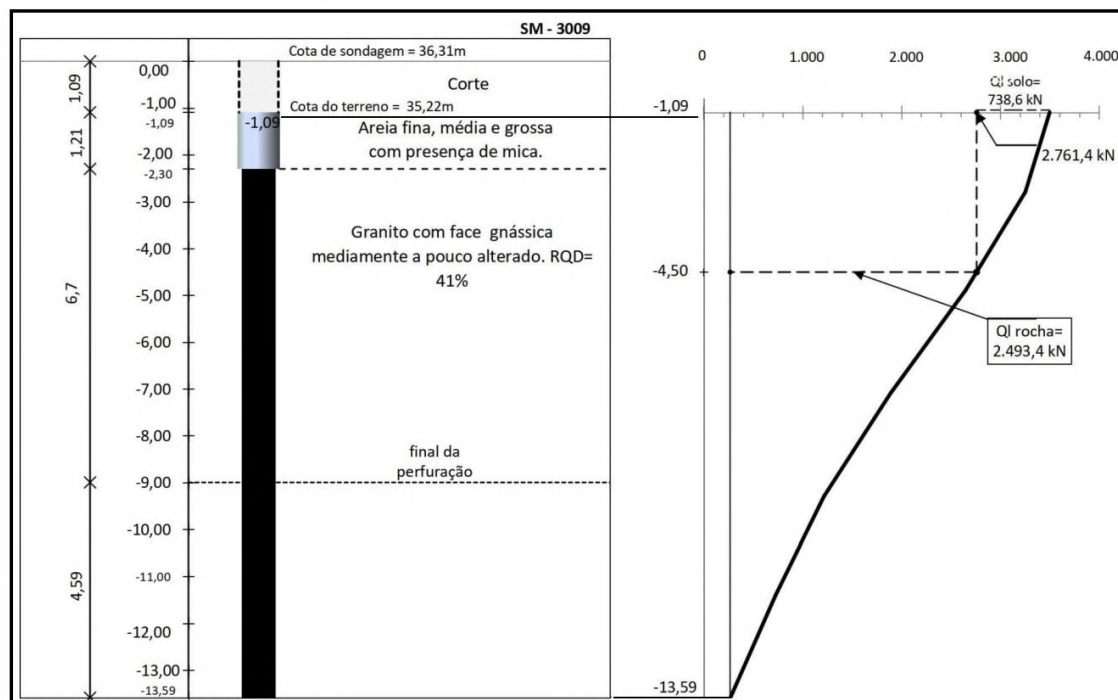


Figura 22 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2087B.

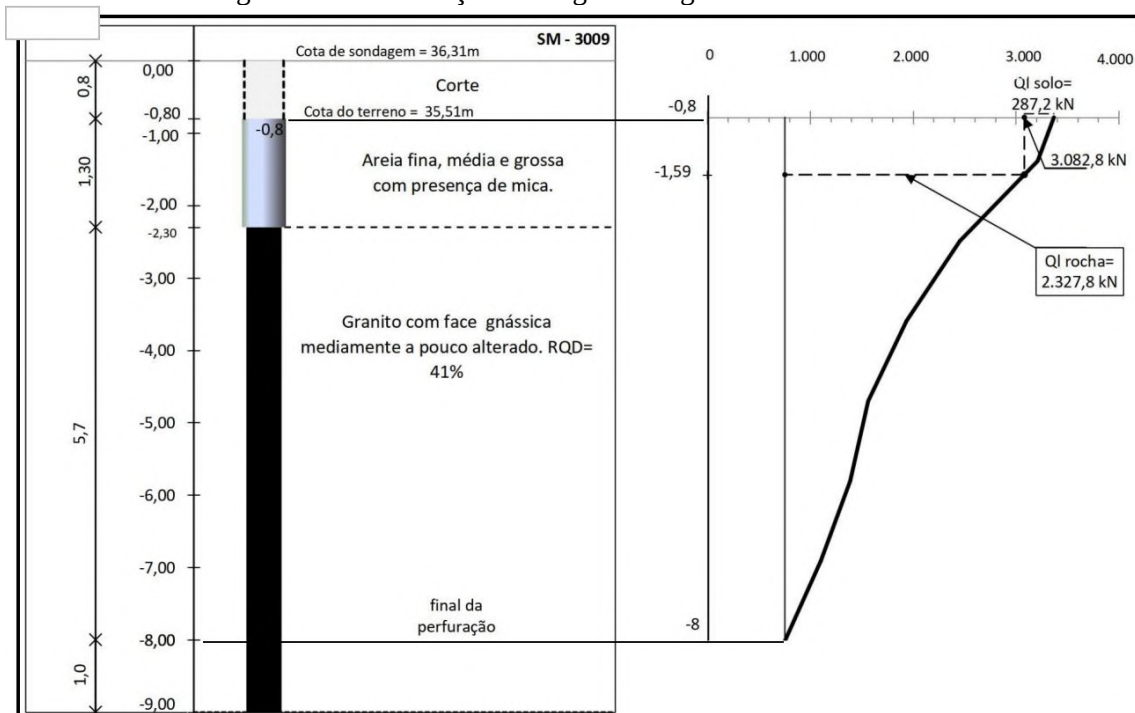


Figura 23 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2111.

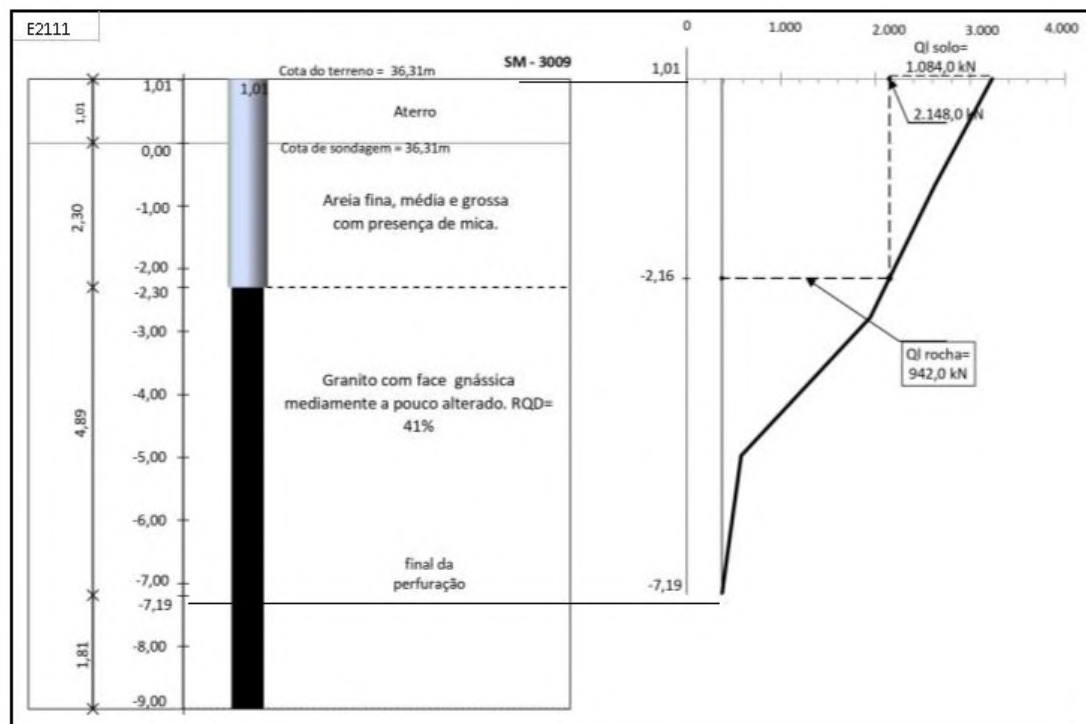


Figura 24 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2112

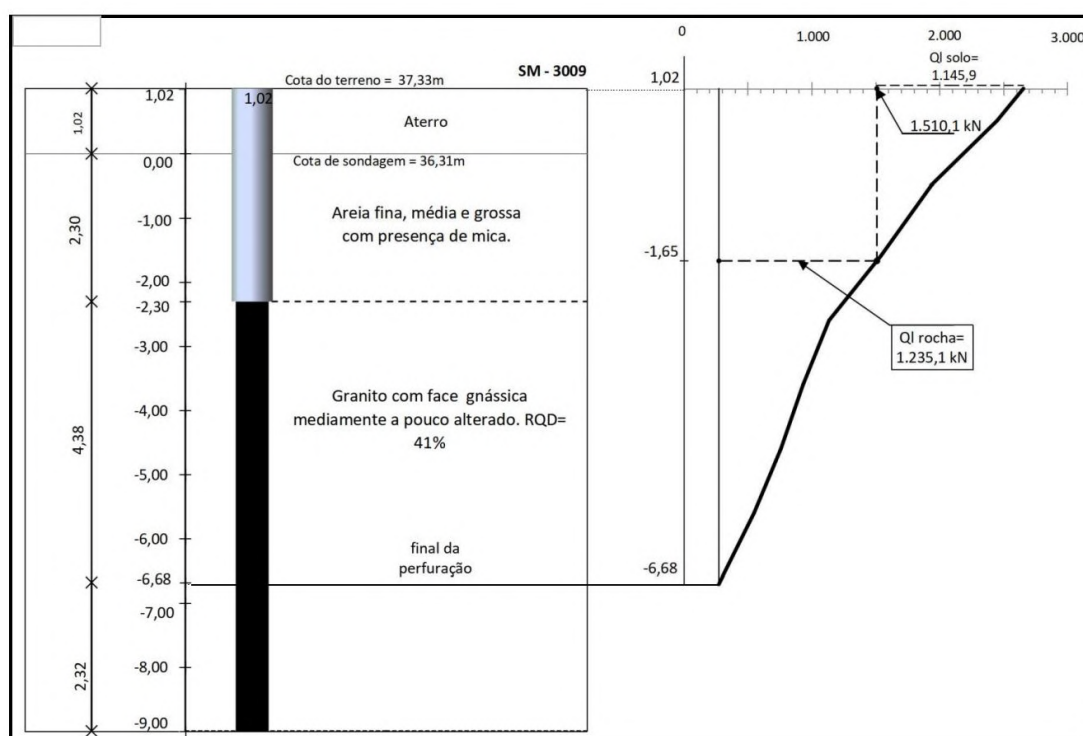


Figura 25 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2105.

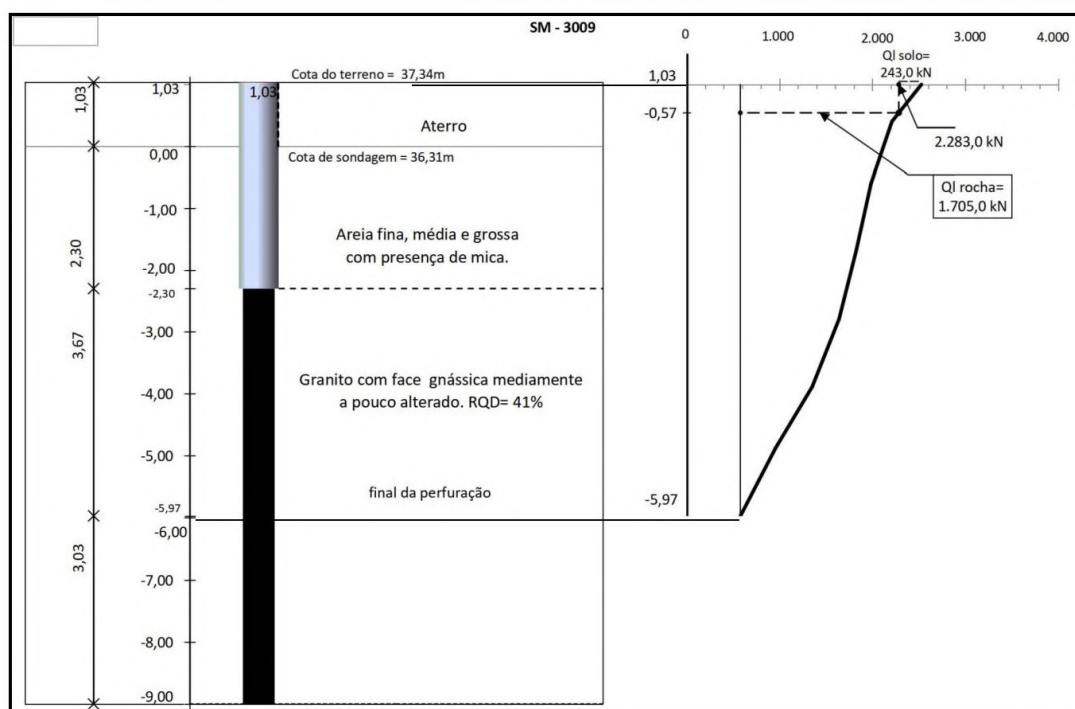


Figura 26 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2108A.

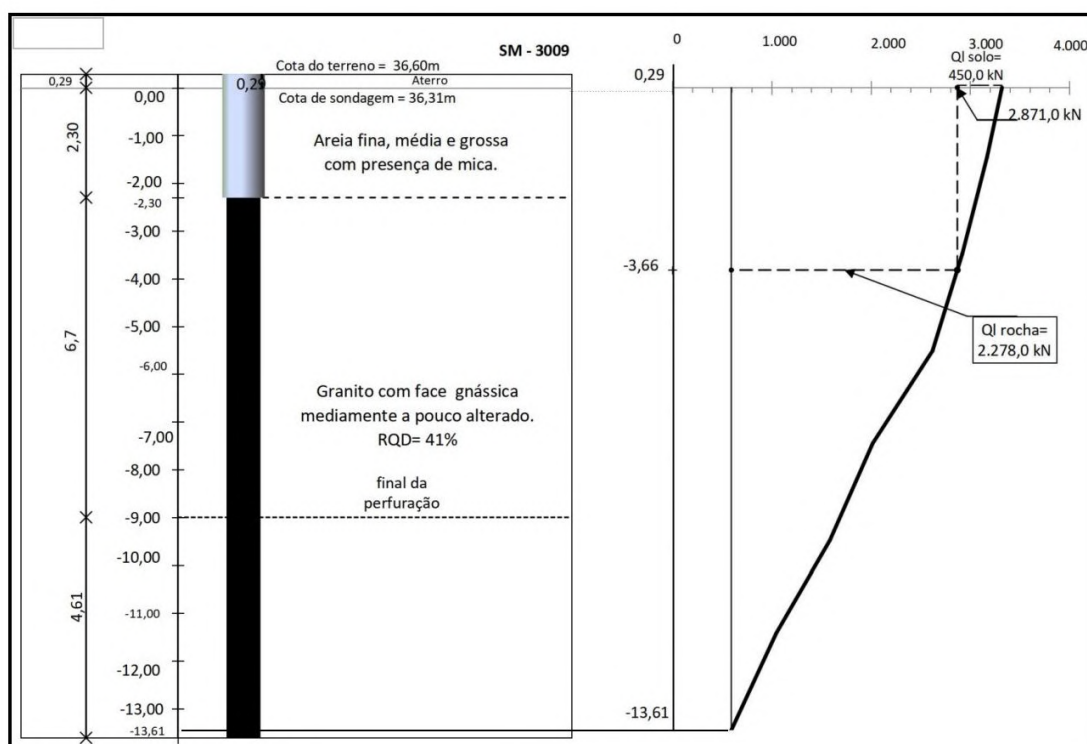


Figura 27 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2032B.

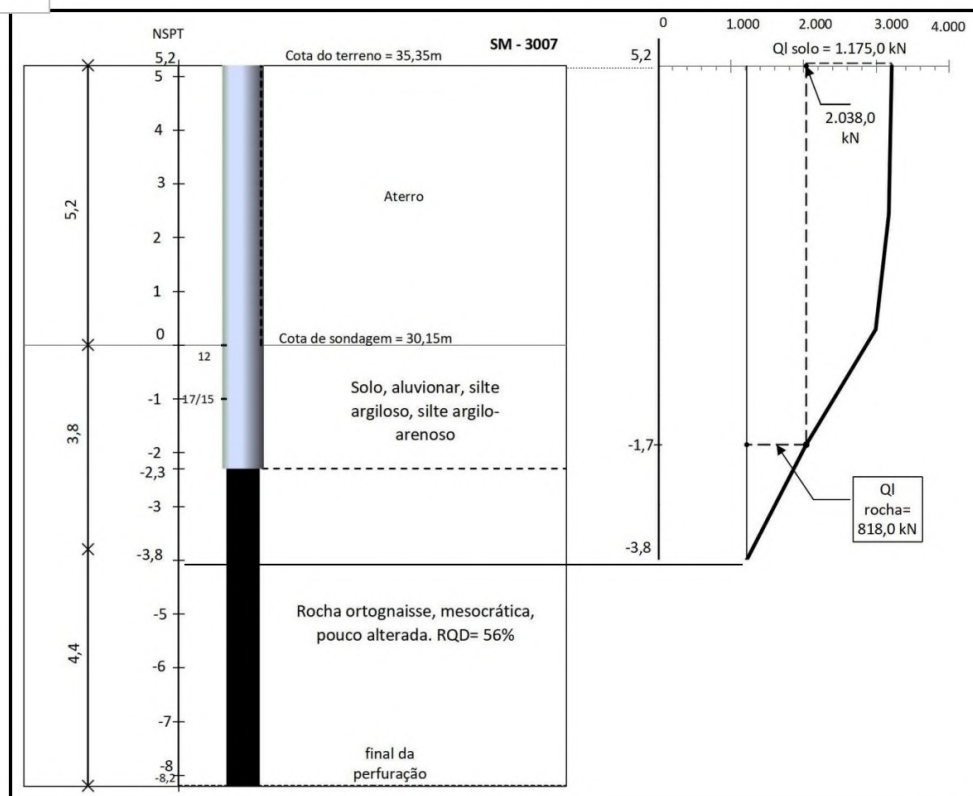


Figura 28 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2033A

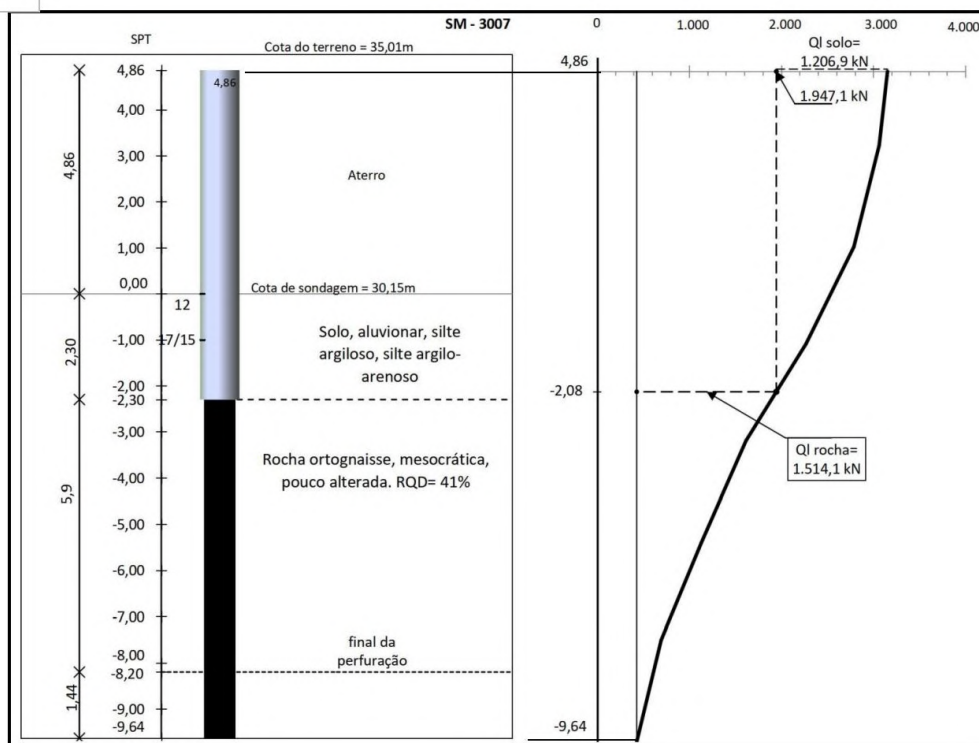


Figura 29 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2057A.

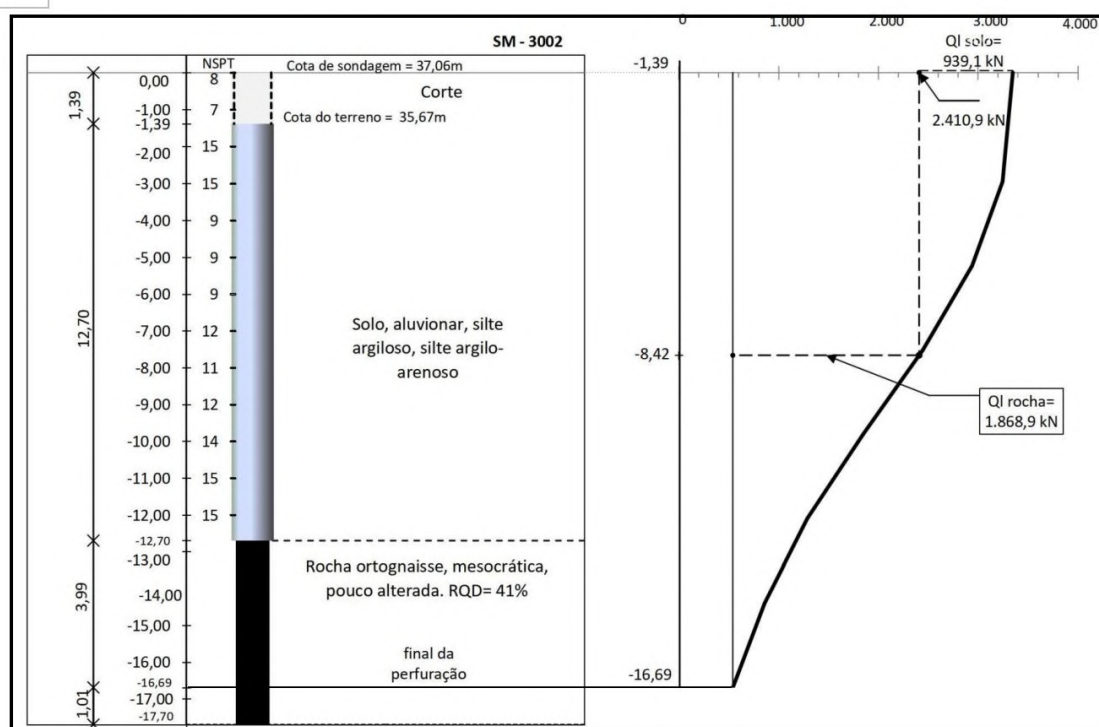


Figura 30 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2079A.

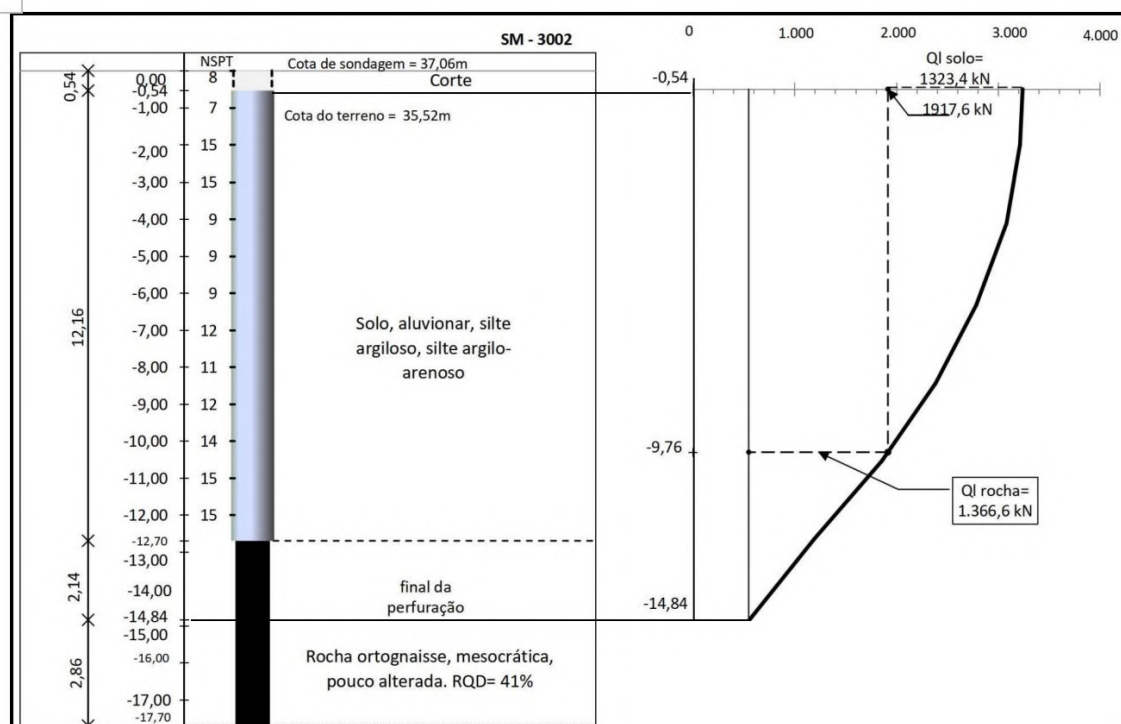


Figura 31 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2127A.

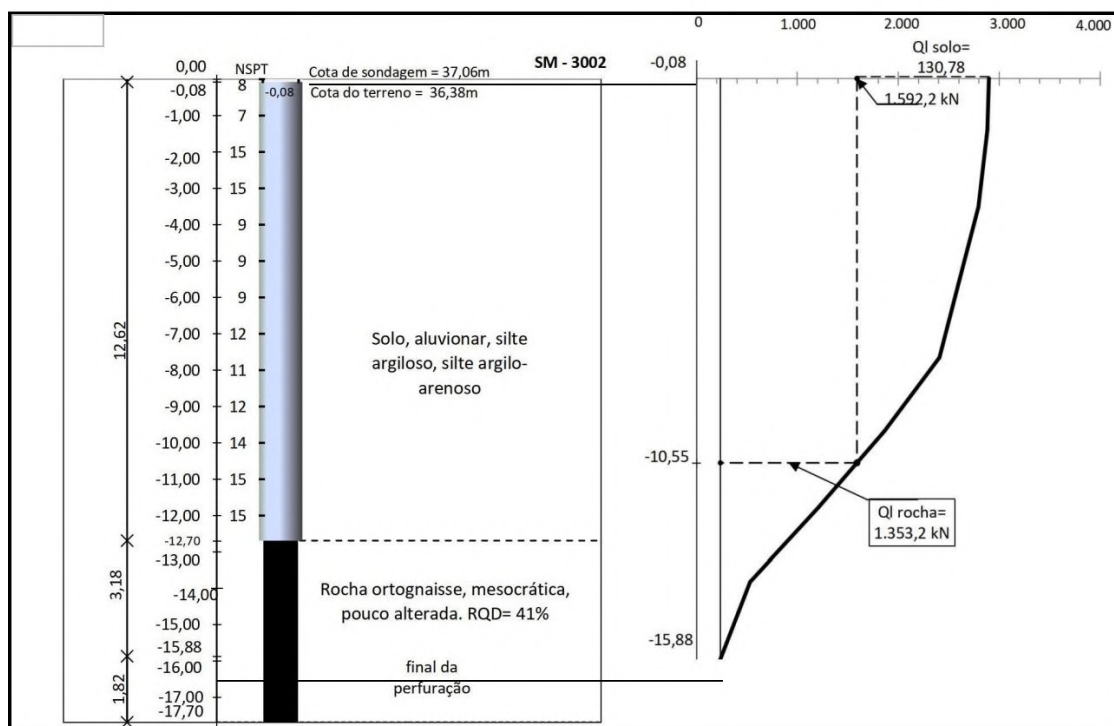


Figura 32 - Distribuição da carga ao longo da estaca E44B.

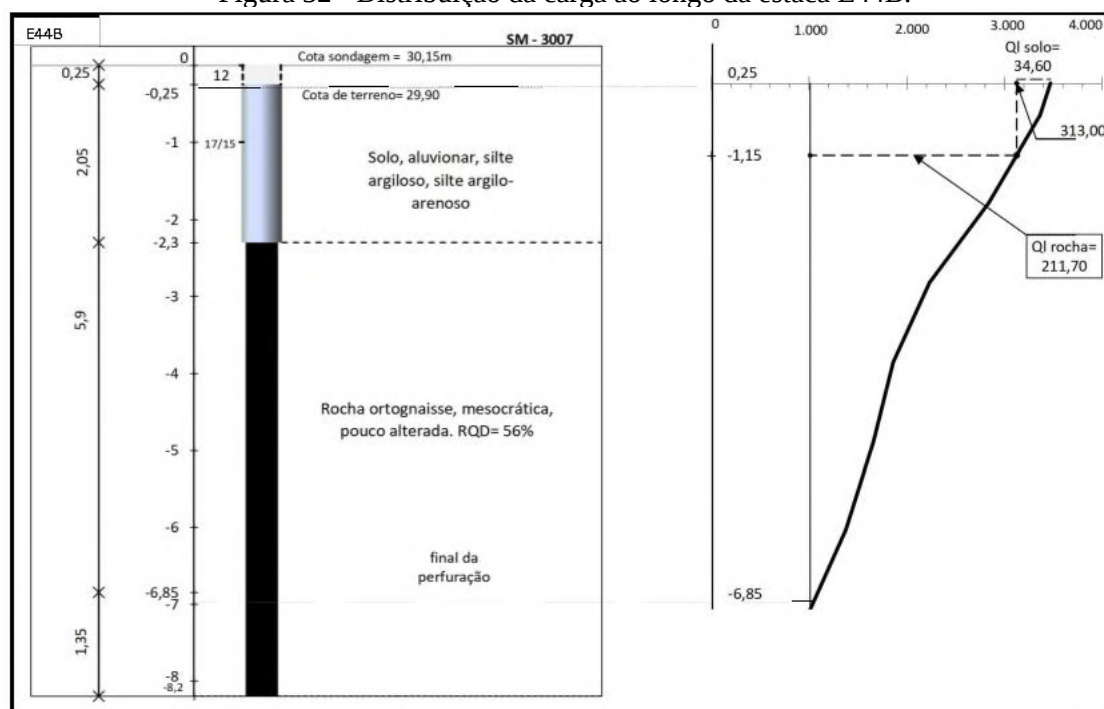


Figura 33 - Distribuição da carga ao longo da estaca E49A.

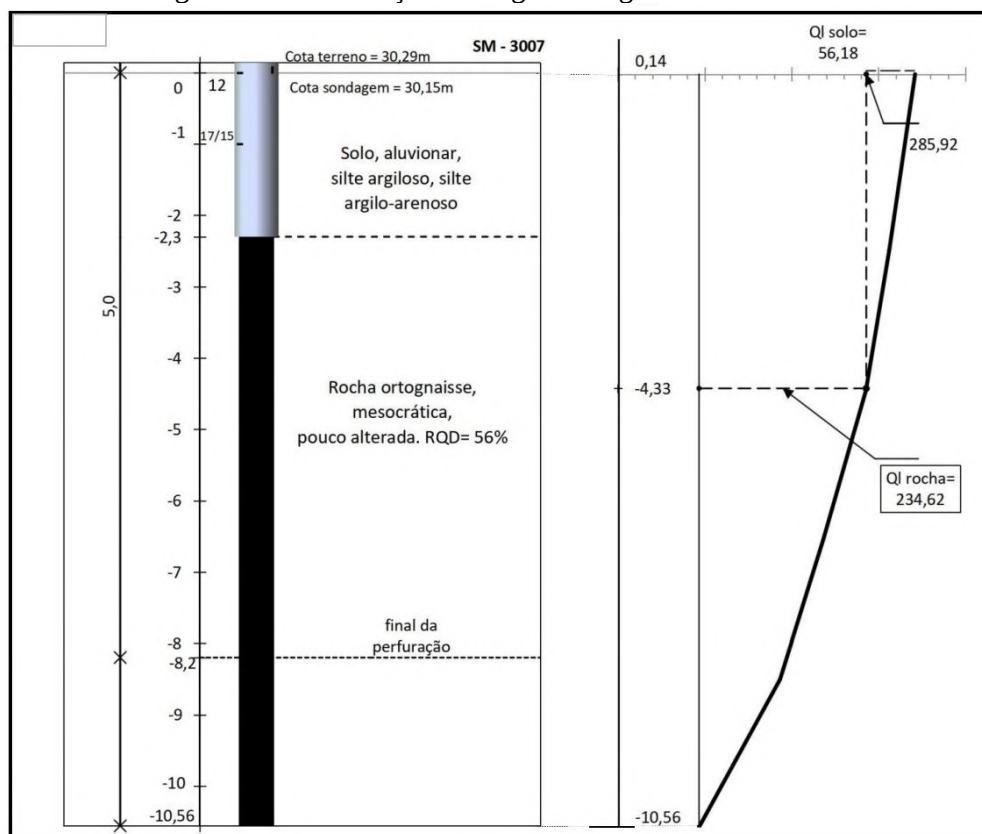


Figura 34 - Distribuição da carga ao longo da estaca E54A.

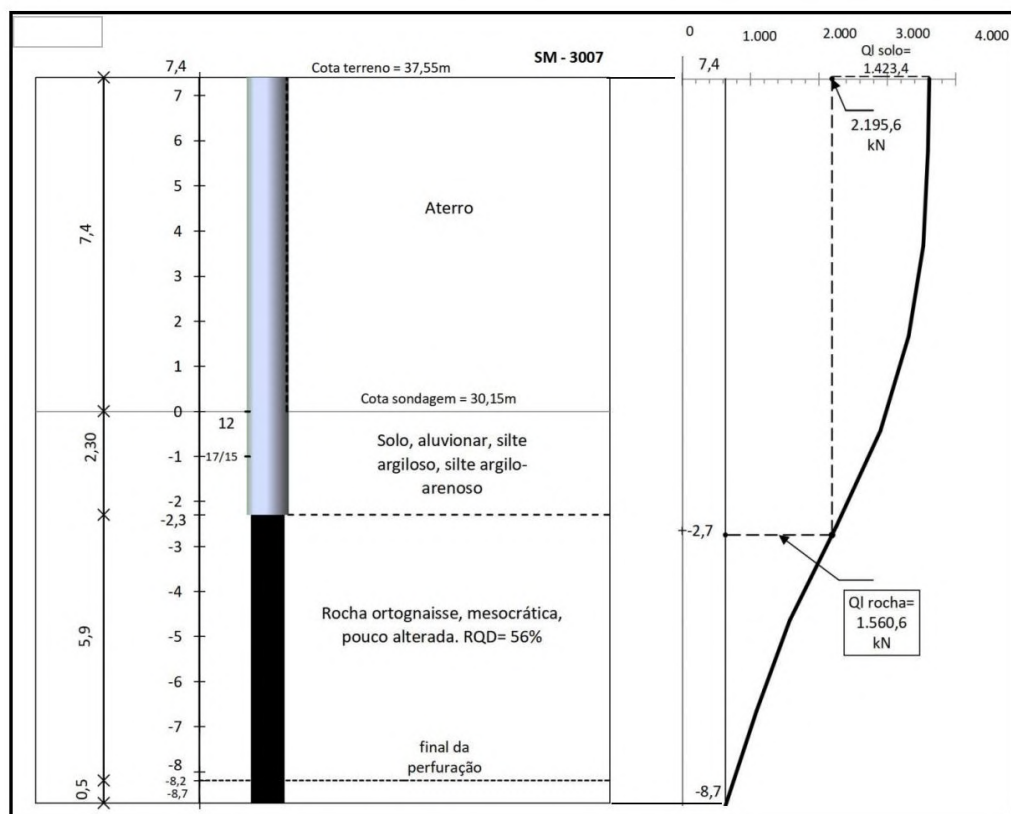


Figura 35 - Distribuição da carga ao longo da estaca E37A.

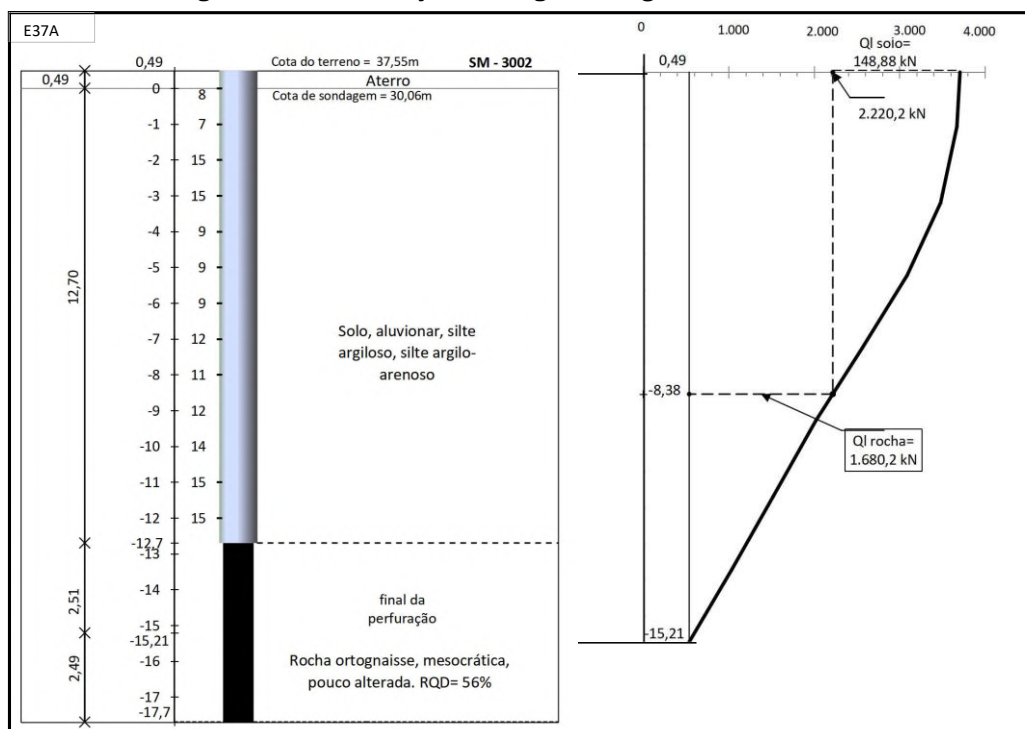


Figura 36 - Distribuição da carga ao longo da estaca E42A.

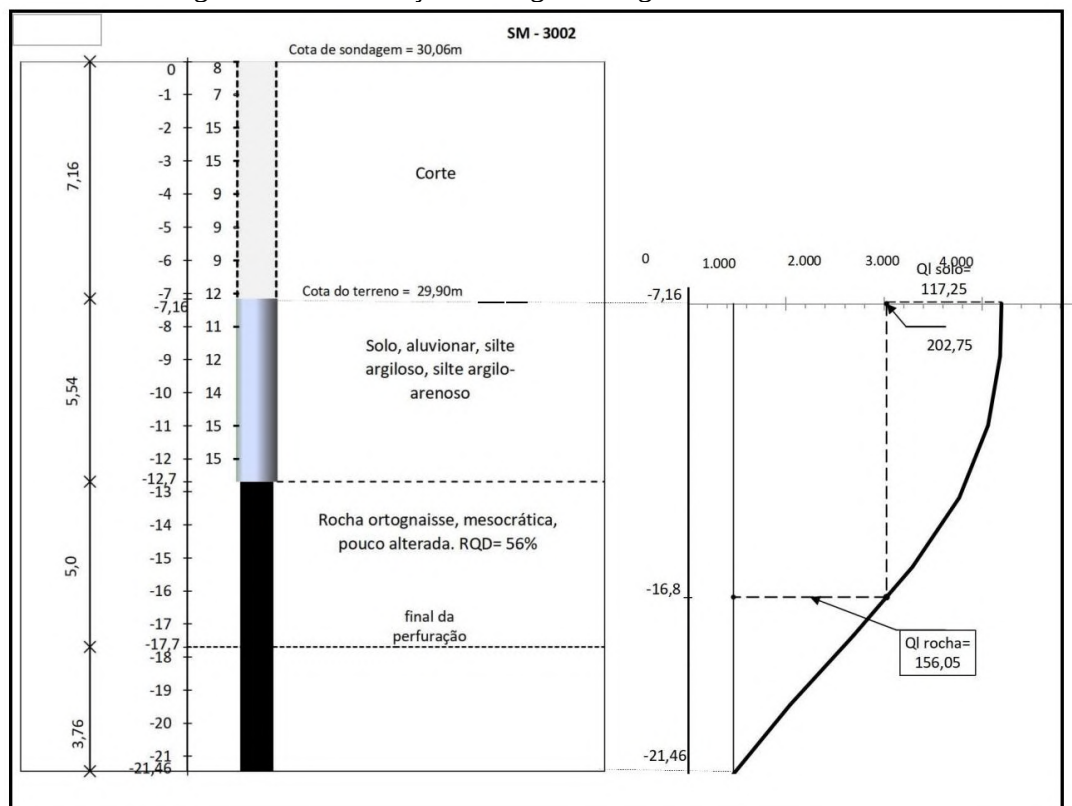


Figura 37 - Distribuição da carga ao longo da estaca 79A.

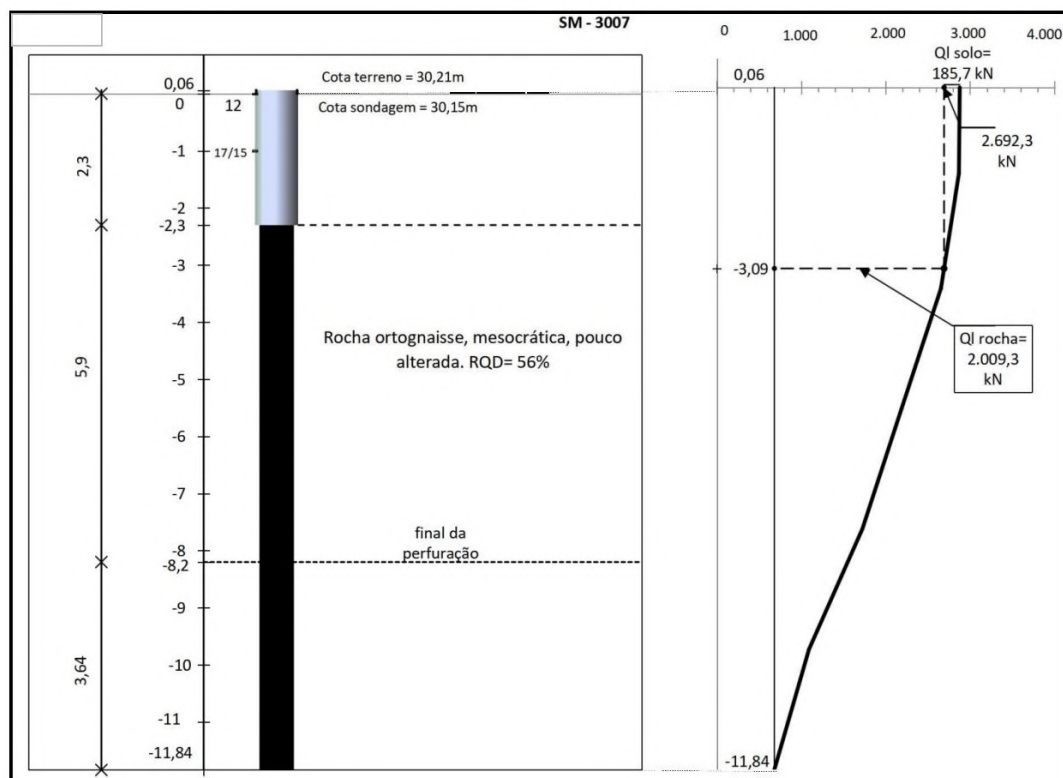


Figura 38 - Distribuição da carga ao longo da estaca E80A

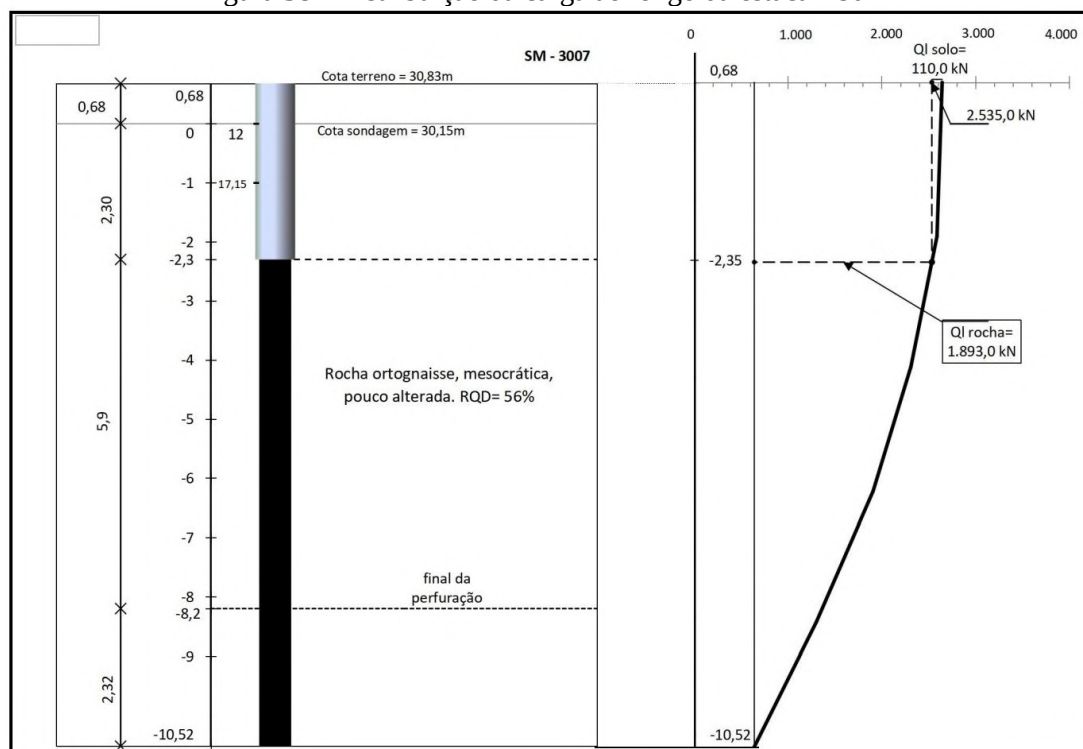


Figura 39 - Distribuição da carga ao longo da estaca E84A.

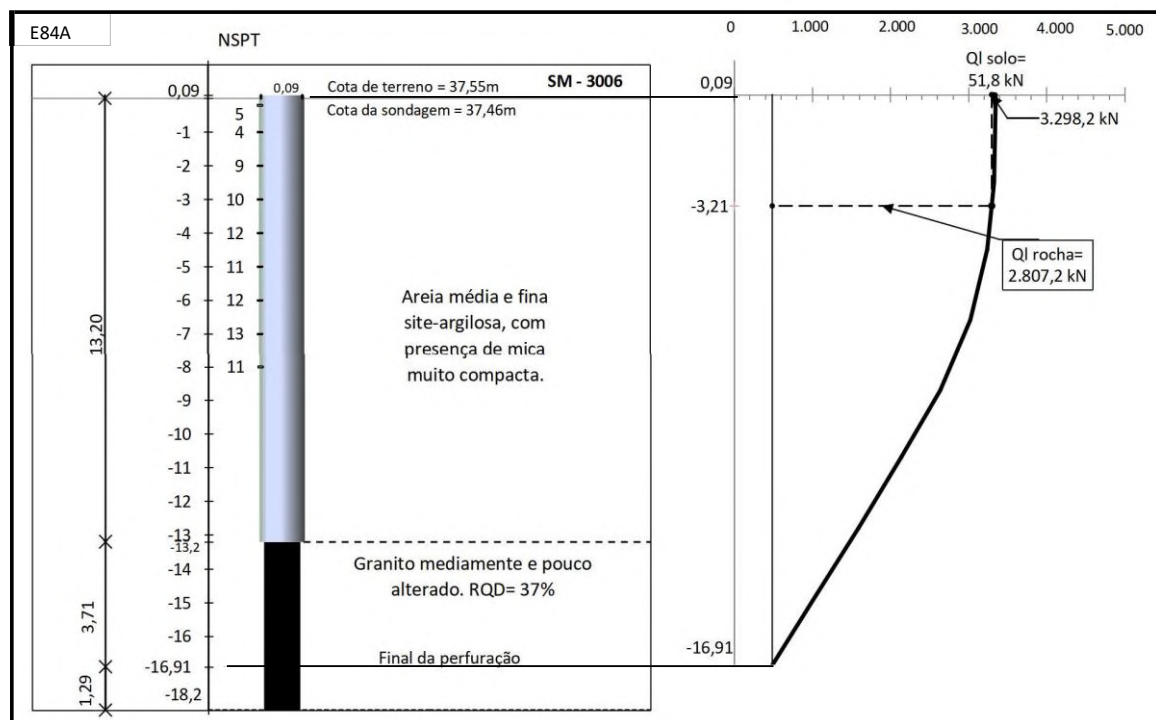


Figura 40 - Distribuição da carga ao longo da estaca E85A.

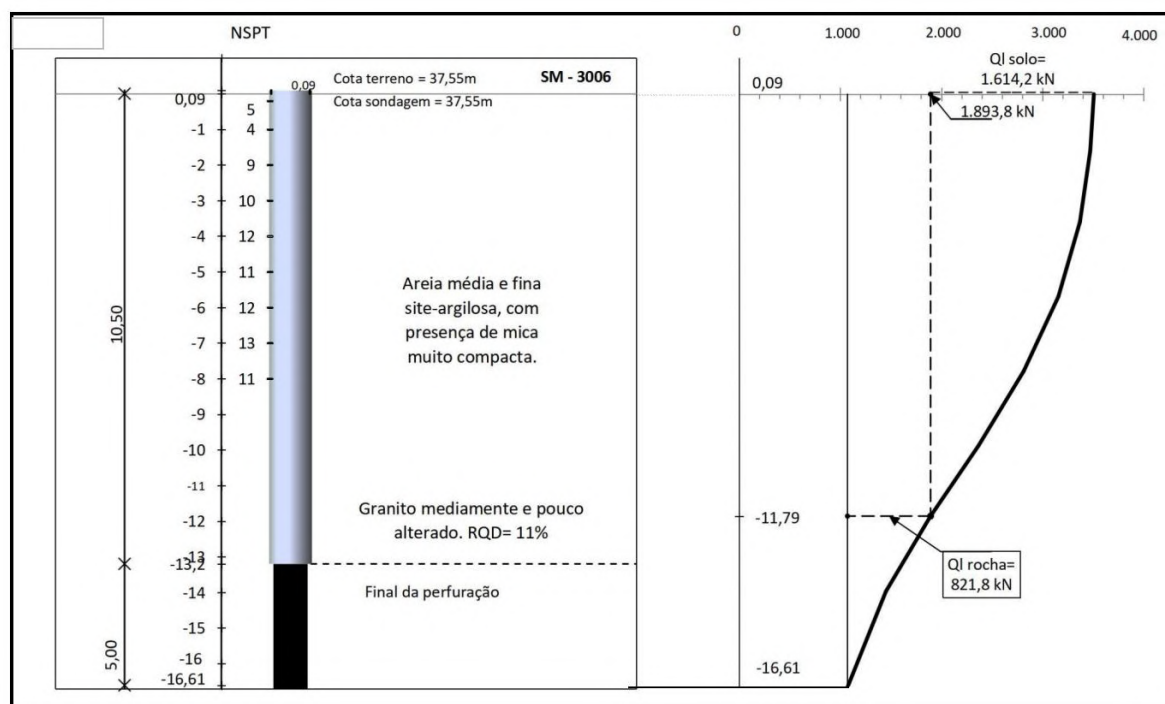


Figura 41 - Distribuição da carga ao longo da estaca E90A.

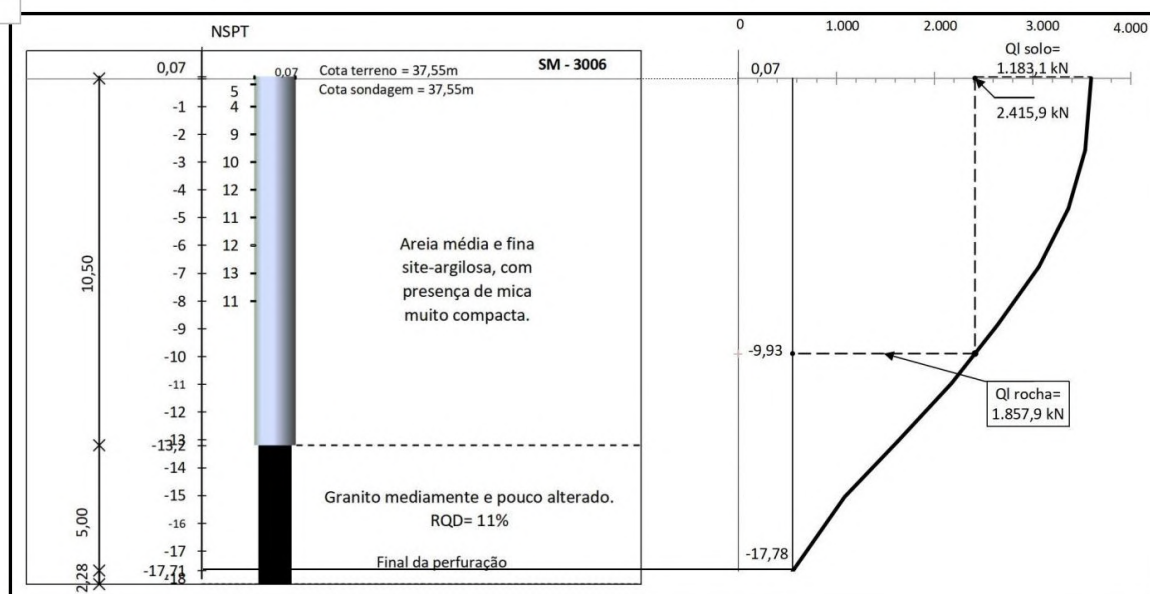


Figura 42 - Distribuição da carga ao longo da estaca E104B.

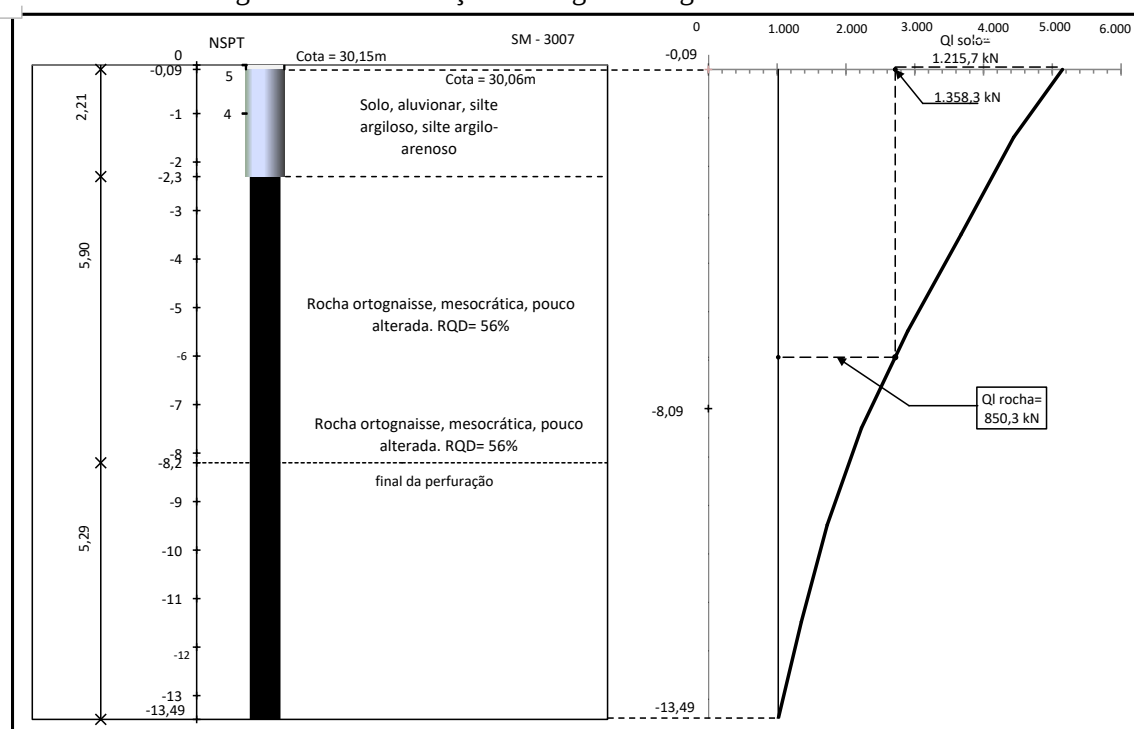


Figura 43 - Distribuição da carga ao longo da estaca E108A.

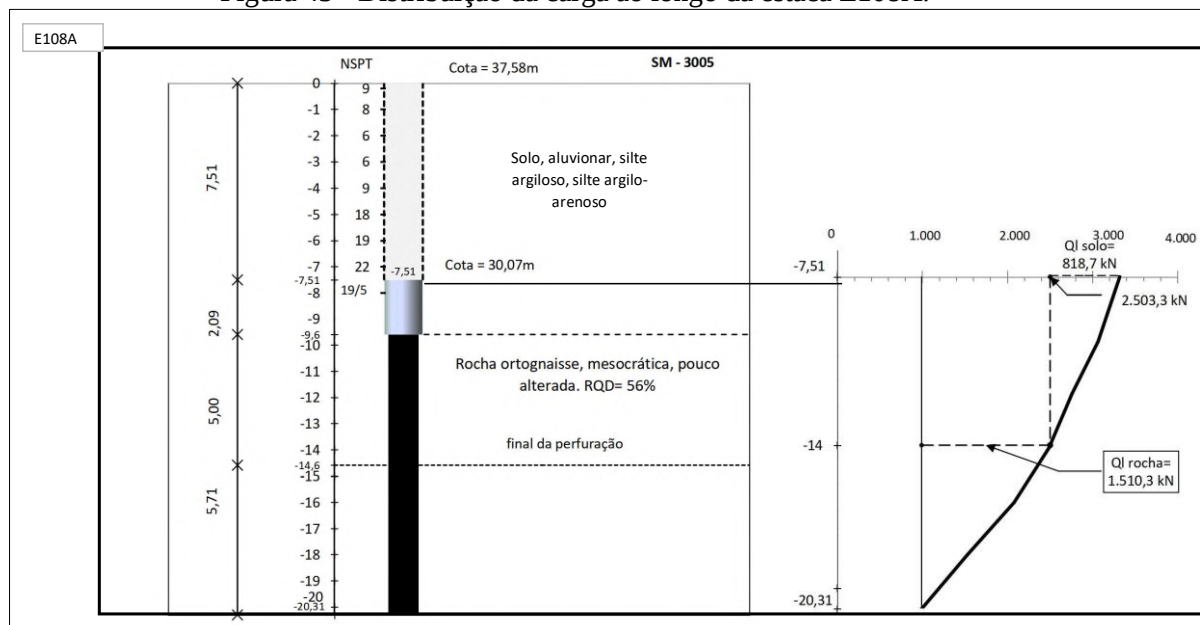


Figura 44 - C E92A.

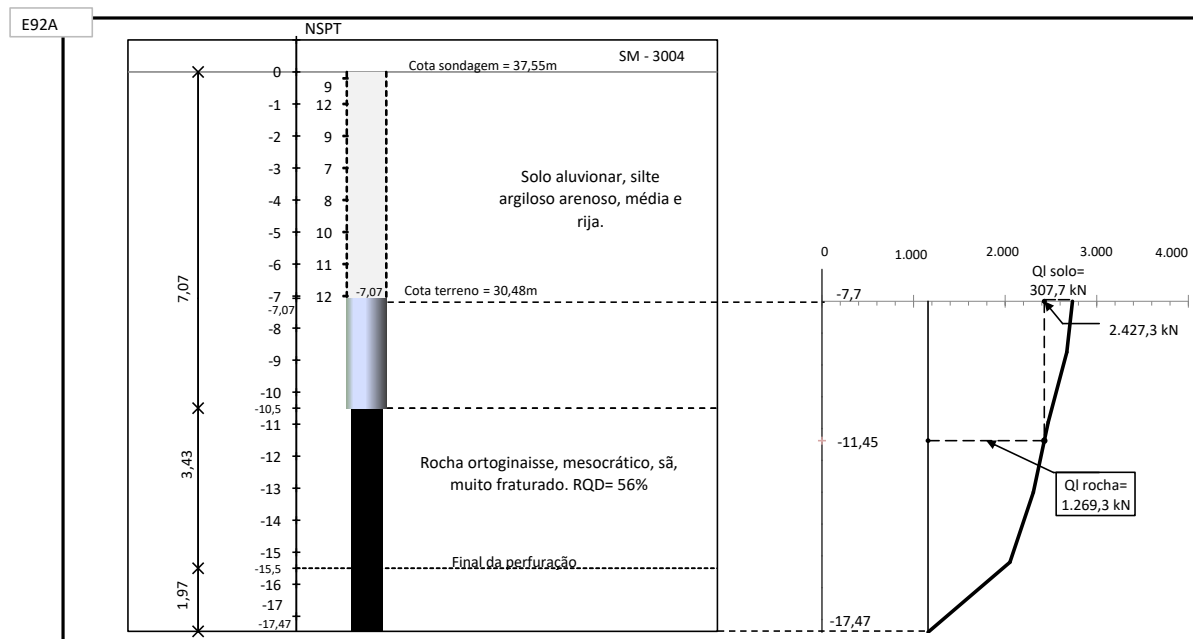


Figura 45 - Distribuição da carga ao longo da estaca E109A.

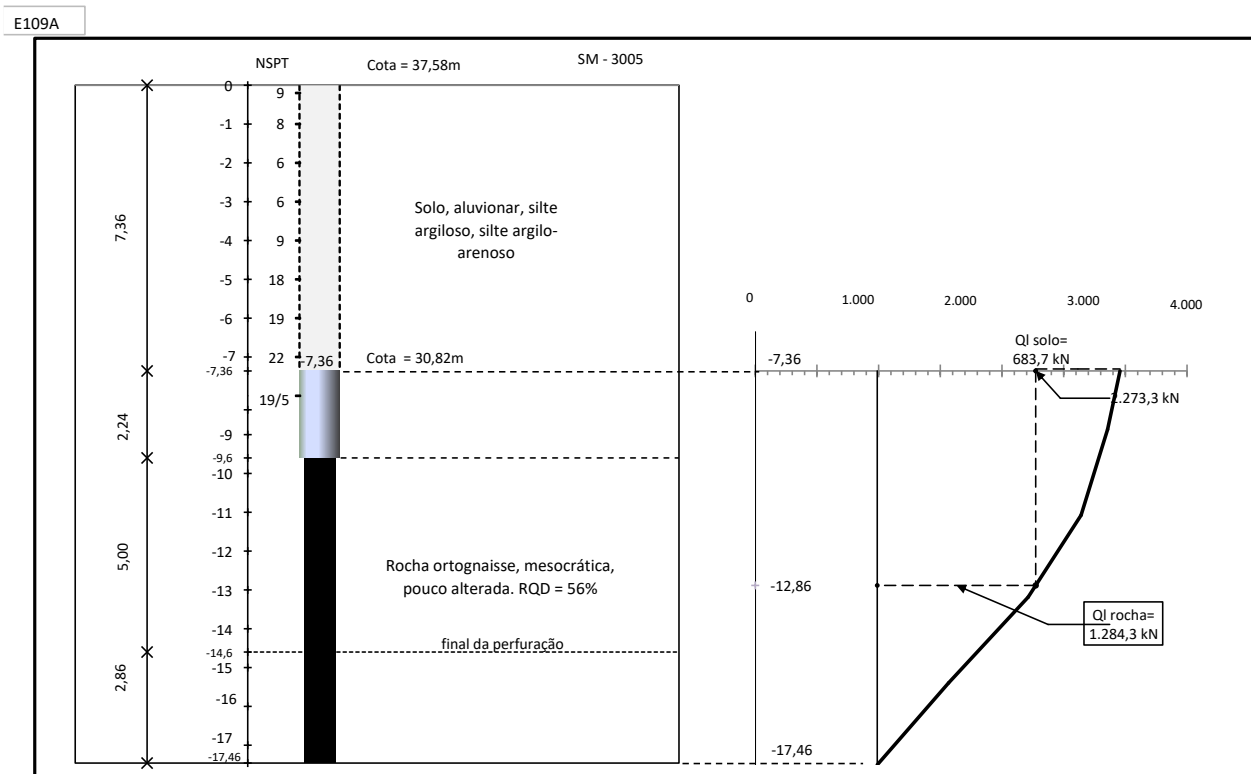


Figura 46 - Distribuição da carga ao longo da estaca E96A.

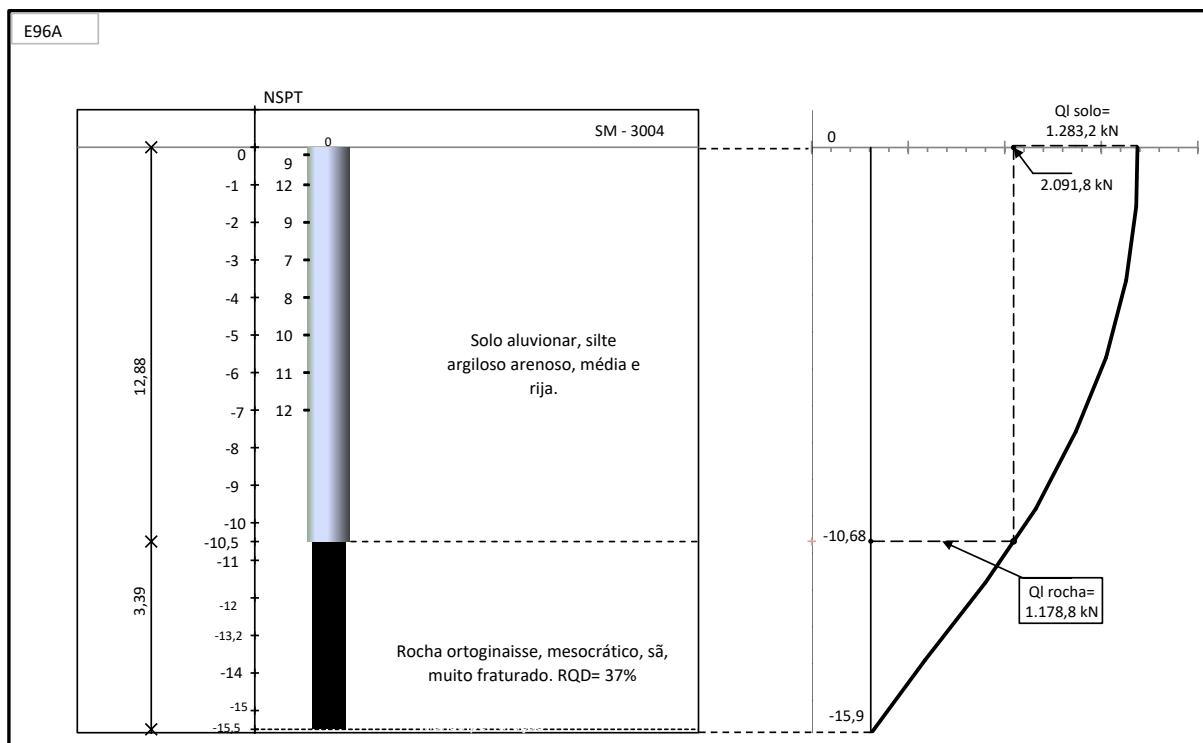


Figura 47 - Distribuição da carga ao longo da estaca E99B.

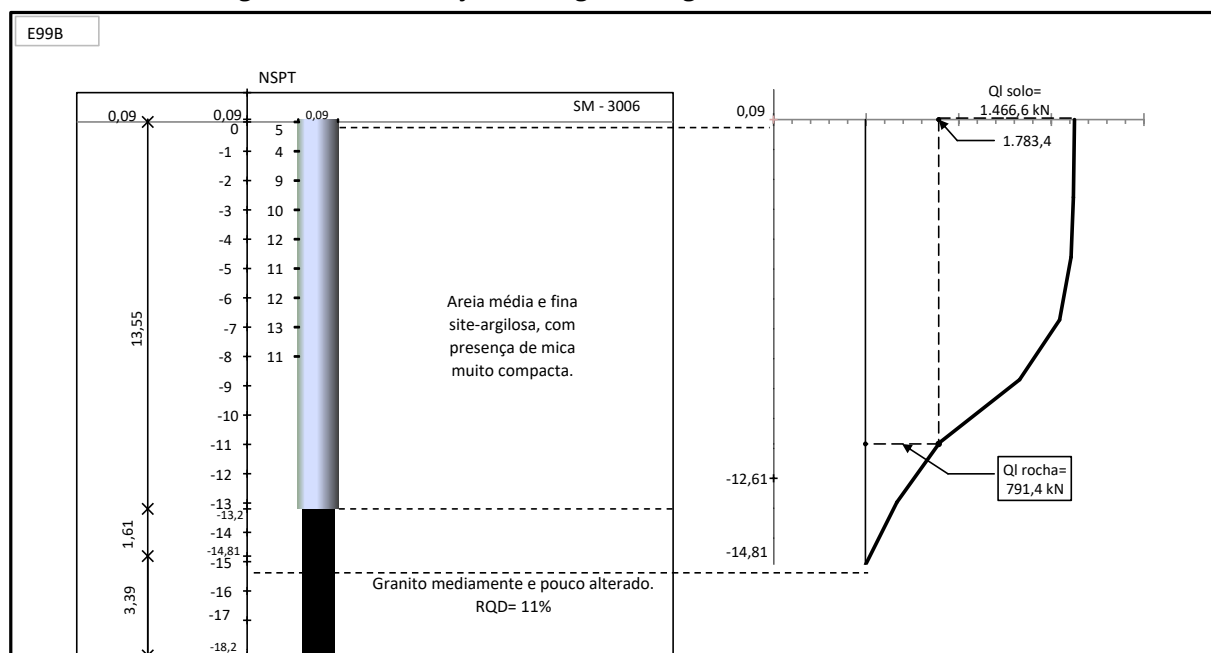


Figura 48 - Distribuição da carga ao longo da estaca E102A.

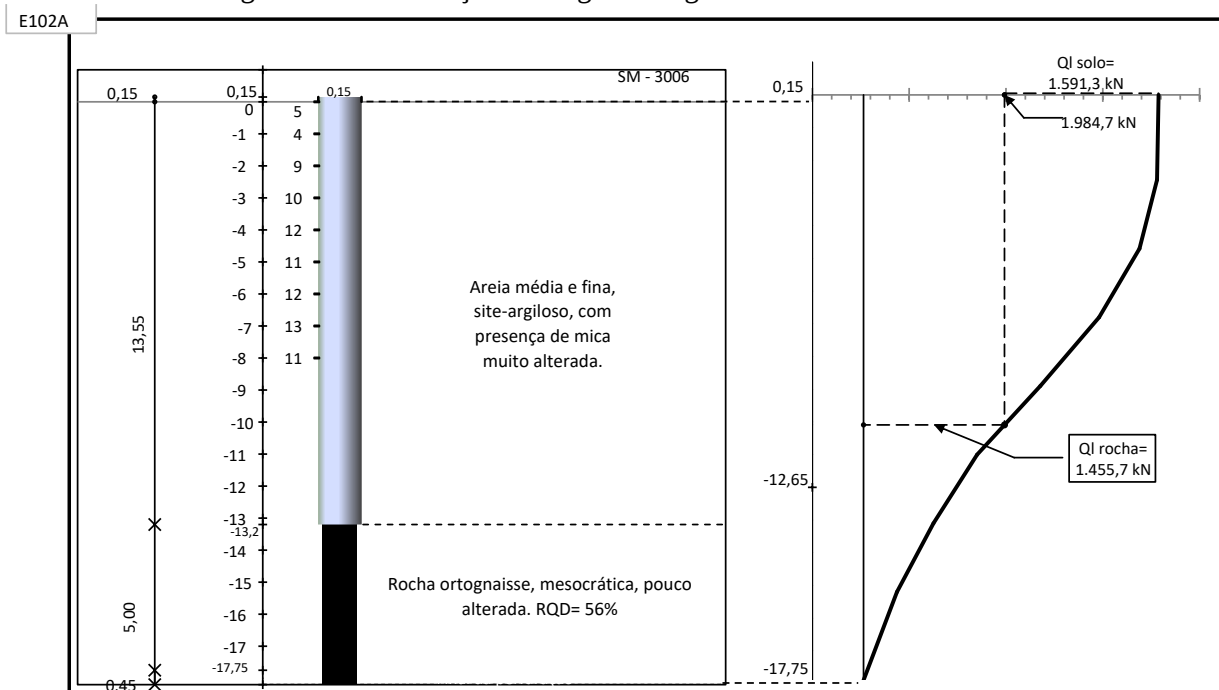


Figura 49 - Distribuição da carga ao longo da estaca E133A.

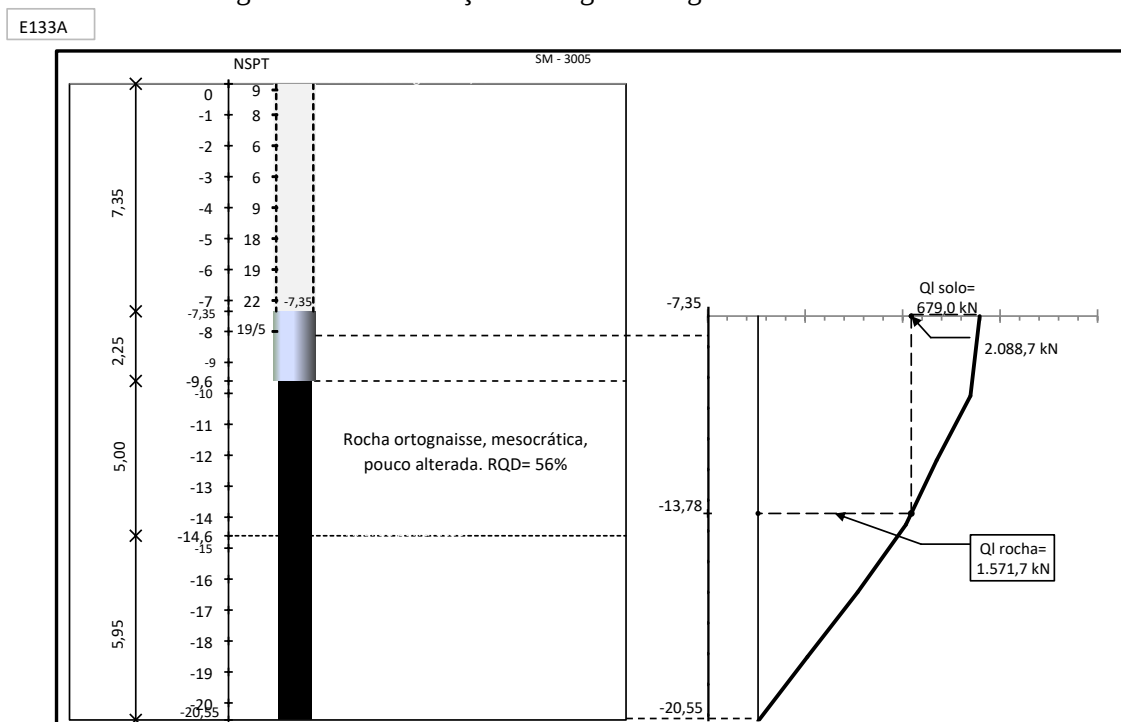


Figura 50 - Distribuição da carga ao longo da estaca E122.

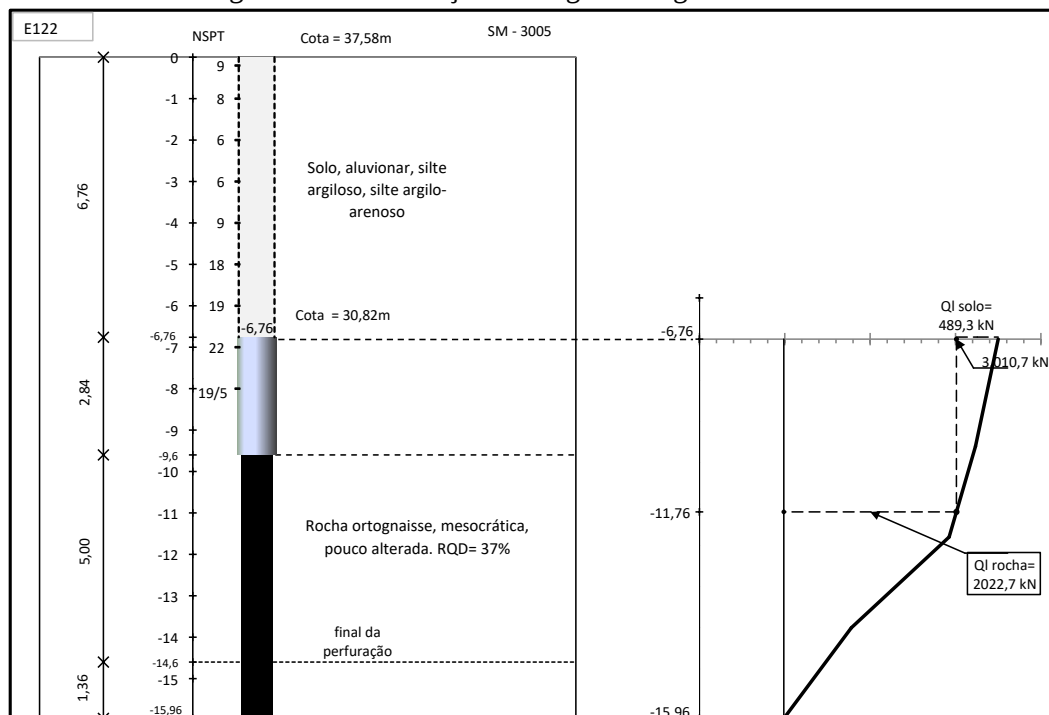


Figura 51 - Distribuição da carga ao longo da estaca E139A.

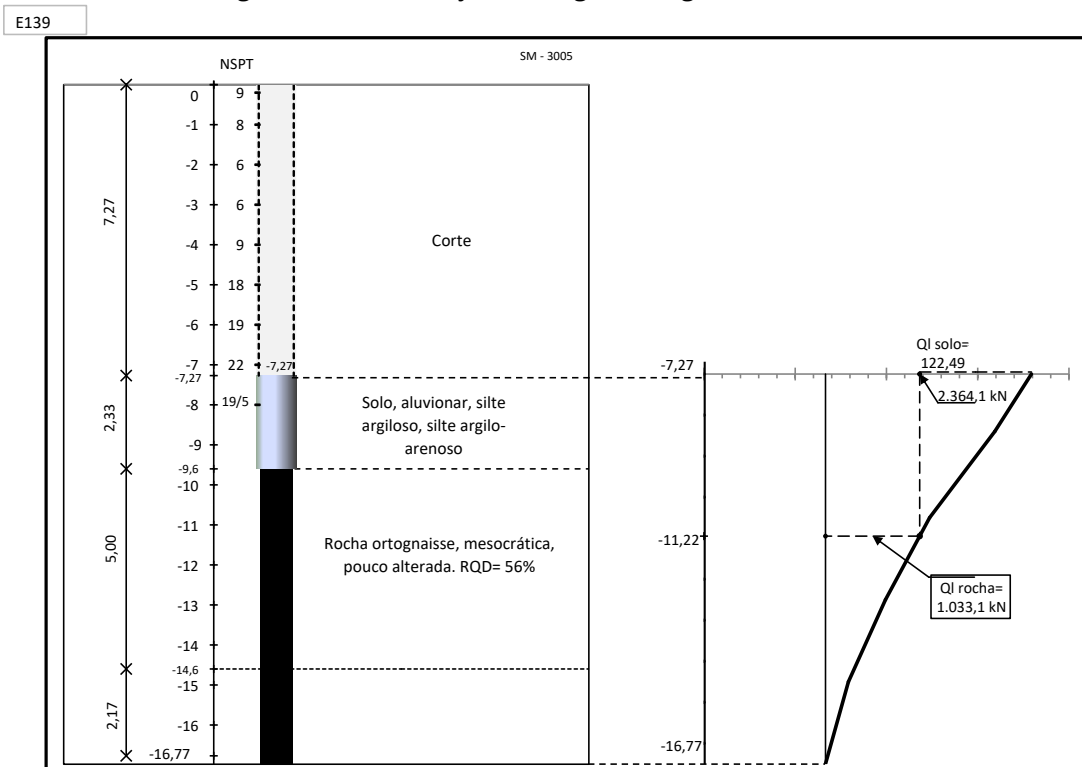


Figura 52 - Distribuição da carga ao longo da estaca E140..

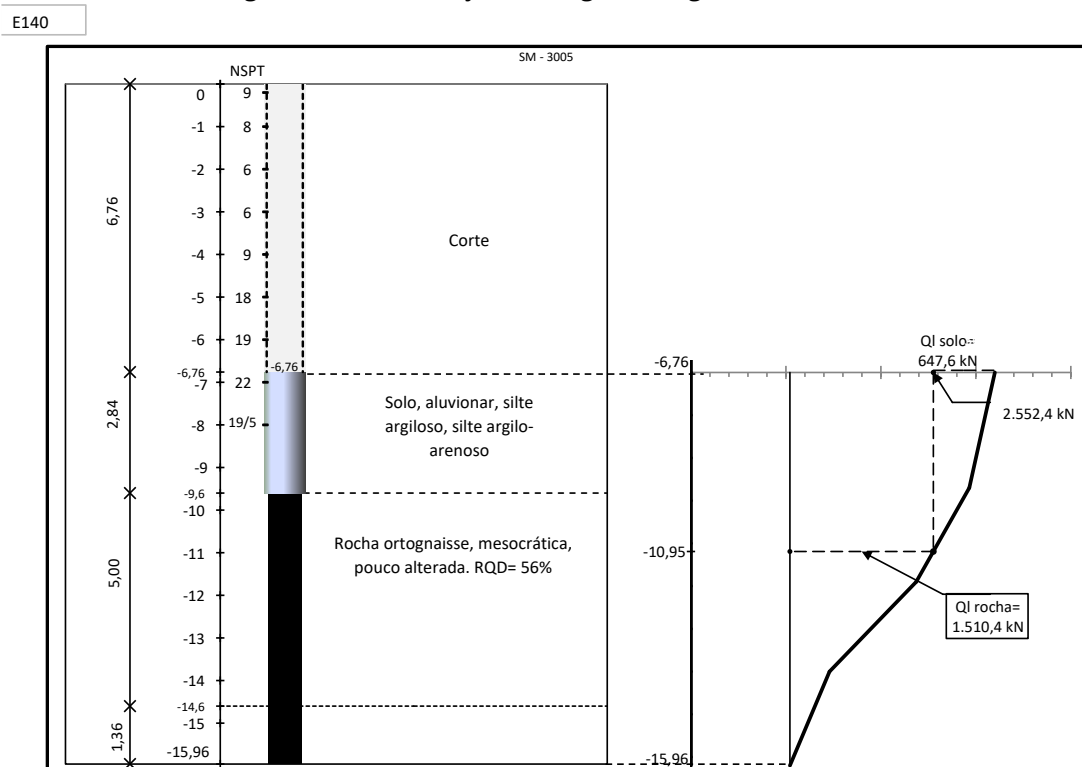


Figura 53 - Distribuição da carga ao longo da estaca E144A.

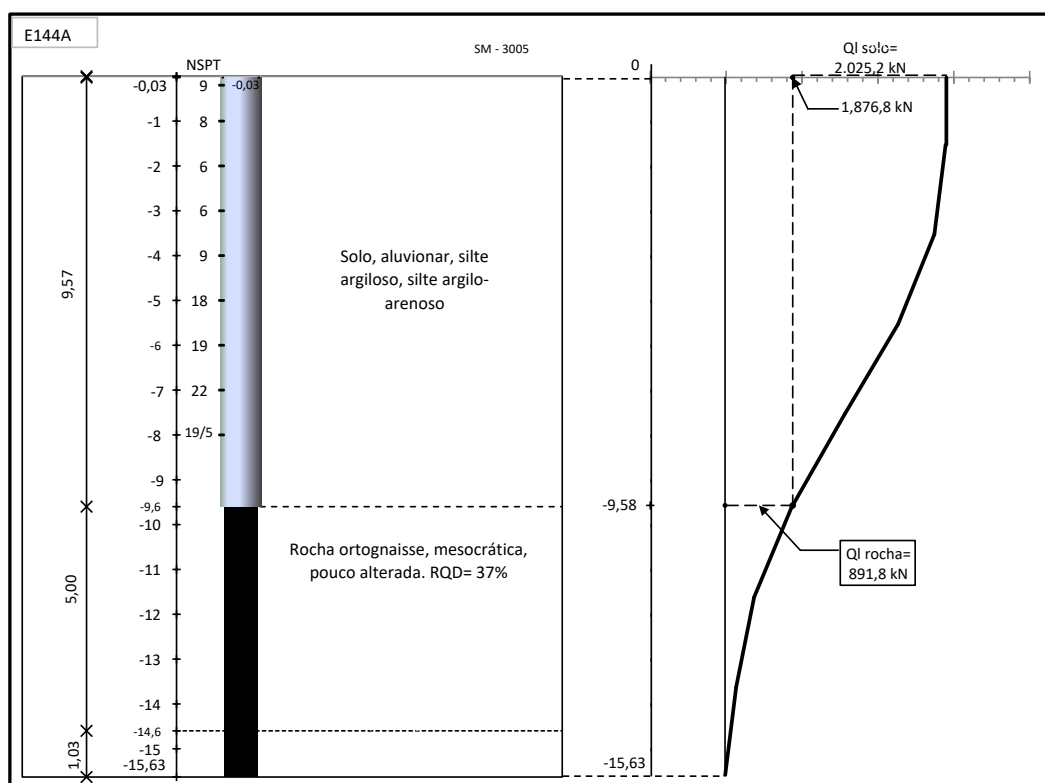


Figura 54 - Distribuição da carga ao longo da estaca E147A.

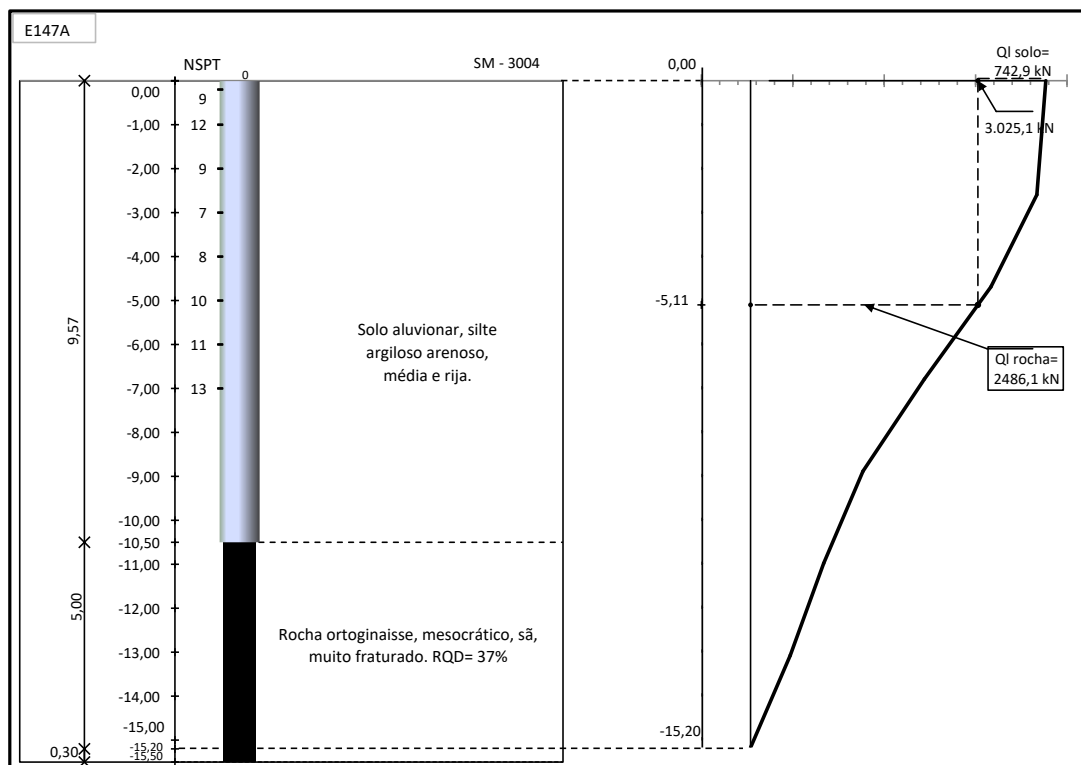


Figura 55 - Distribuição da carga ao longo da estaca E150.

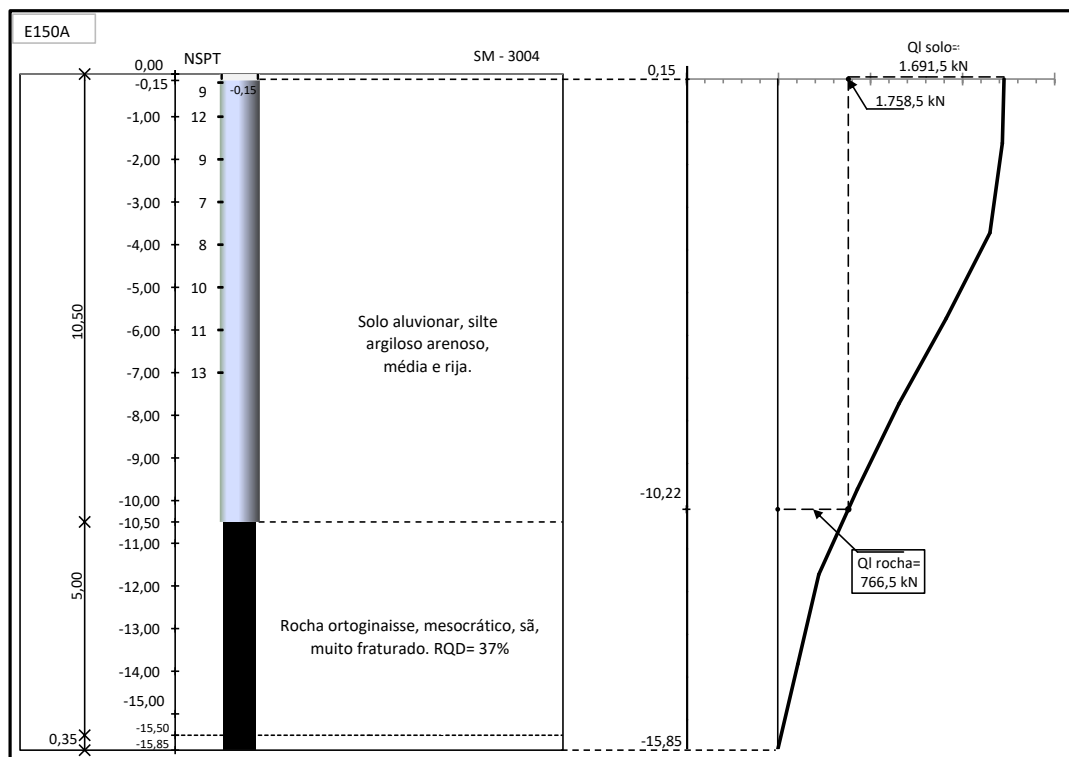


Figura 56 - Distribuição da carga ao longo da estaca E174B..

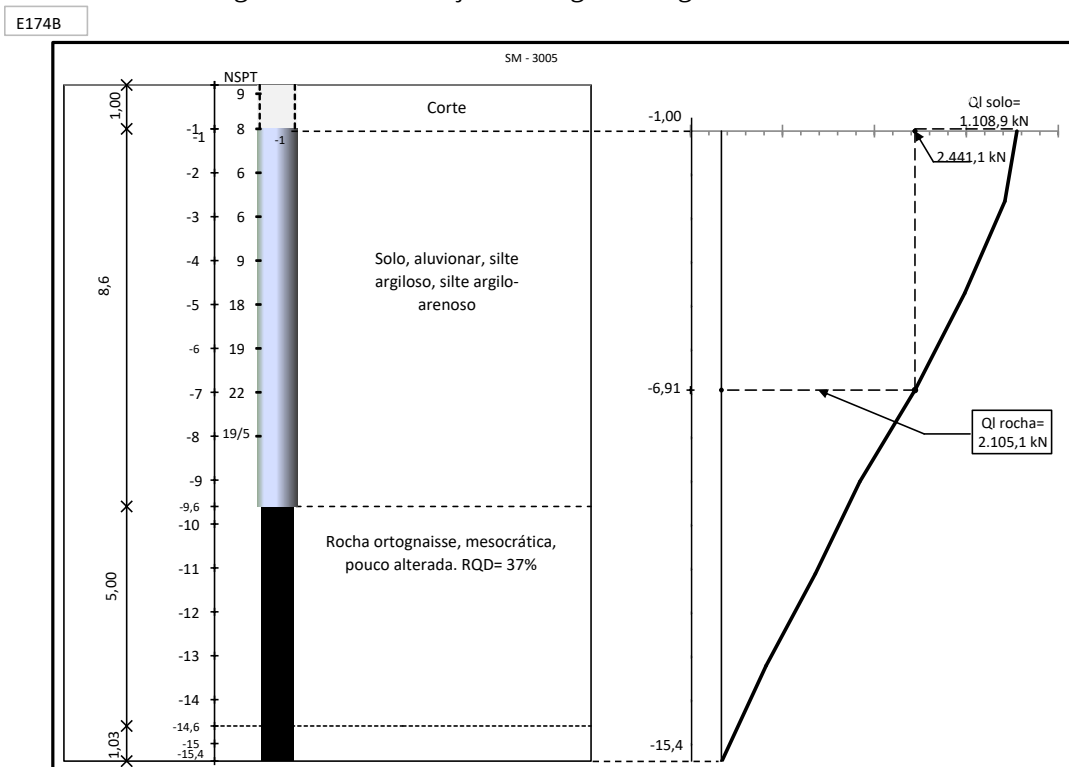


Figura 57 - Distribuição da carga ao longo da estaca E177A.

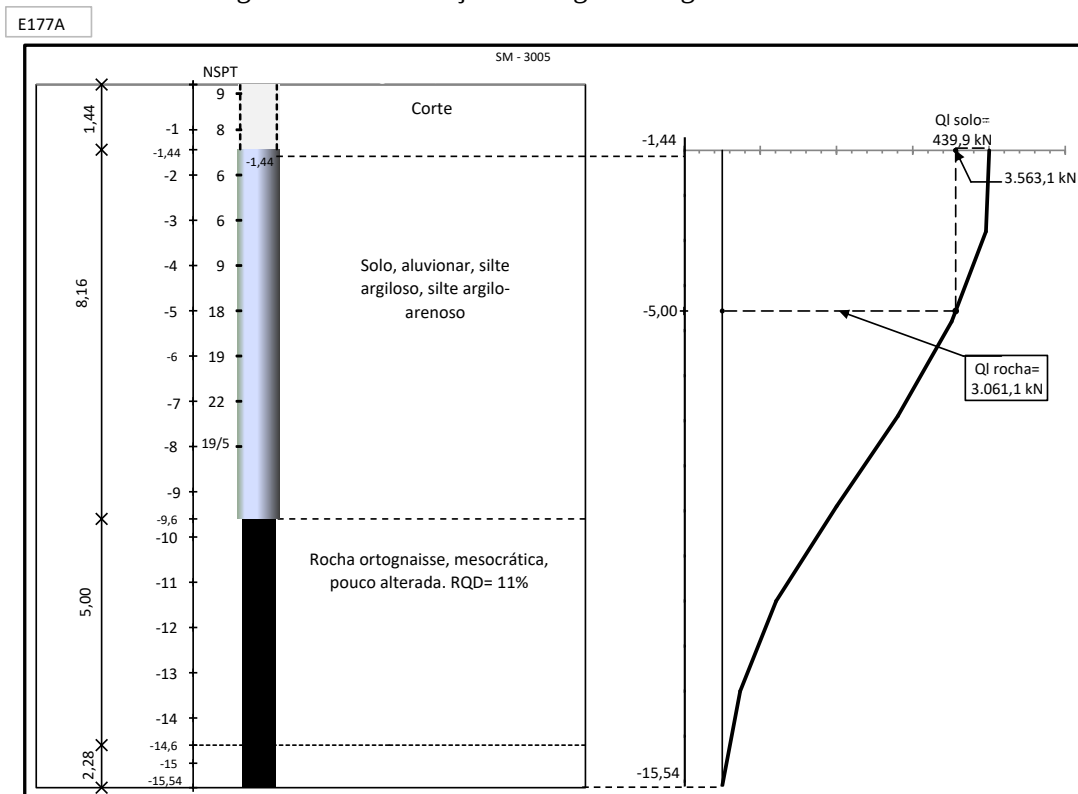


Figura 58 - Distribuição da carga ao longo da estaca E180A.

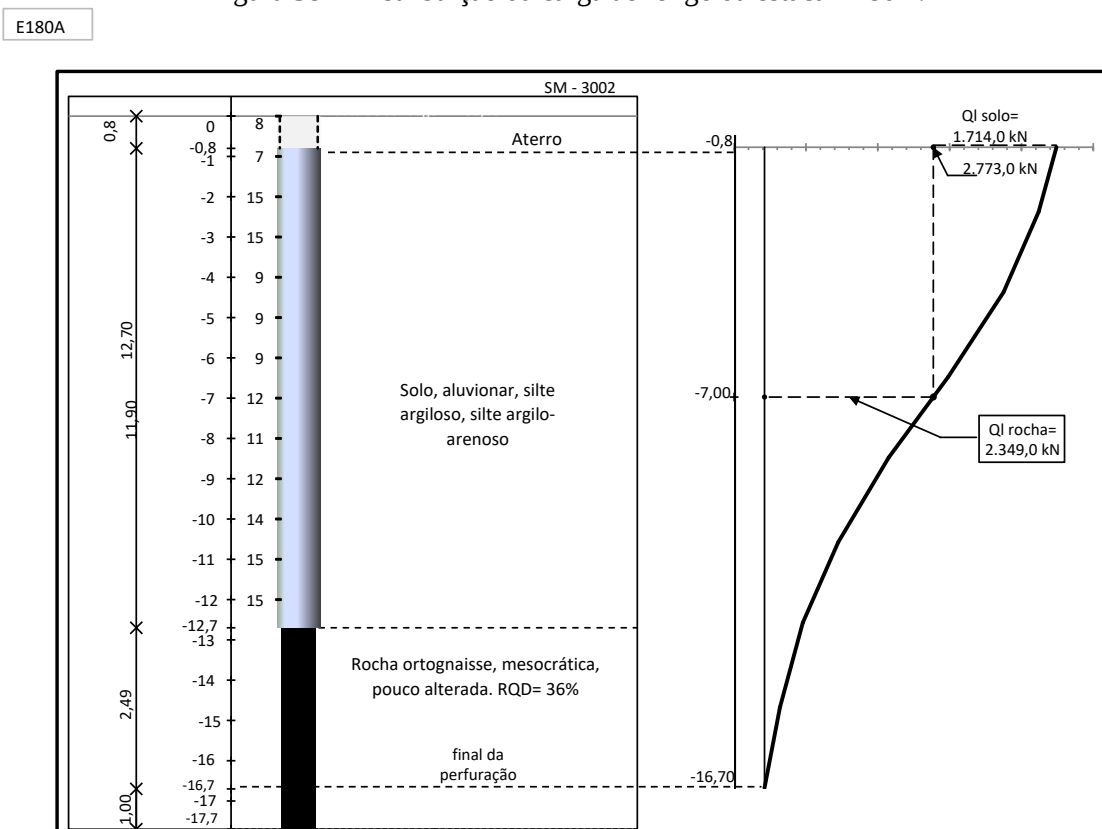


Figura 59 - Distribuição da carga ao longo da estaca E186B.

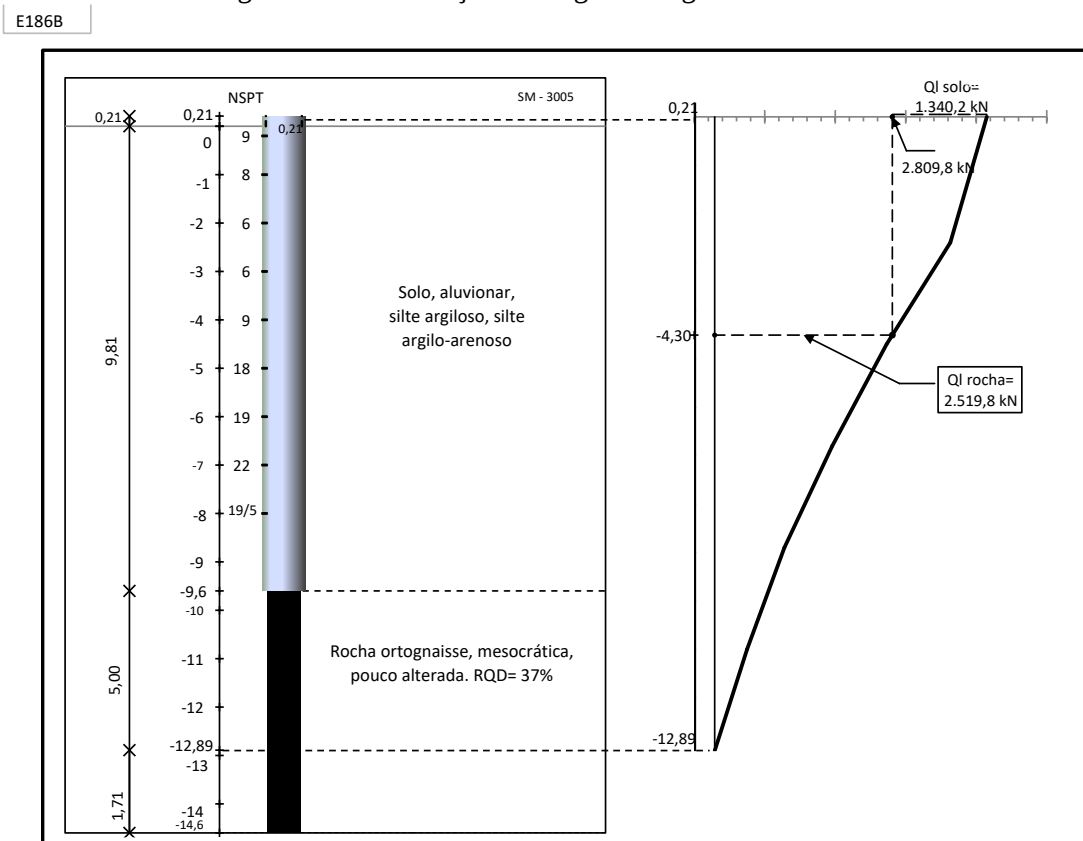


Figura 60 - Distribuição da carga ao longo da estaca E207A.

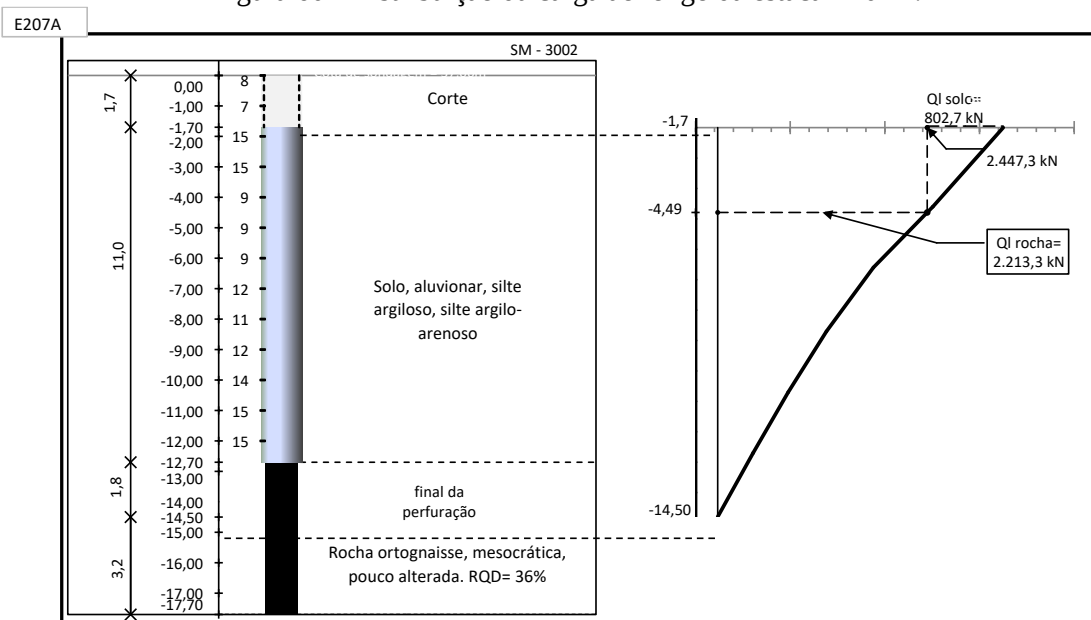


Figura 61 - Distribuição da carga ao longo da estaca E210A

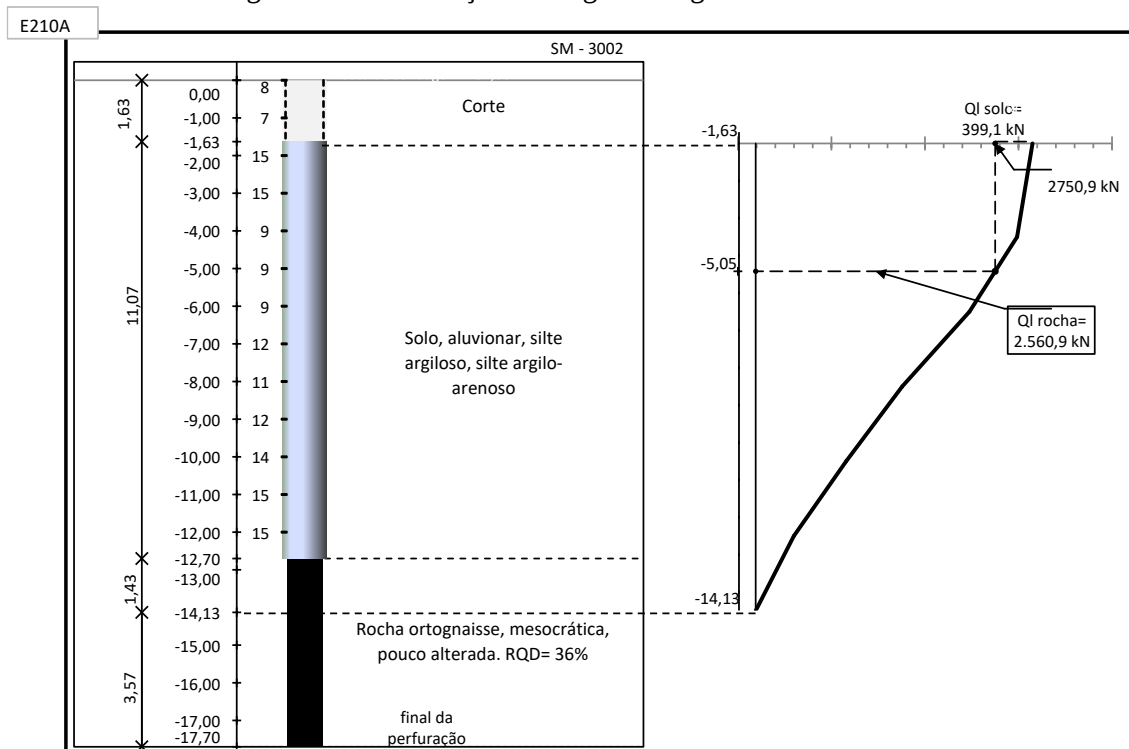


Figura 62 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3120A.

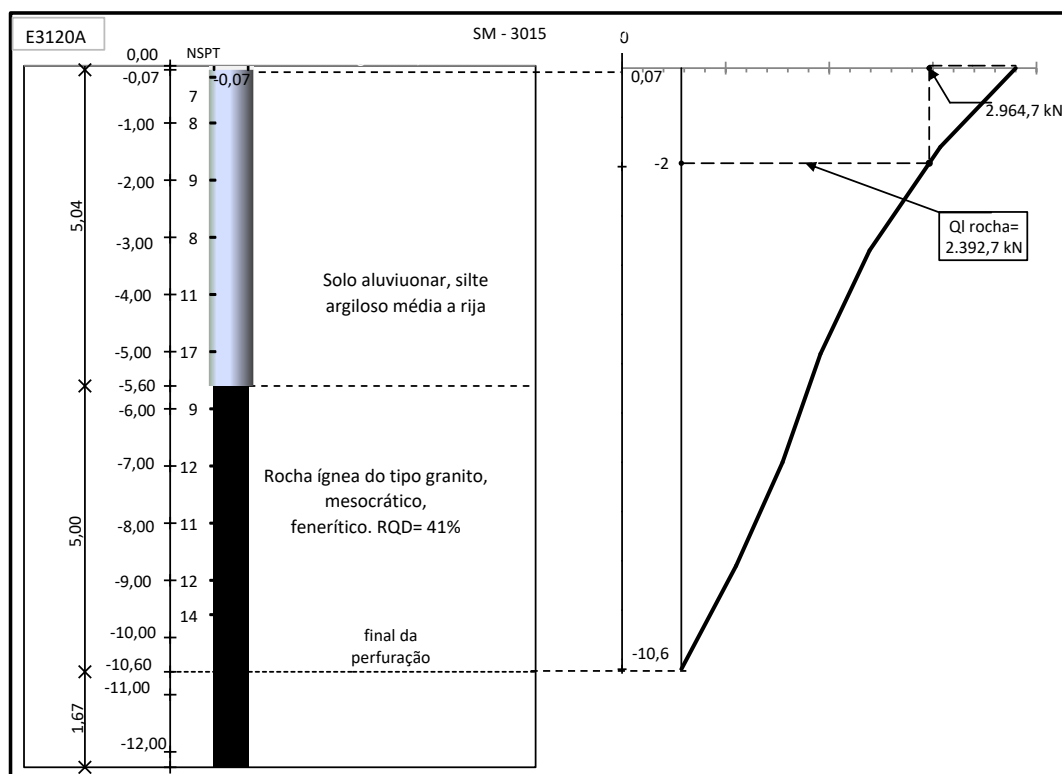


Figura 63 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3130.

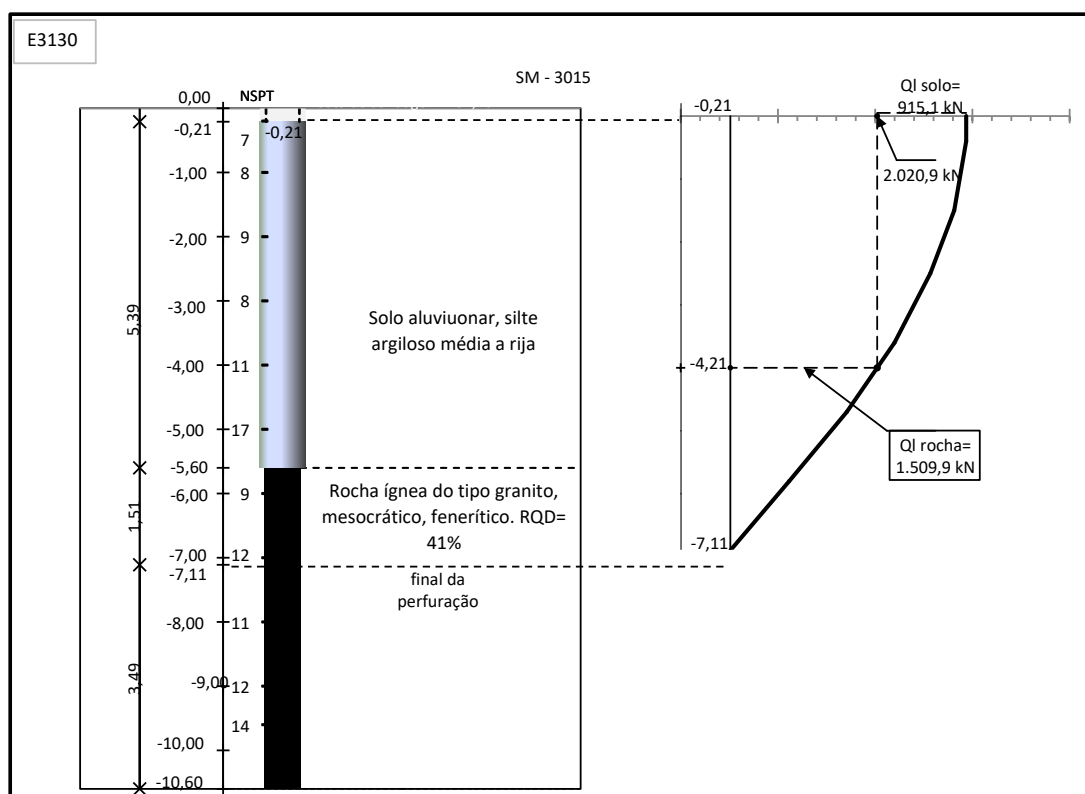


Figura 64 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3051.

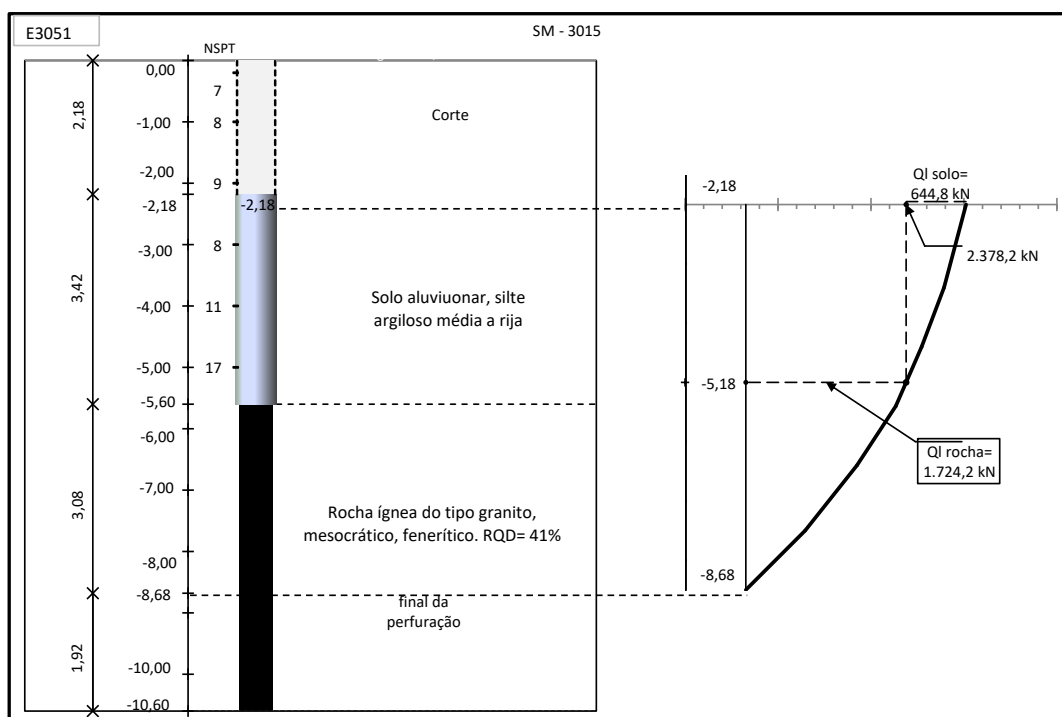


Figura 65 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3062.

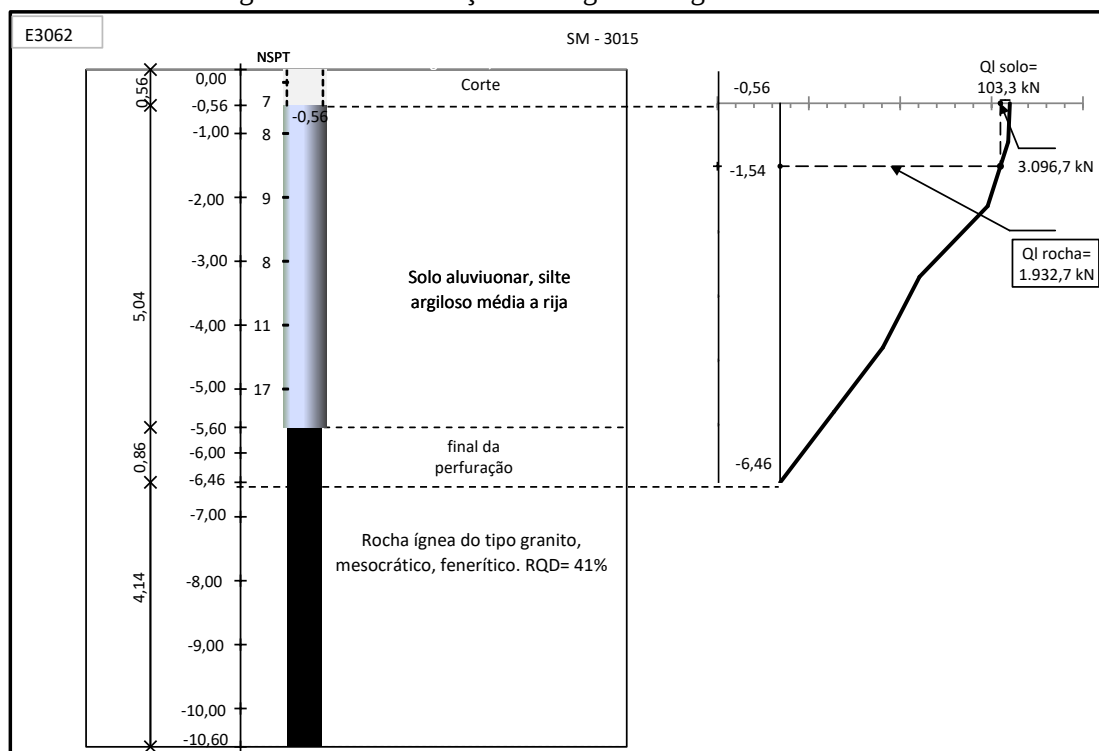


Figura 66 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3091A.

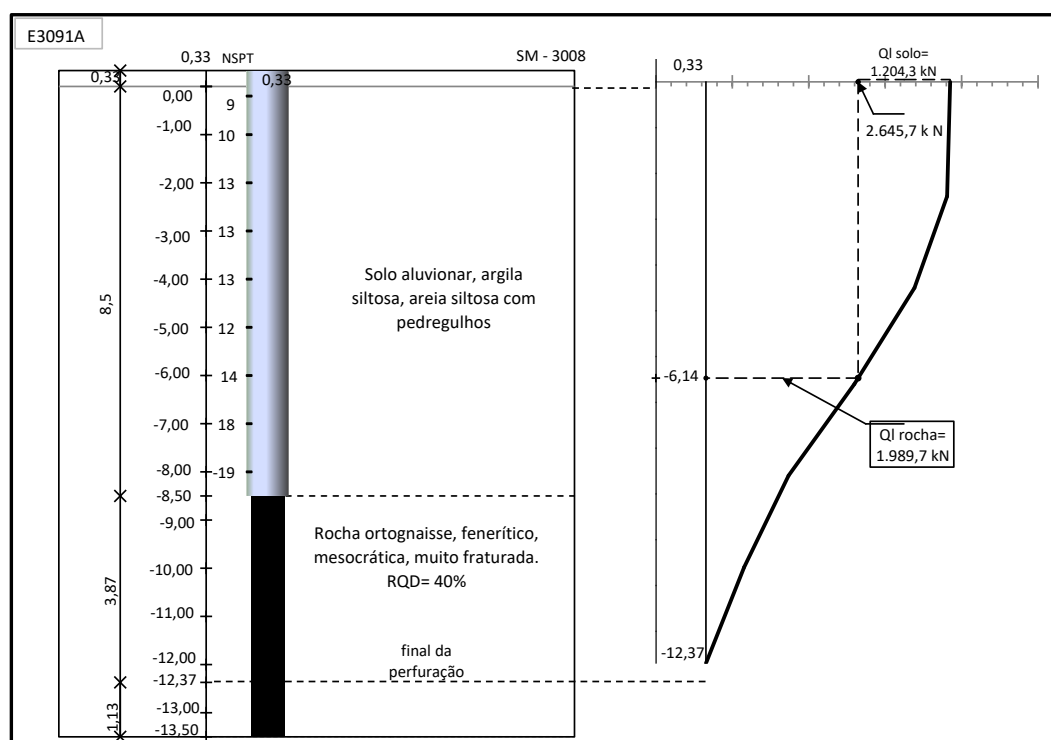


Figura 67 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3092.

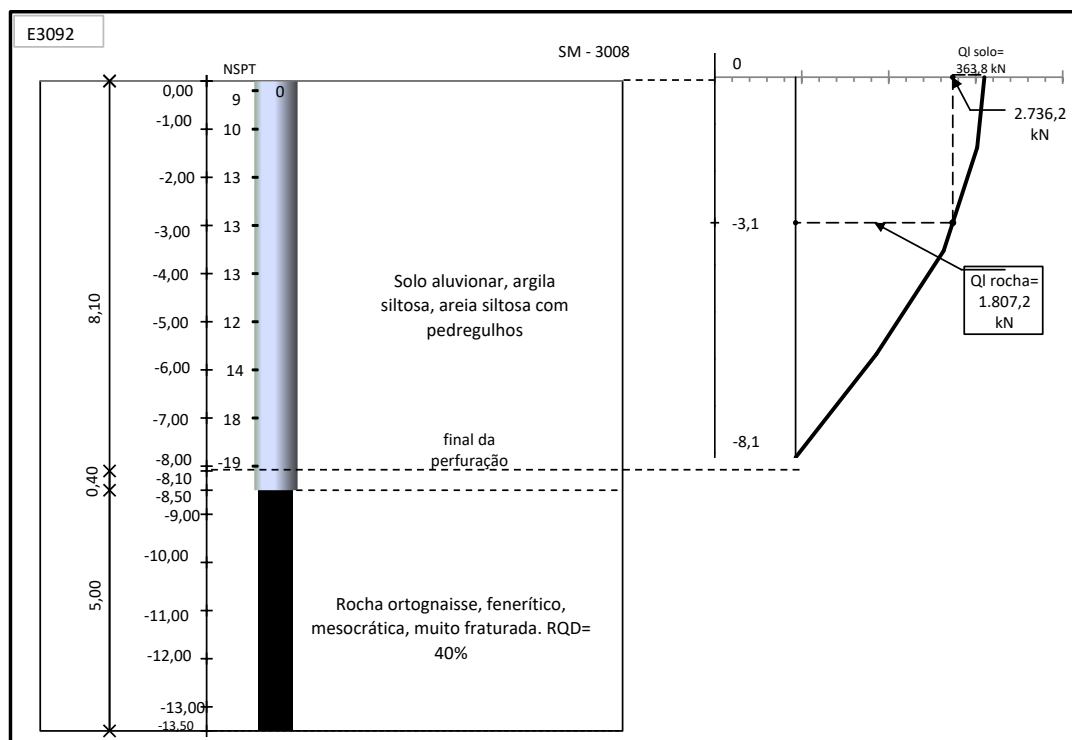


Figura 68 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3104.

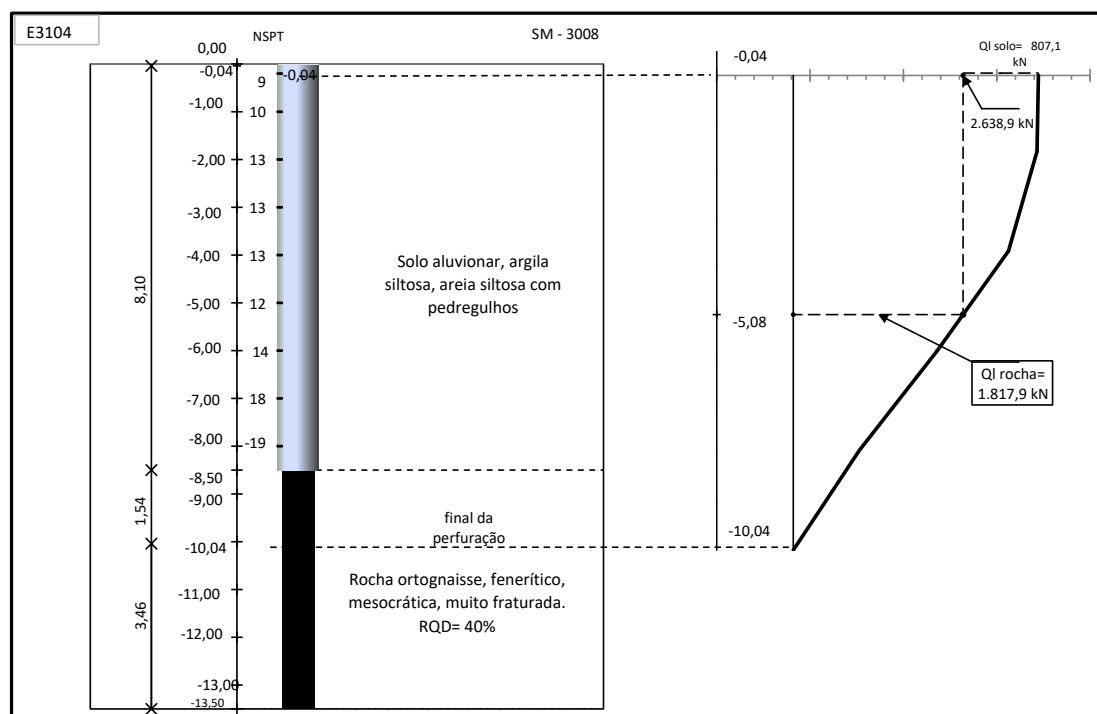


Figura 69 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3108A.

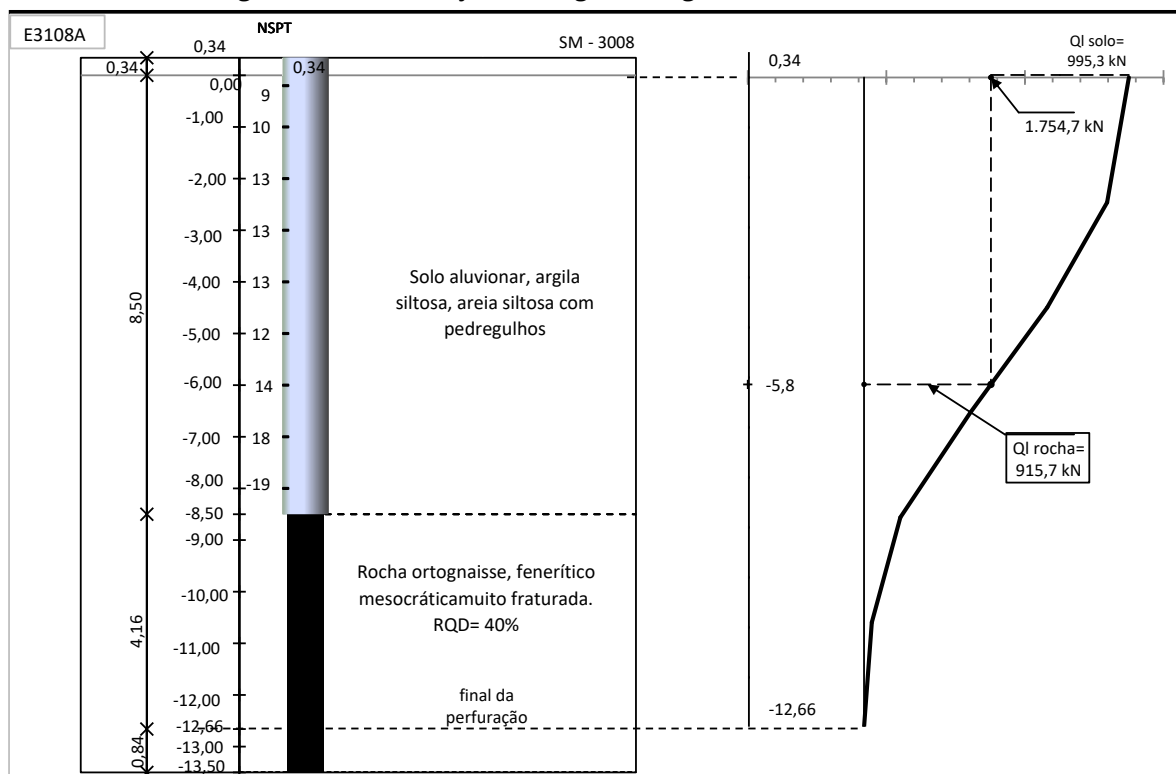


Figura 70 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3109.

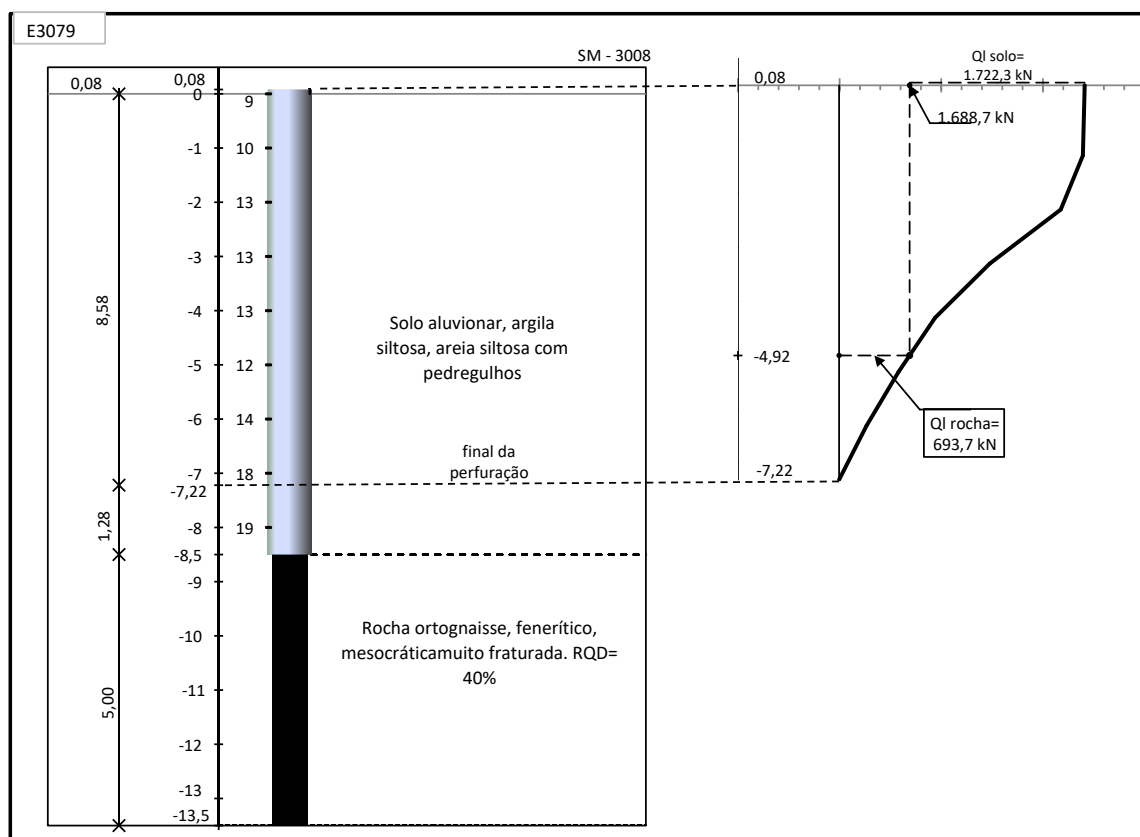


Figura 71 - Distribuição da carga ao longo da estaca E3088A.

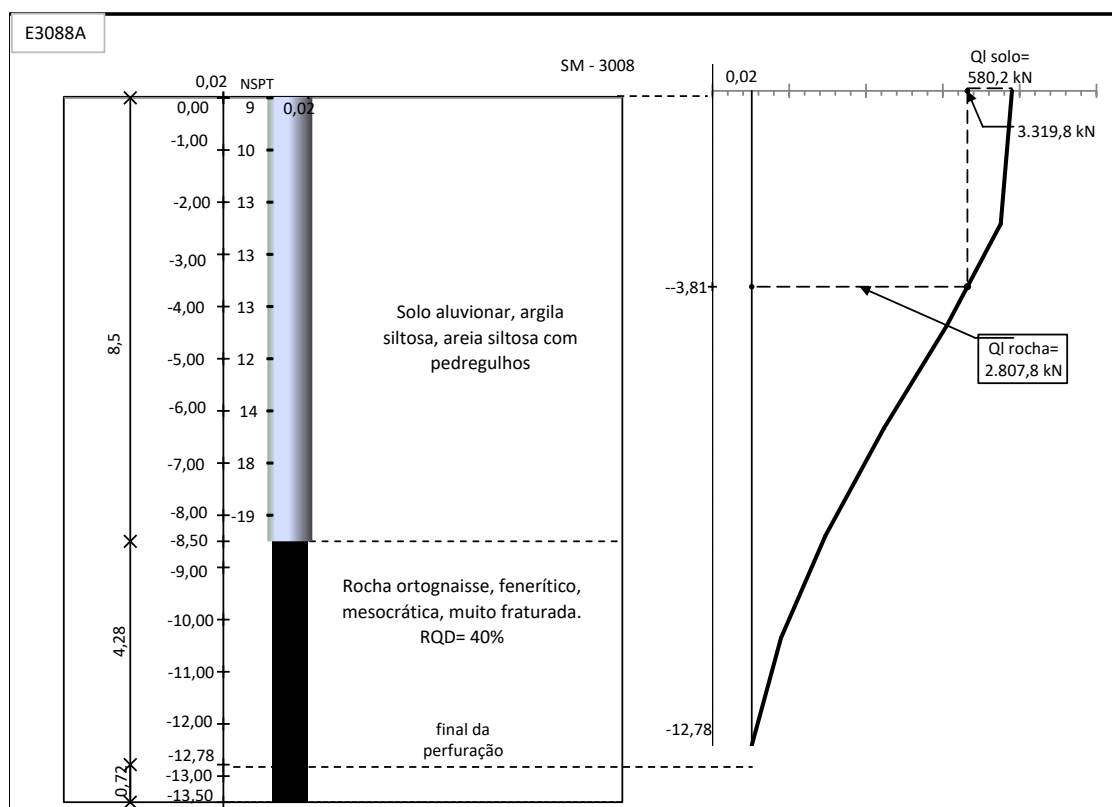


Figura 72 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5145..

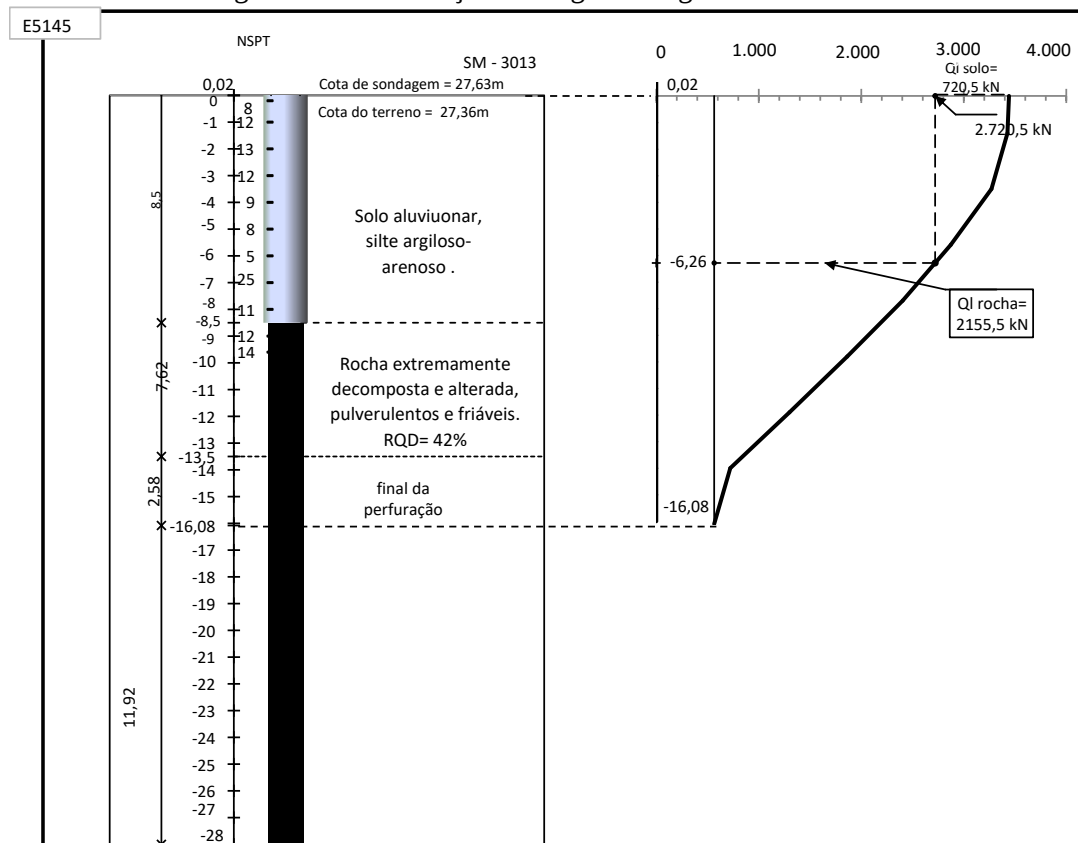


Figura 73 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5107.

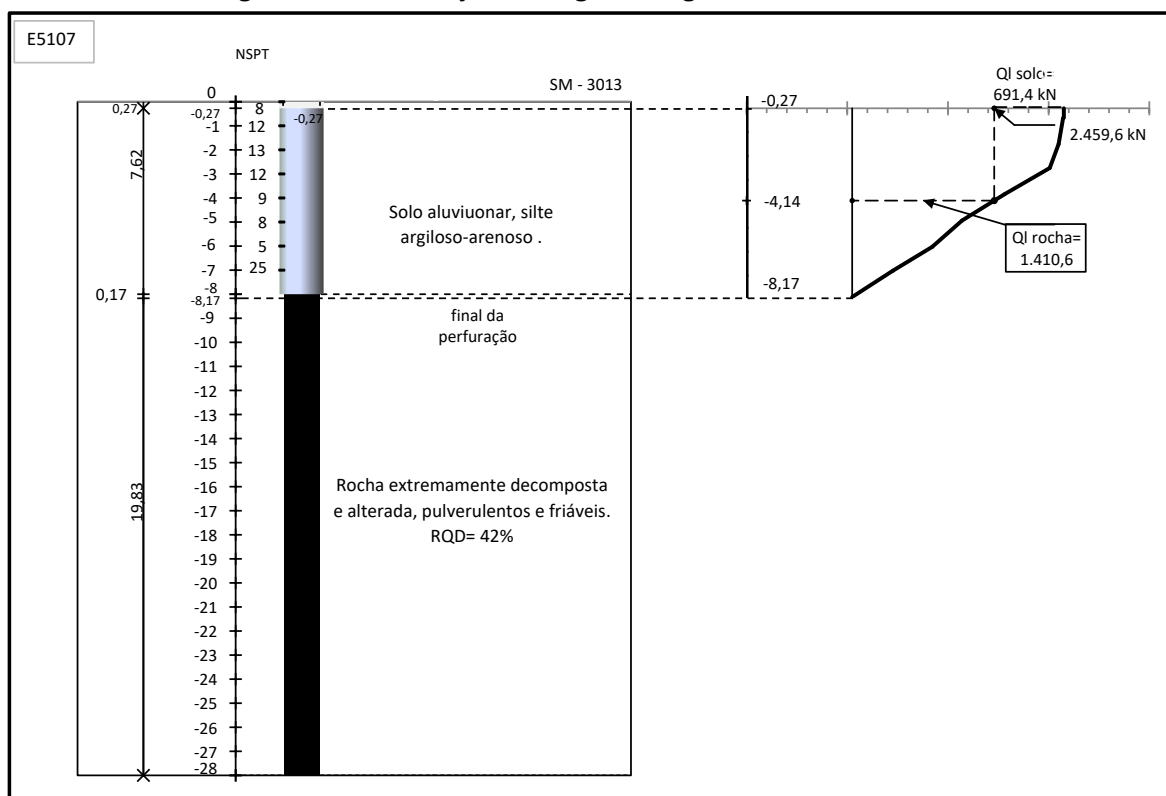


Figura 74 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5076.

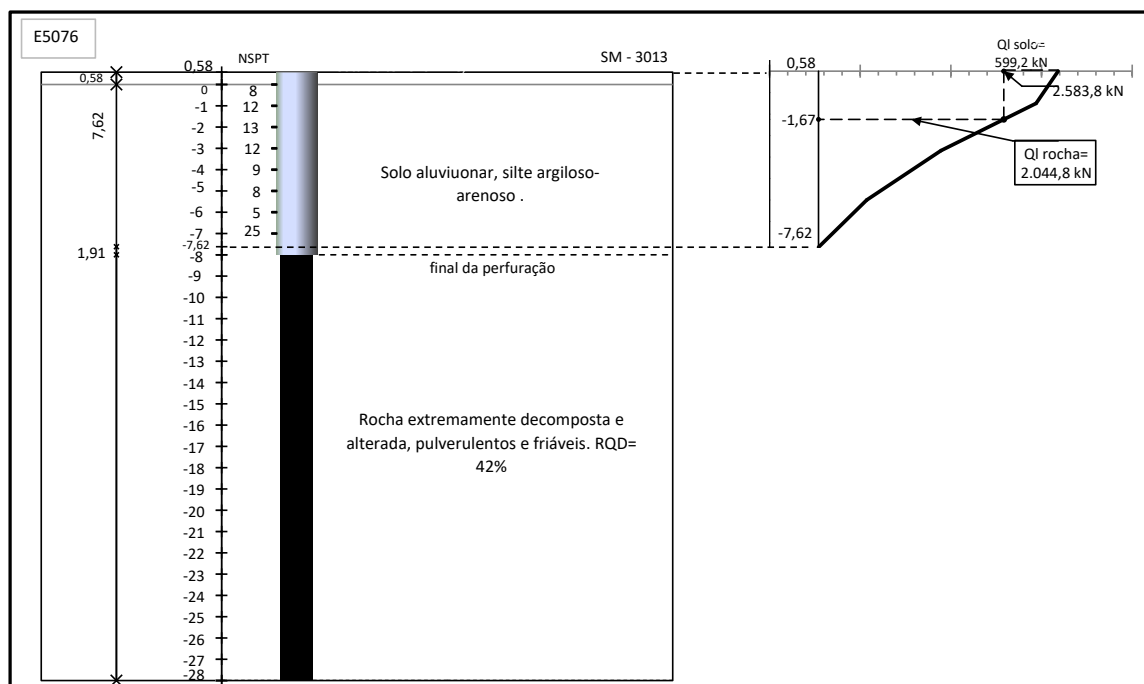


Figura 75 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5059.

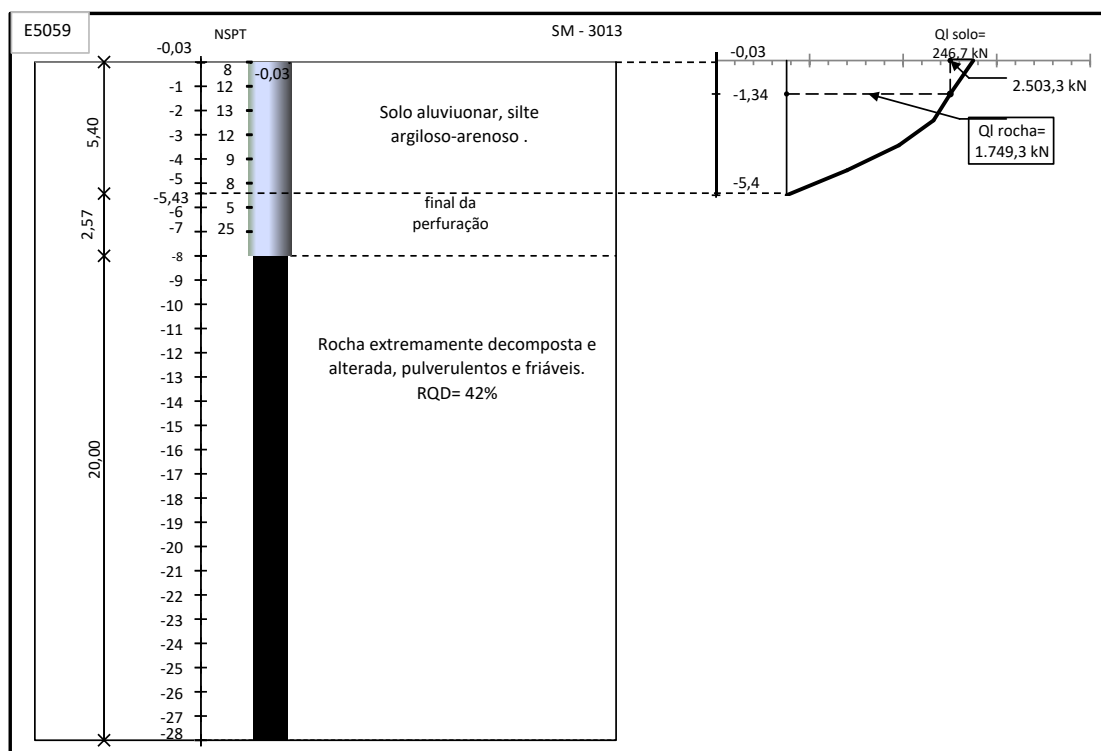


Figura 76 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5065.

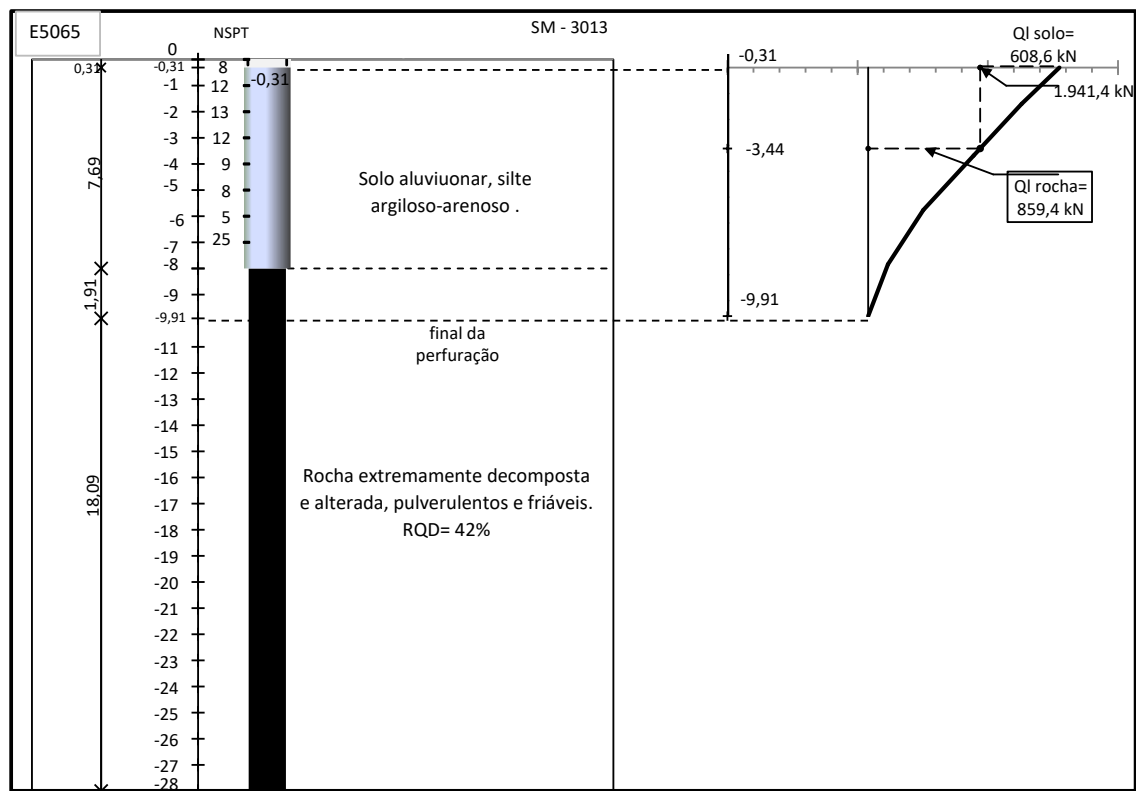


Figura 77 - Distribuição da carga ao longo da estaca E181.

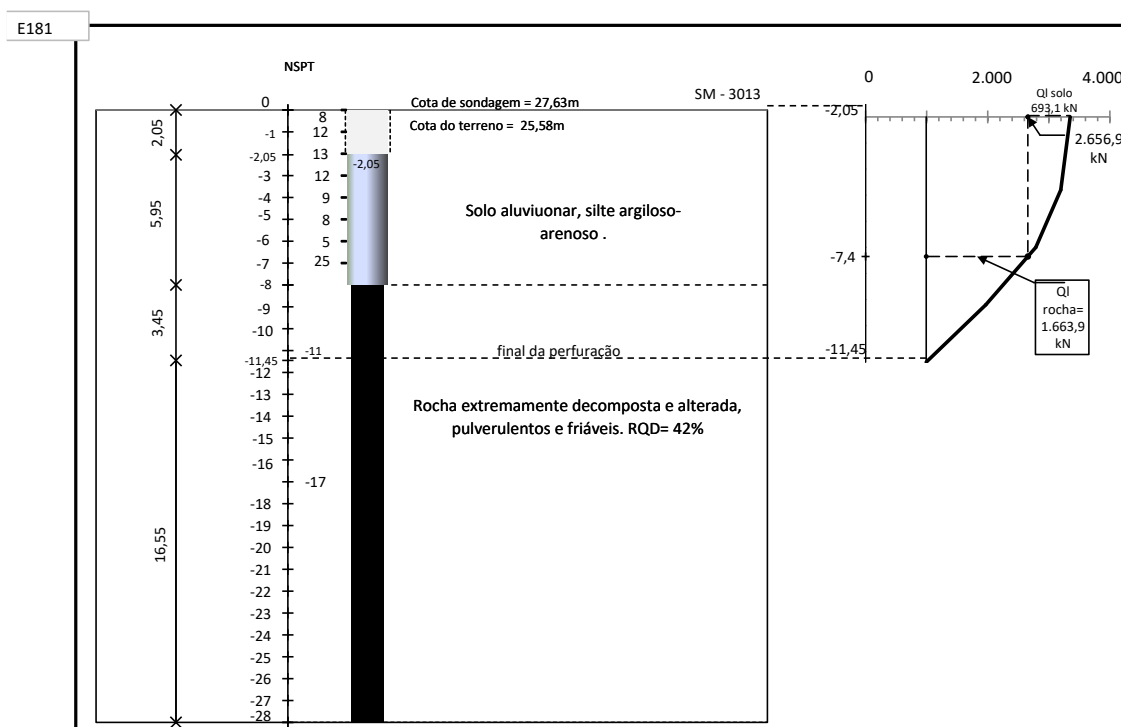


Figura 78 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5027.

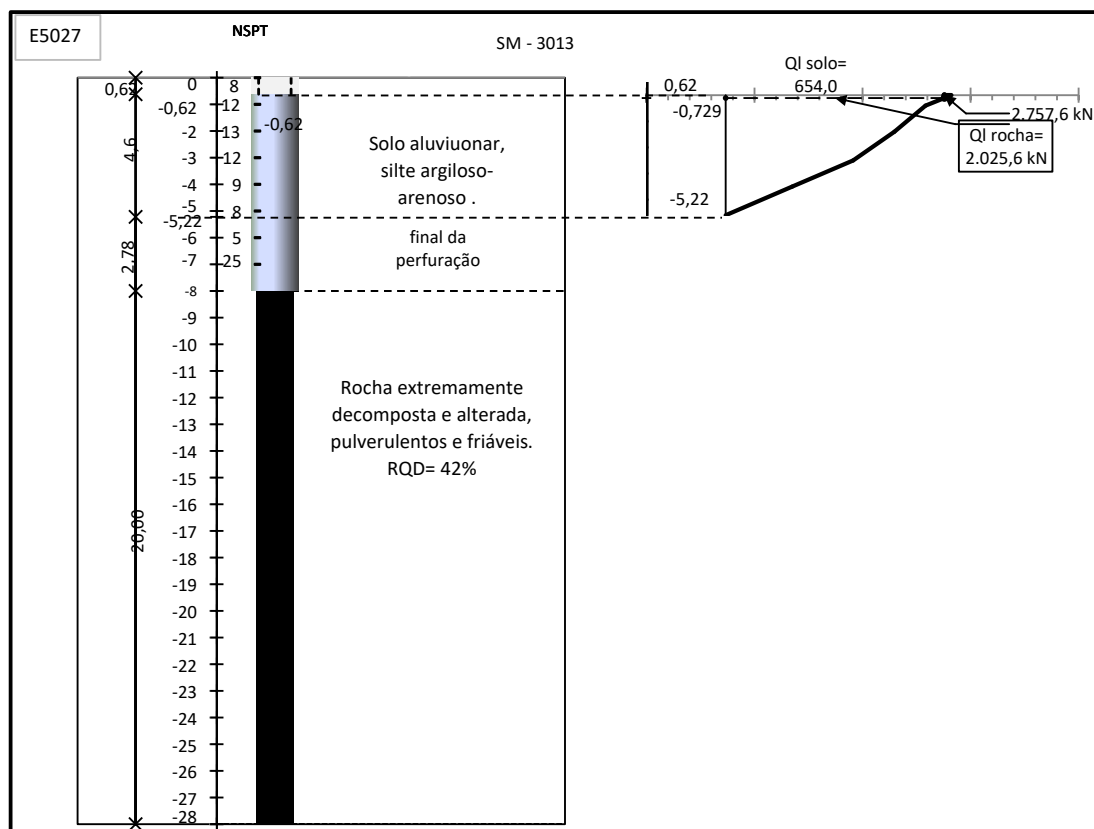


Figura 79 - Distribuição da carga ao longo da estaca E5013.

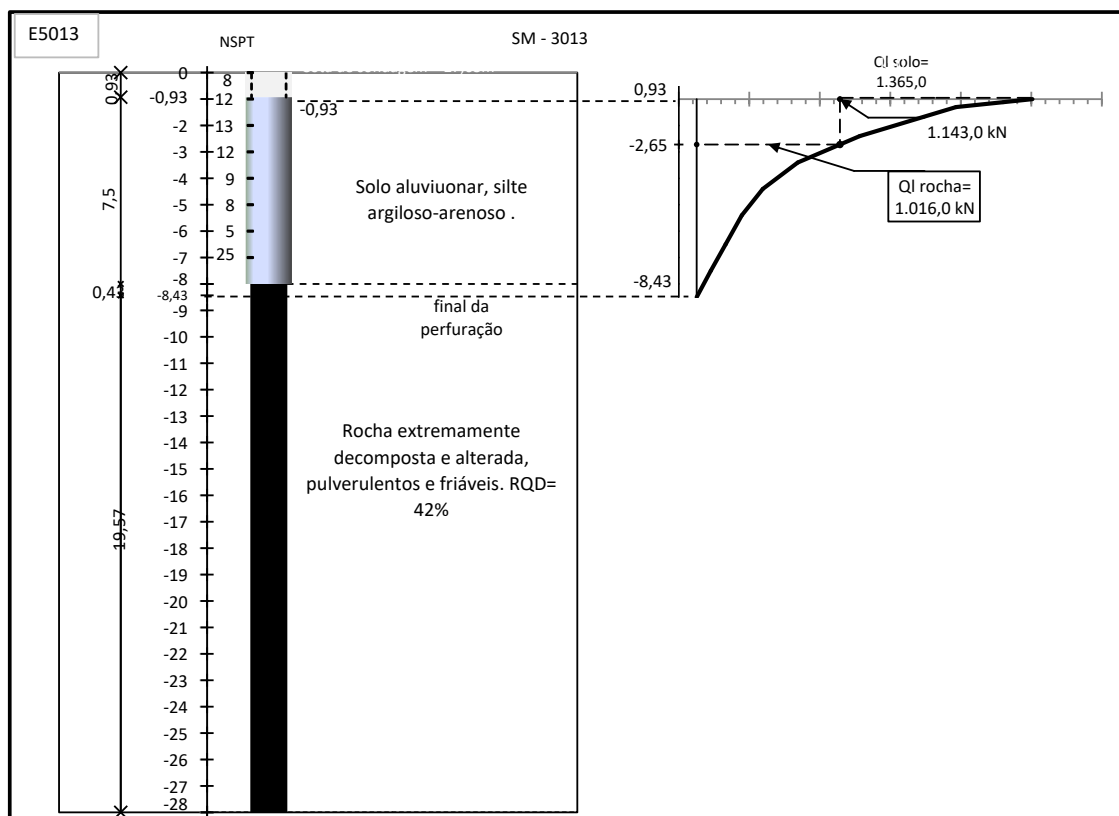


Figura 80 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7199.

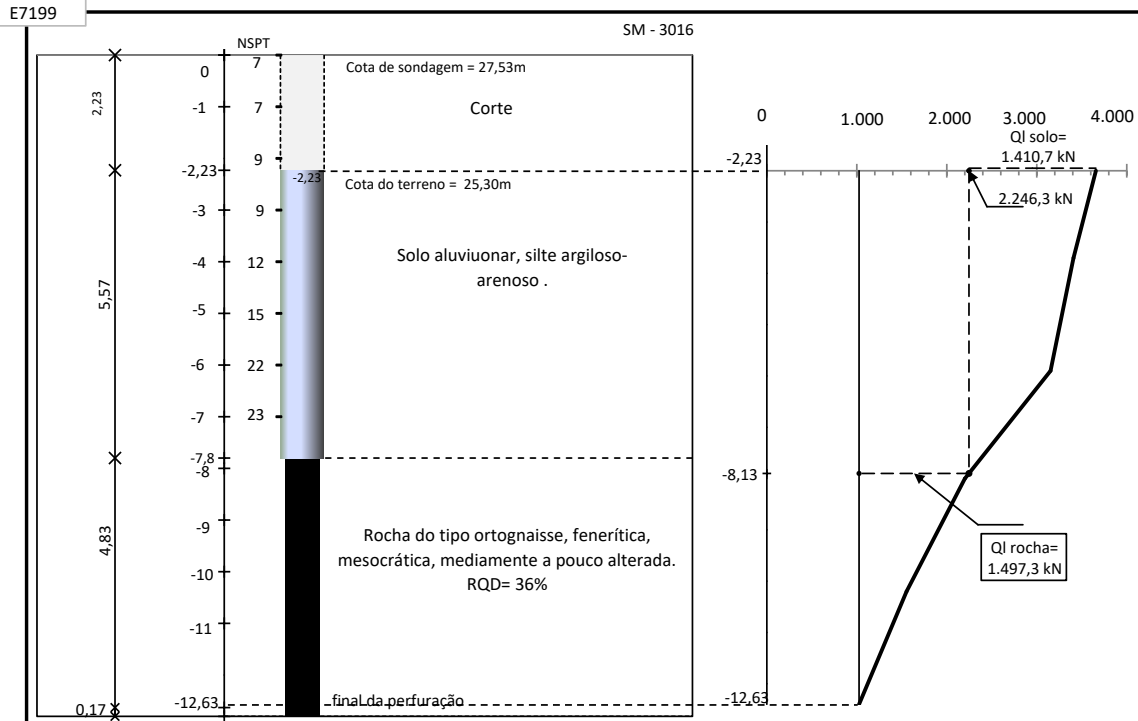


Figura 81 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7202.

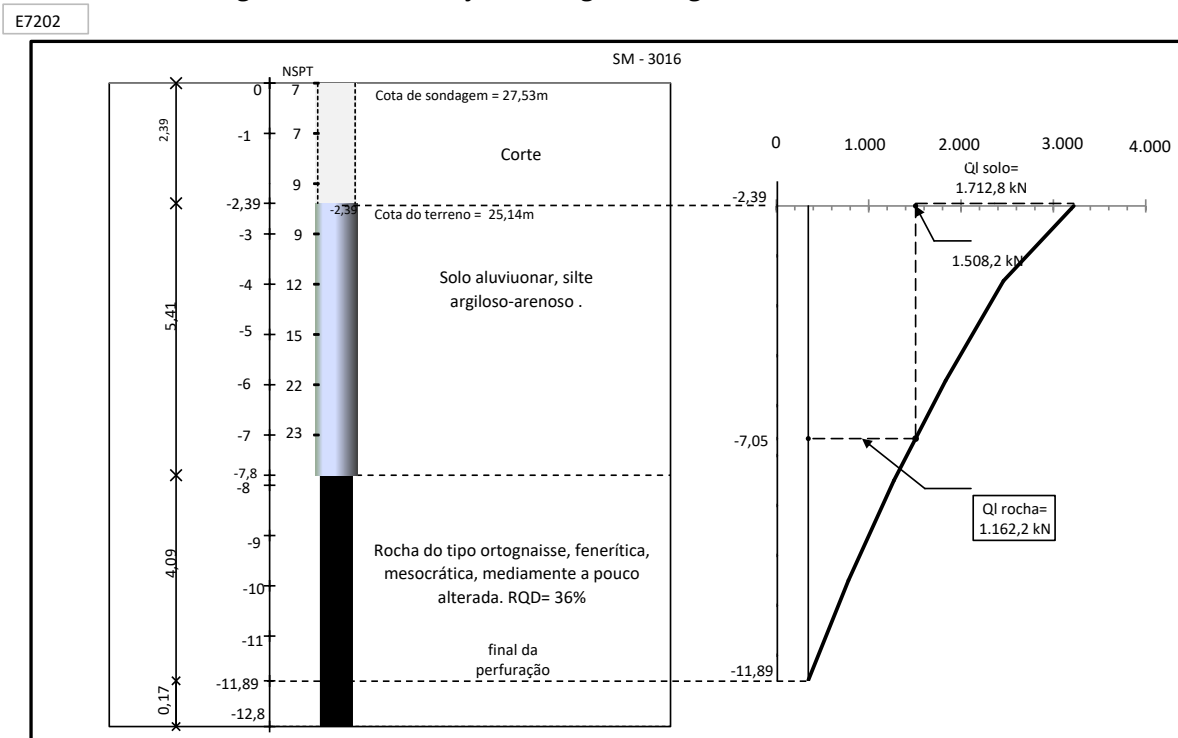


Figura 82 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7021.

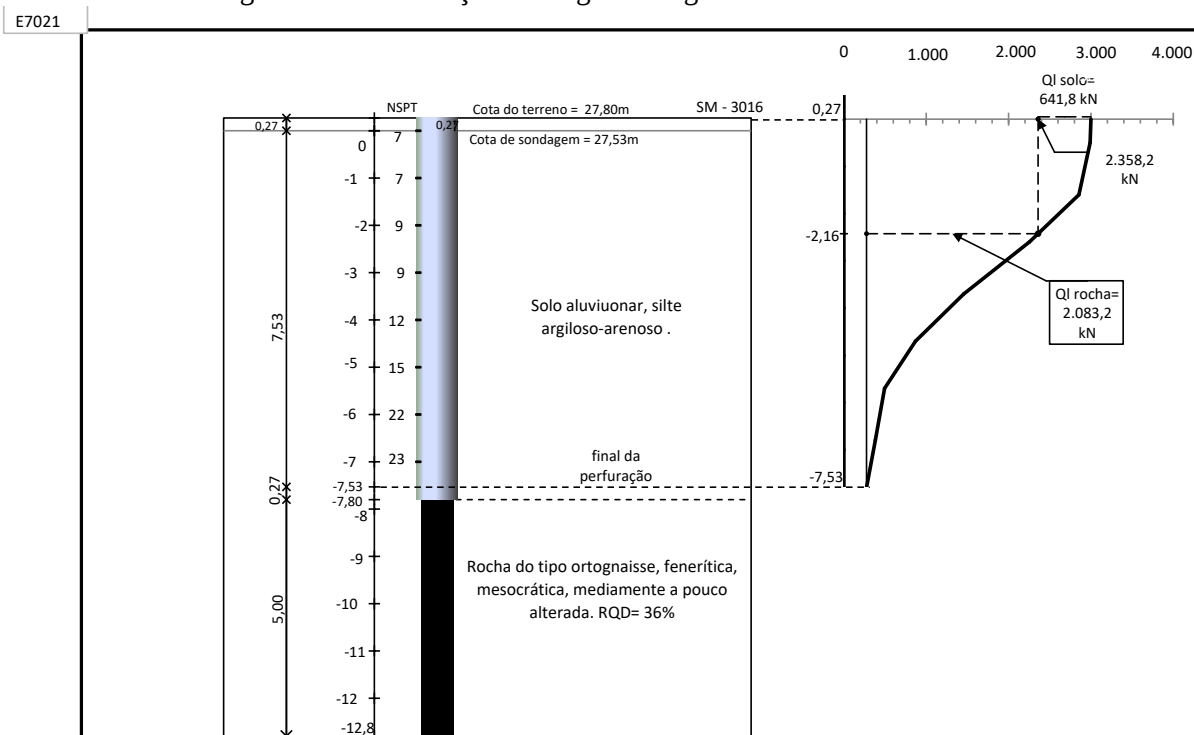


Figura 83 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7041.

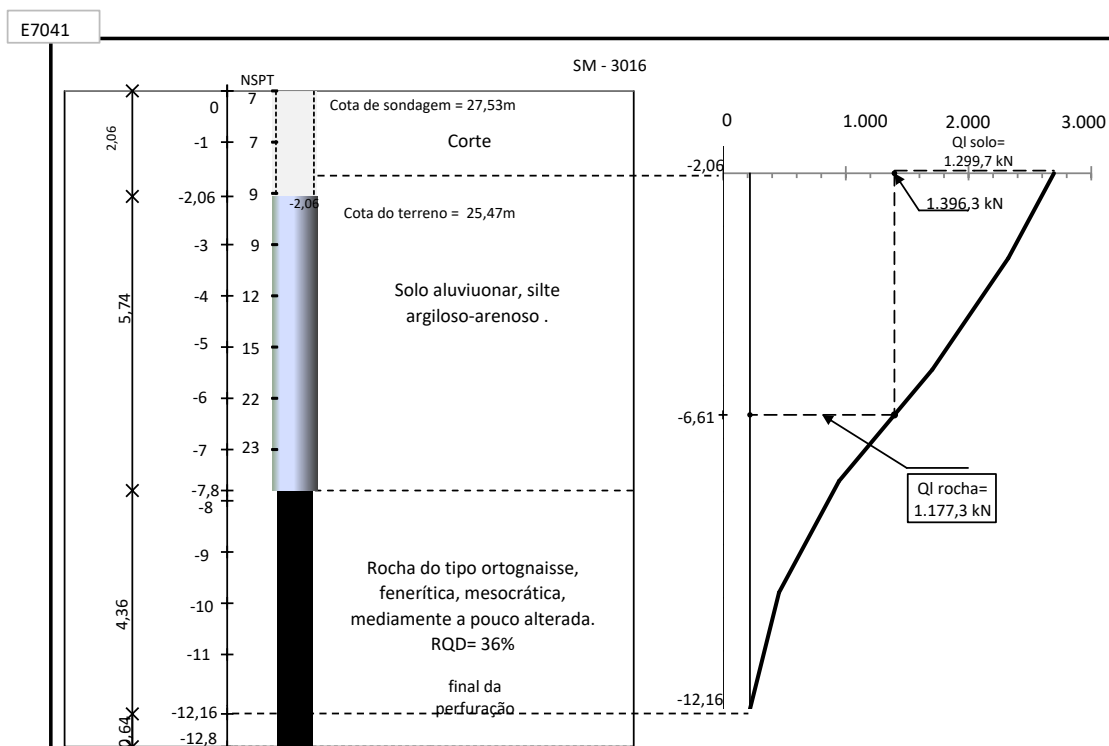


Figura 84 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7186.

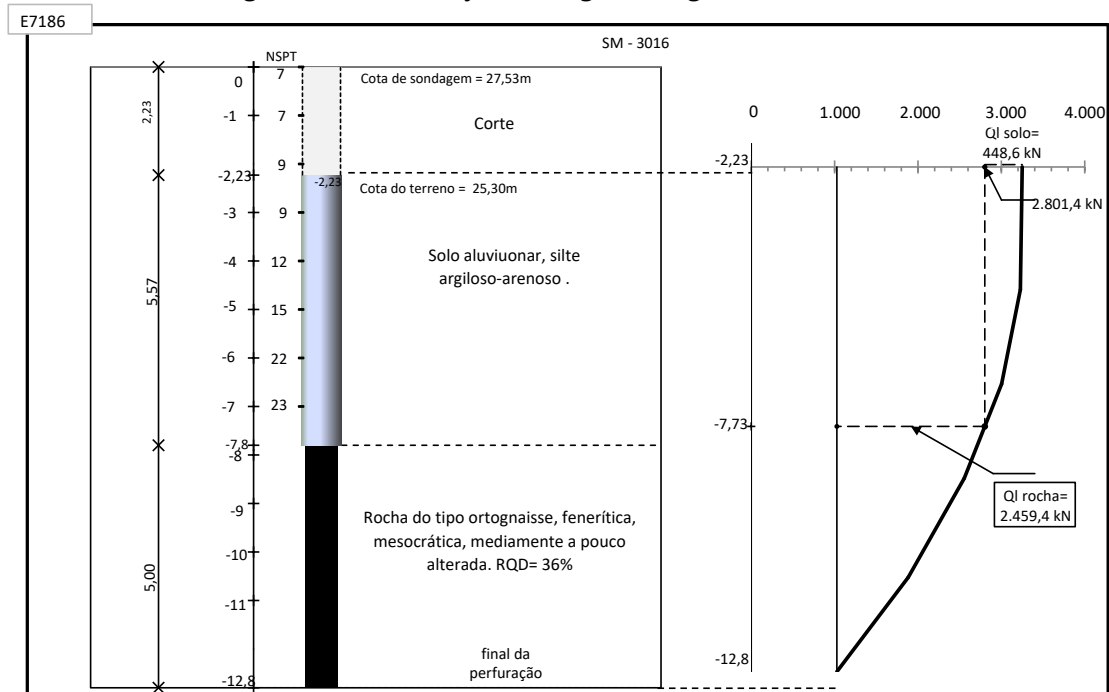


Figura 85 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7088.

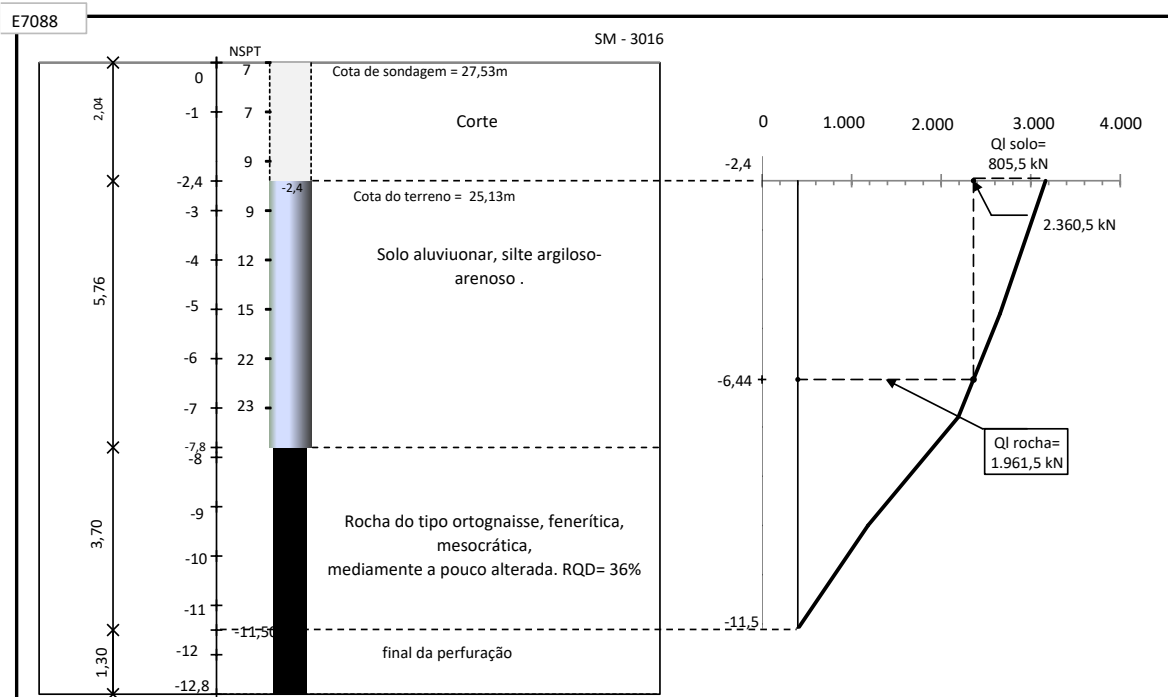


Figura 86 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7107.

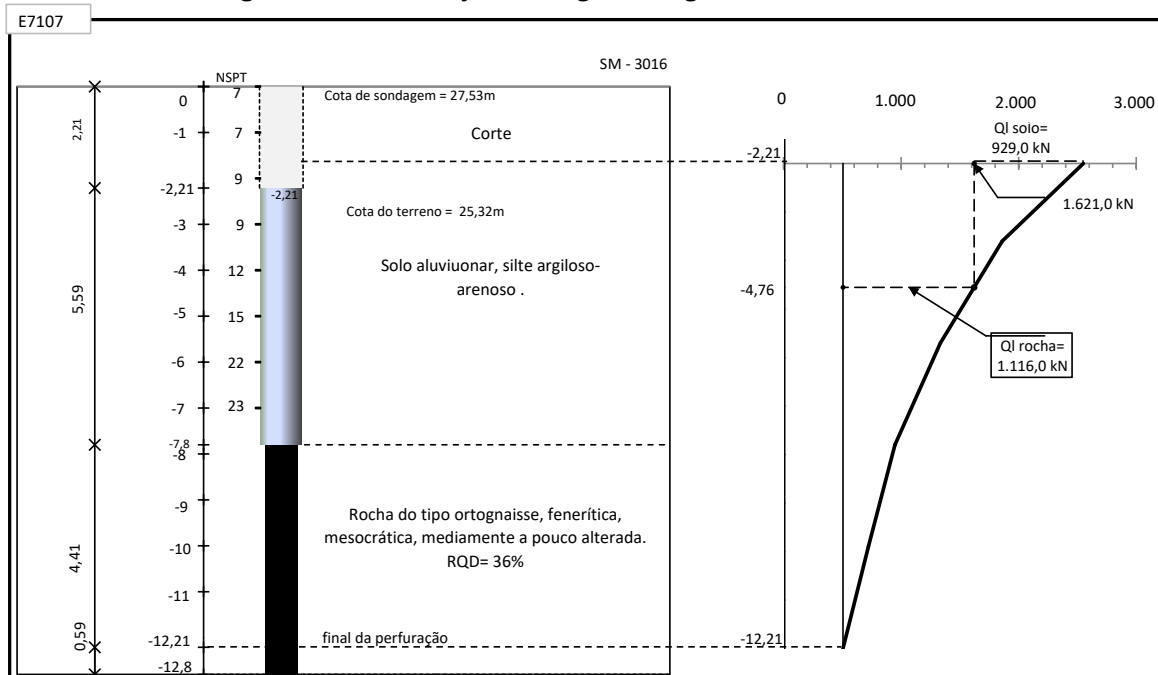


Figura 87 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7224.

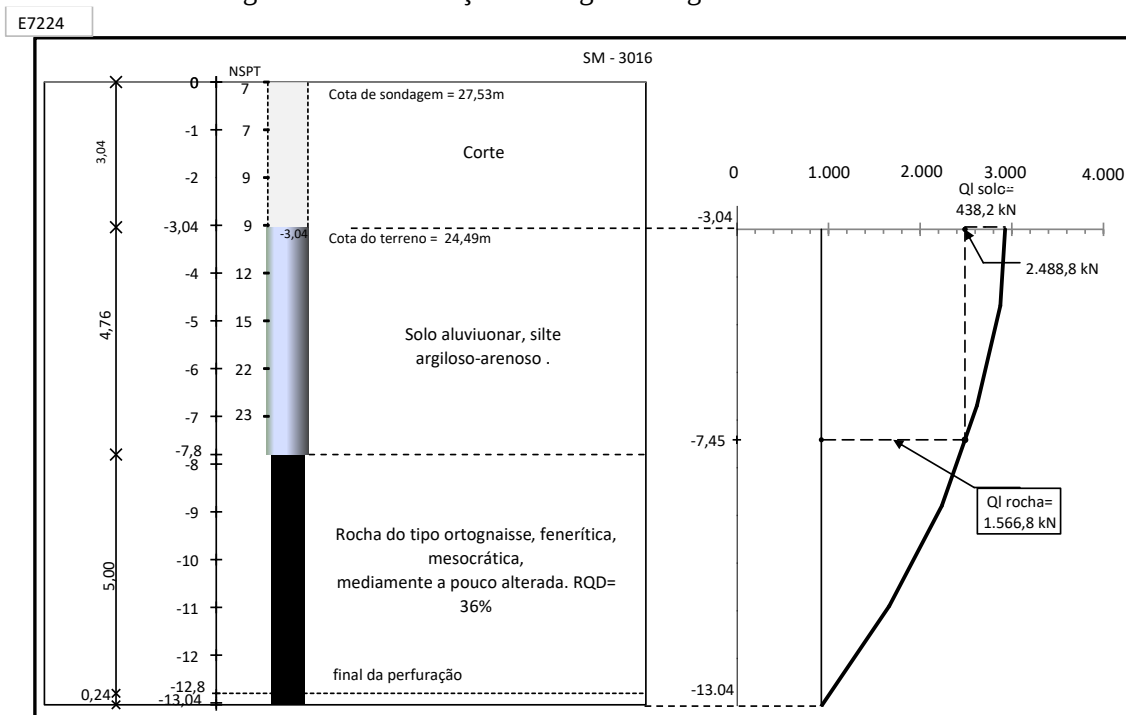


Figura 88 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2113.

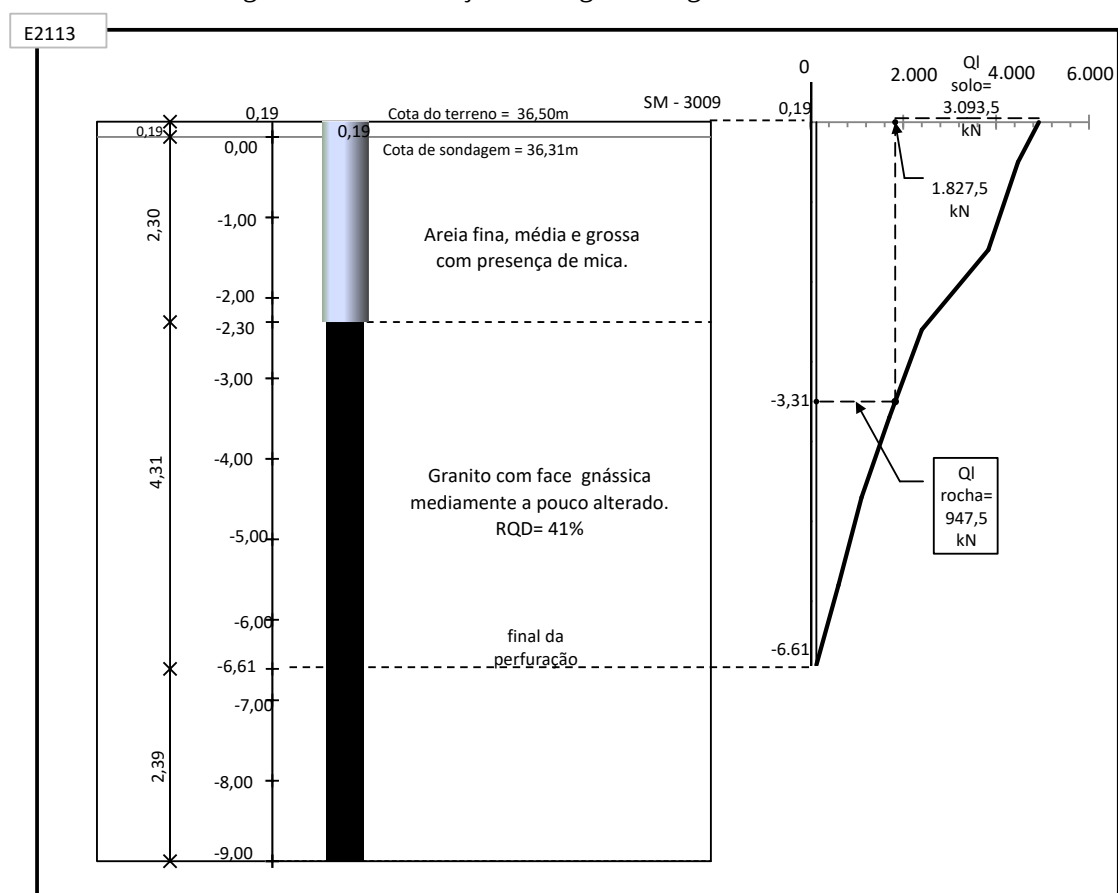


Figura 89 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2110.

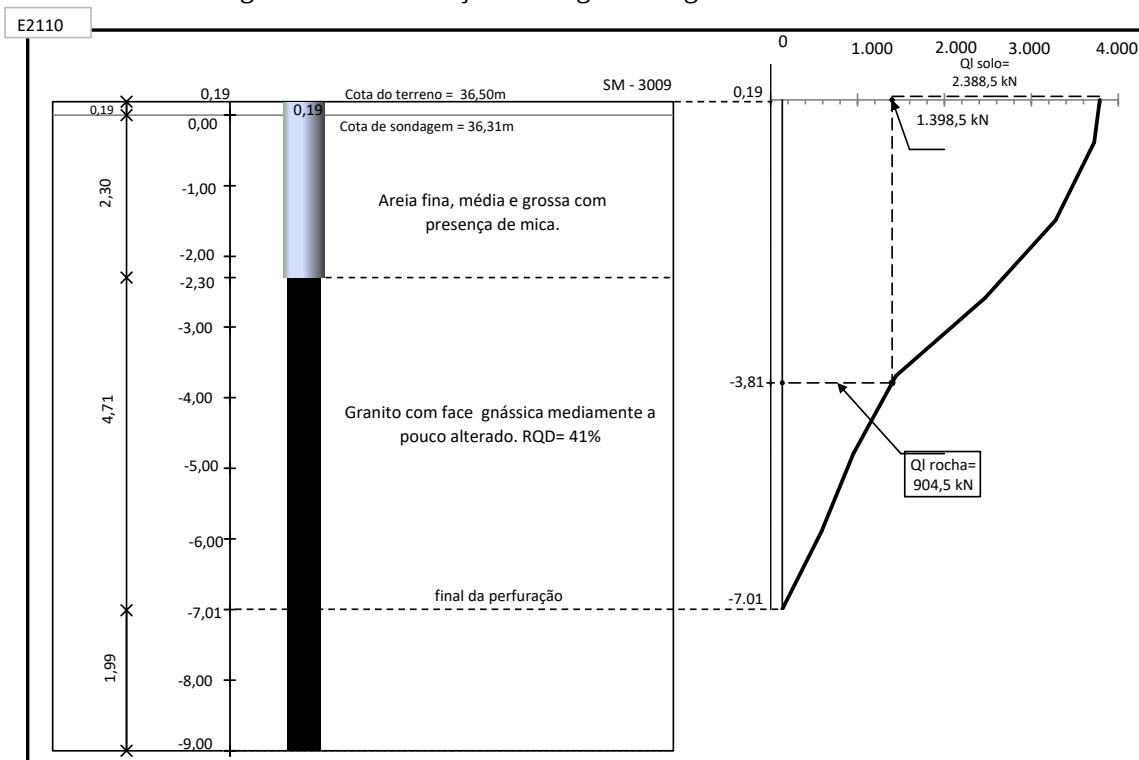


Figura 90 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2122.

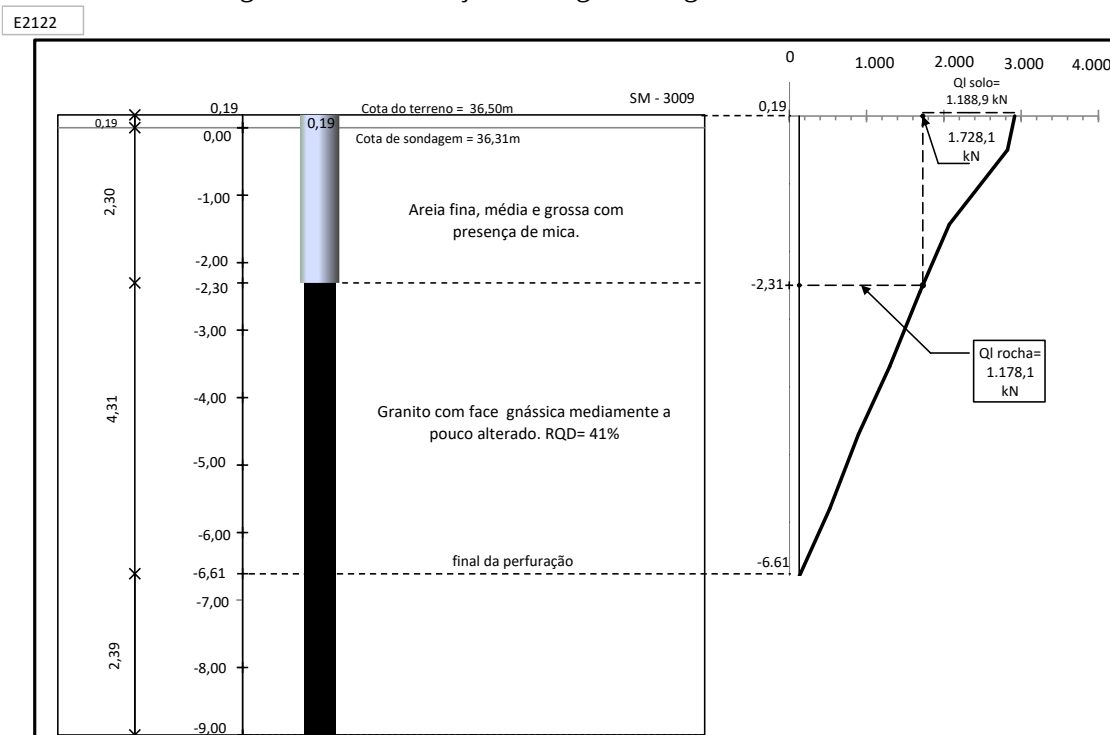


Figura 93 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2117.

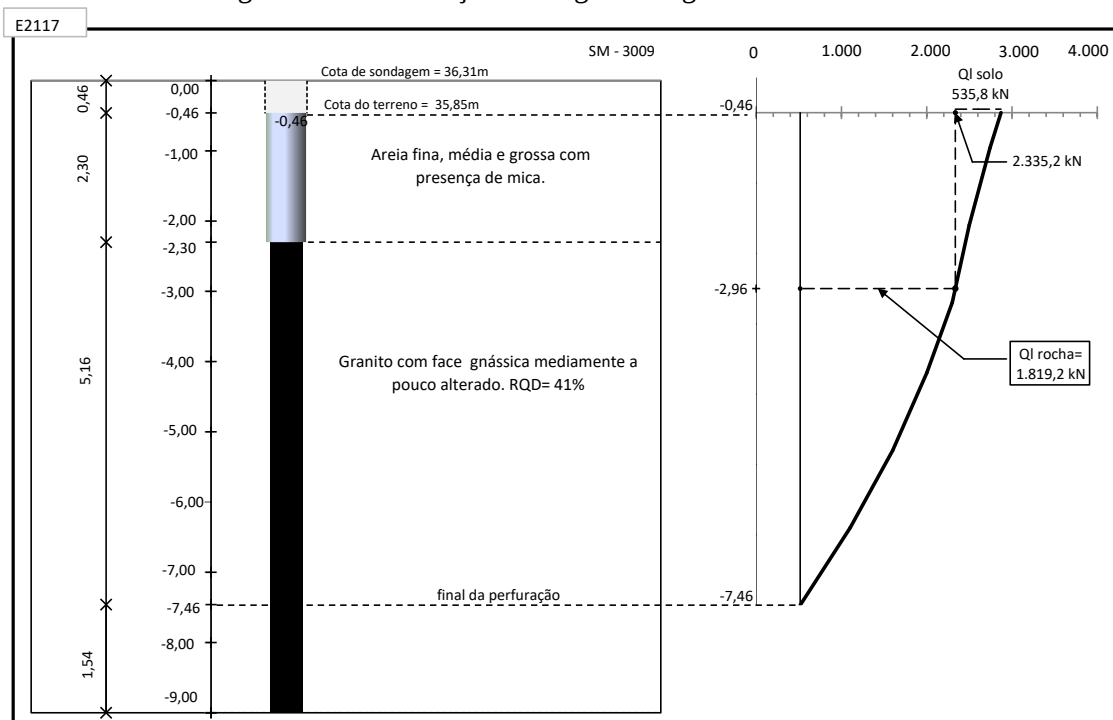


Figura 94 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2121.

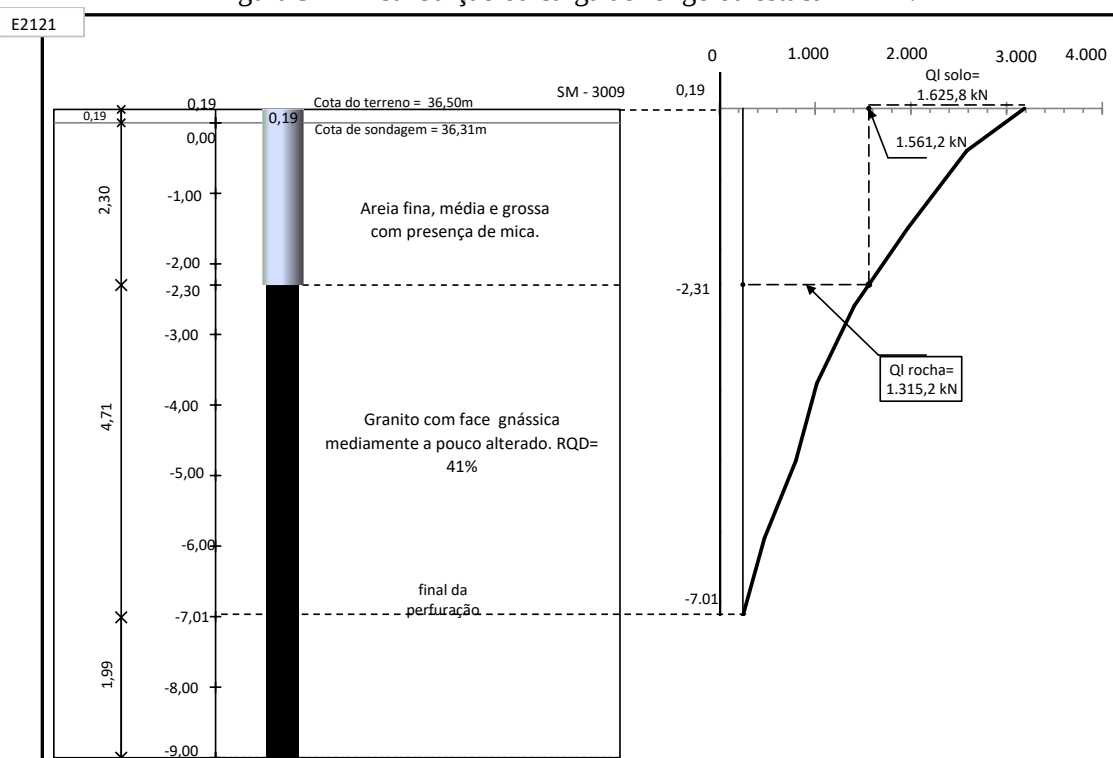


Figura 97 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2119.

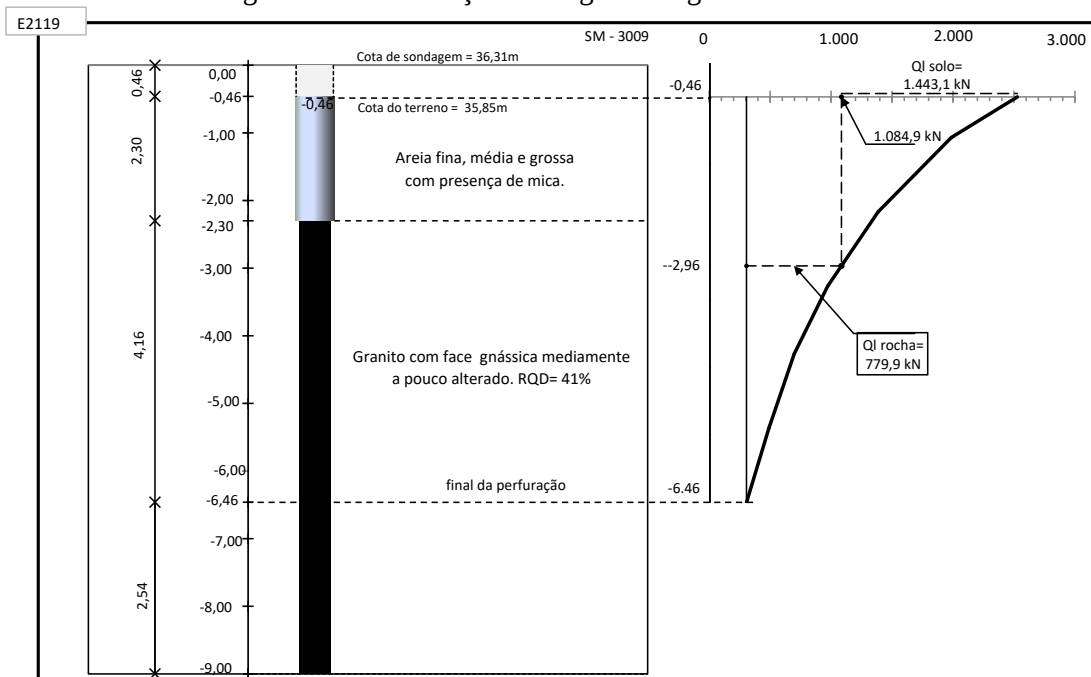


Figura 98 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2114.

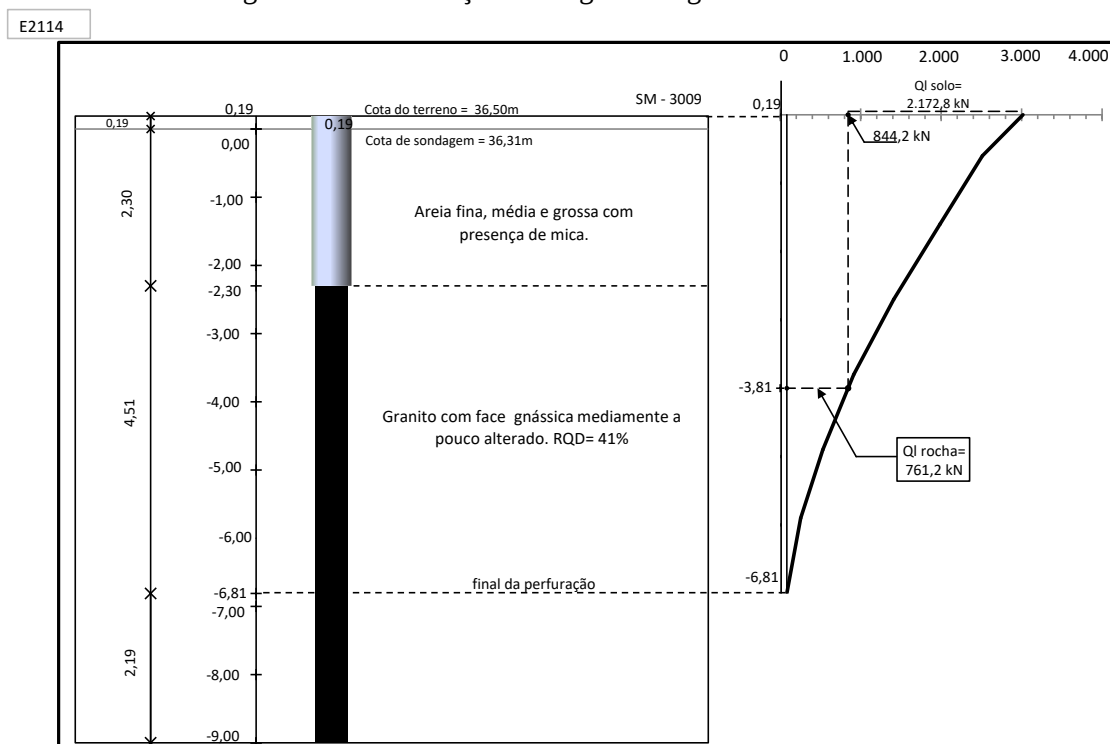


Figura 99 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2104.

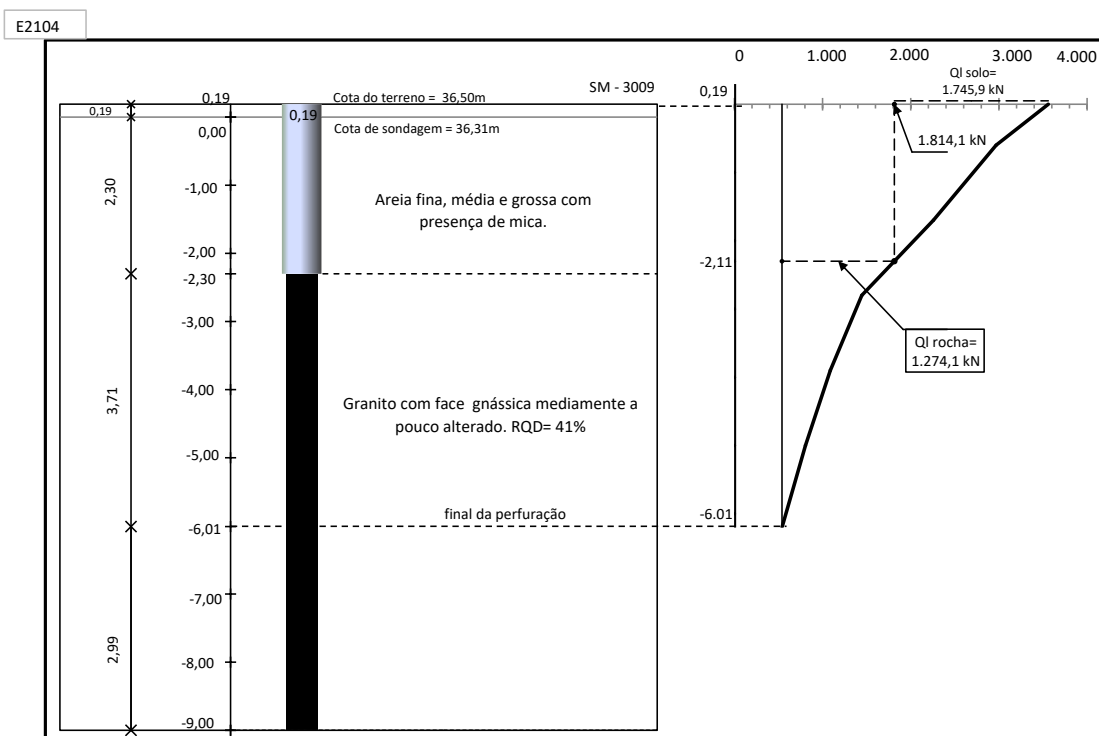


Figura 100 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2105A.

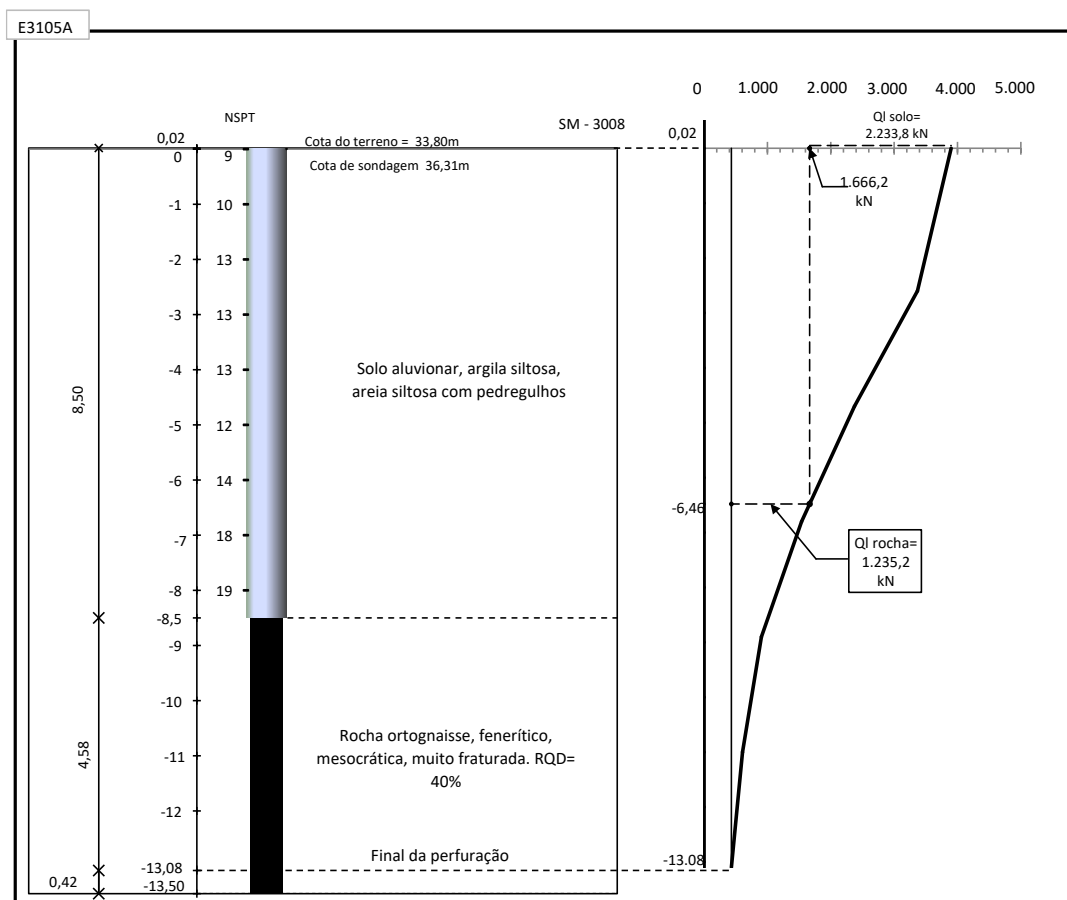


Figura 101 - Distribuição da carga ao longo da estaca E7058.

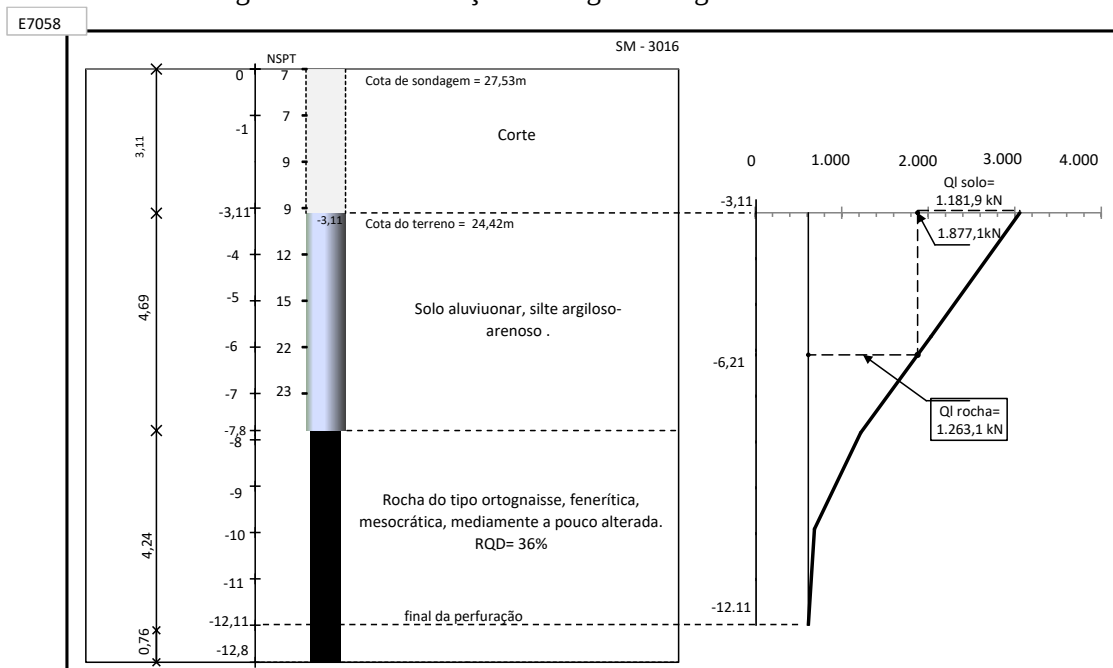
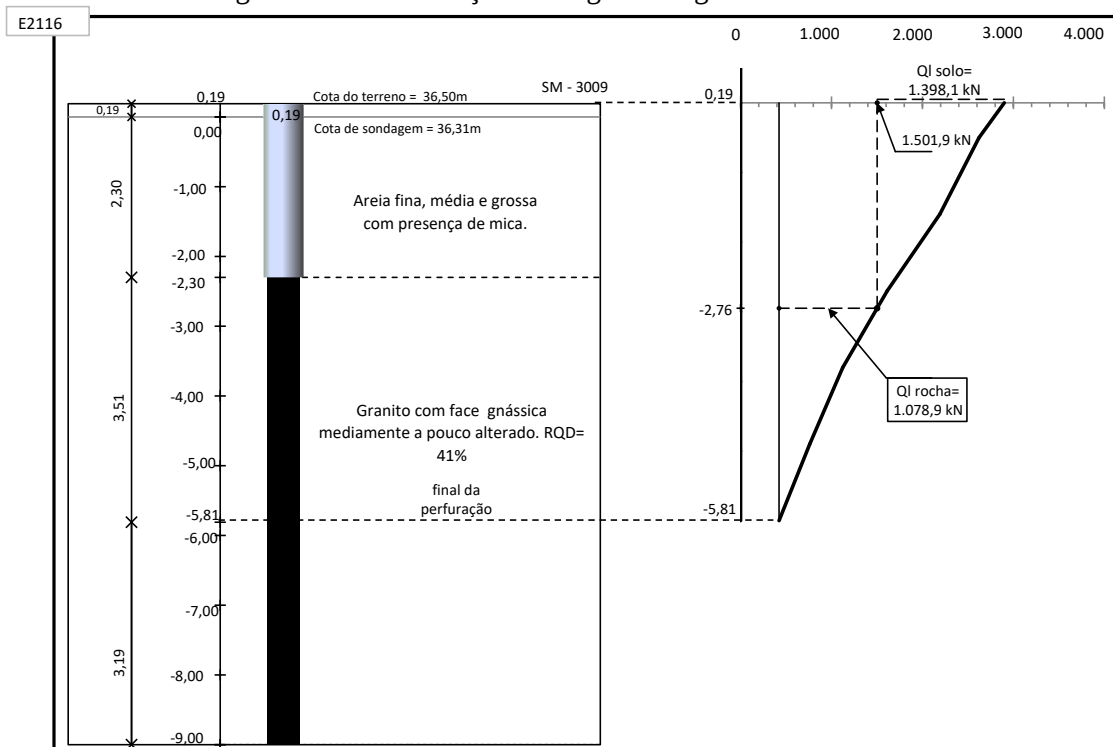


Figura 102 - Distribuição da carga ao longo da estaca E2116.



APÊNDICE C – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÃO CISALHANTE MOBILIZADA NO FUSTE PARA OS RESULTADOS CAPWAP PARA AS 99 ESTACAS ENSAIADAS

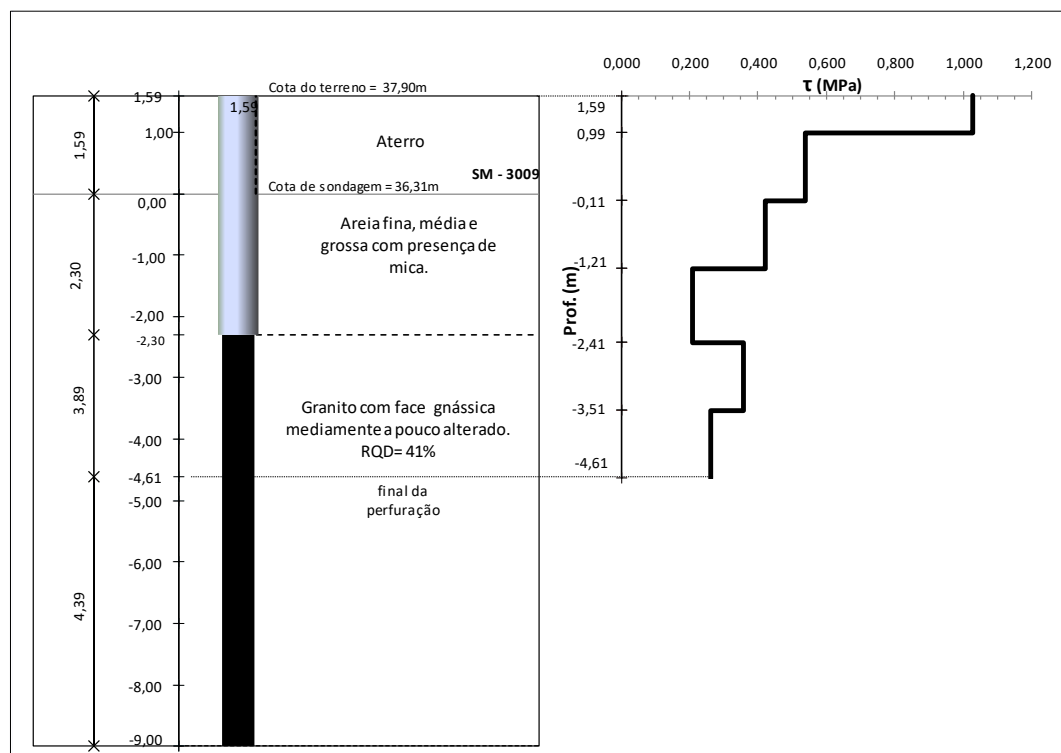


Figura 1 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2096

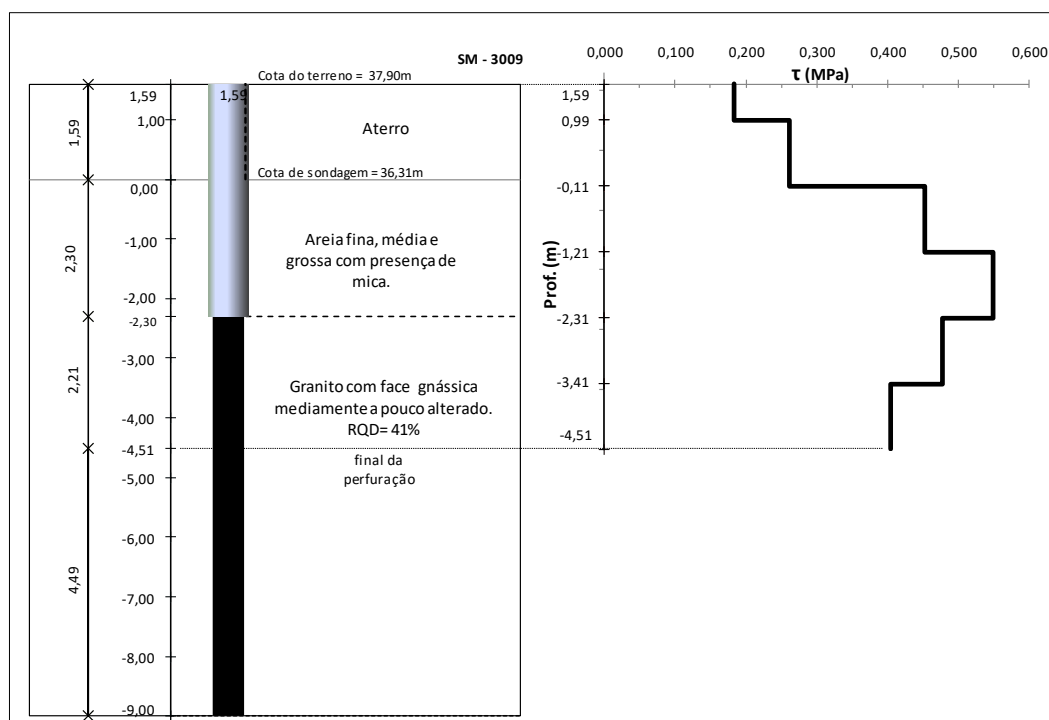


Figura 2 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2097

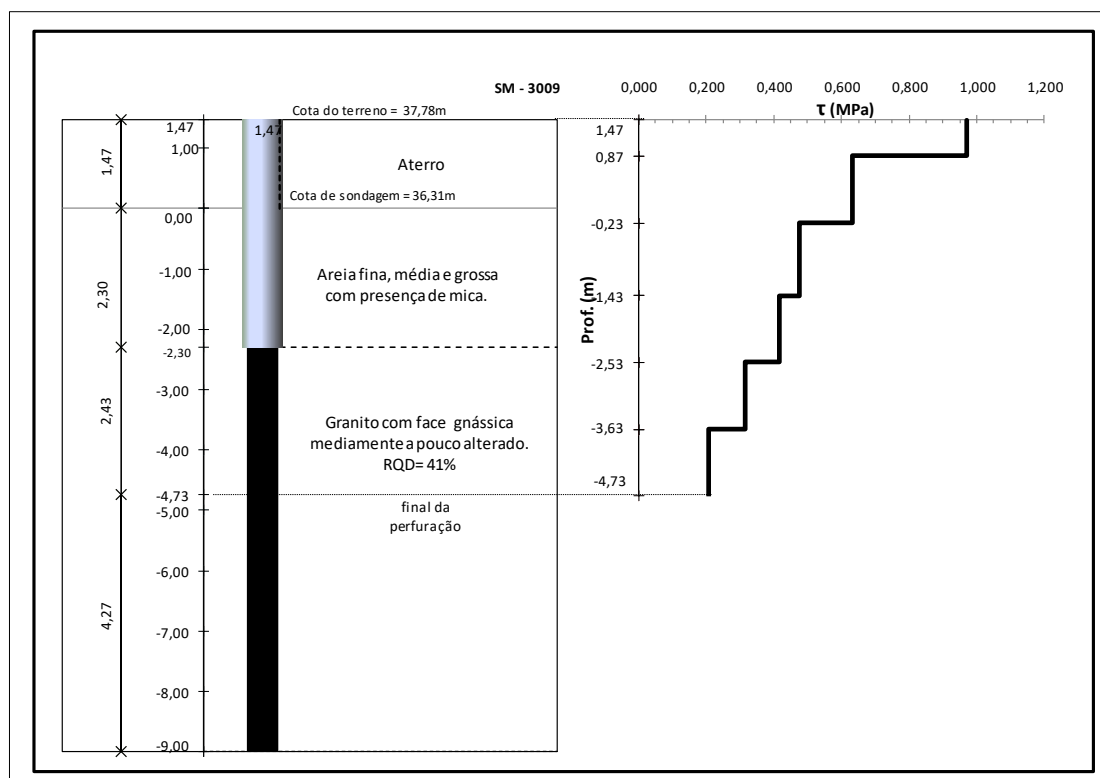


Figura 3 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2098

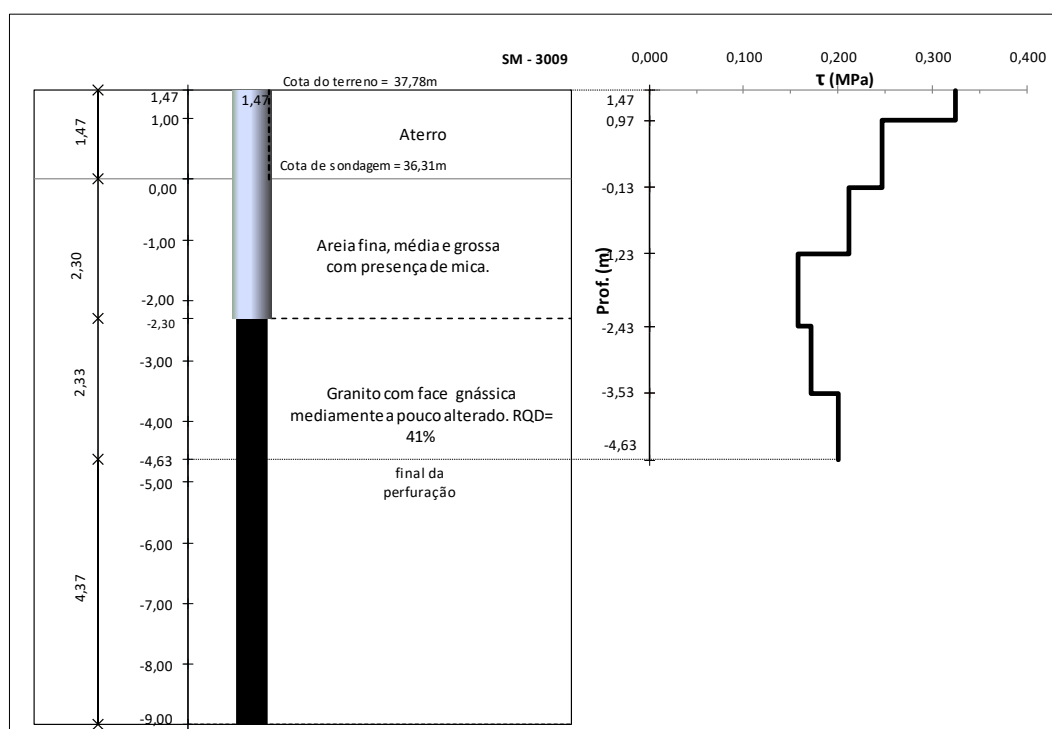


Figura 4 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2099

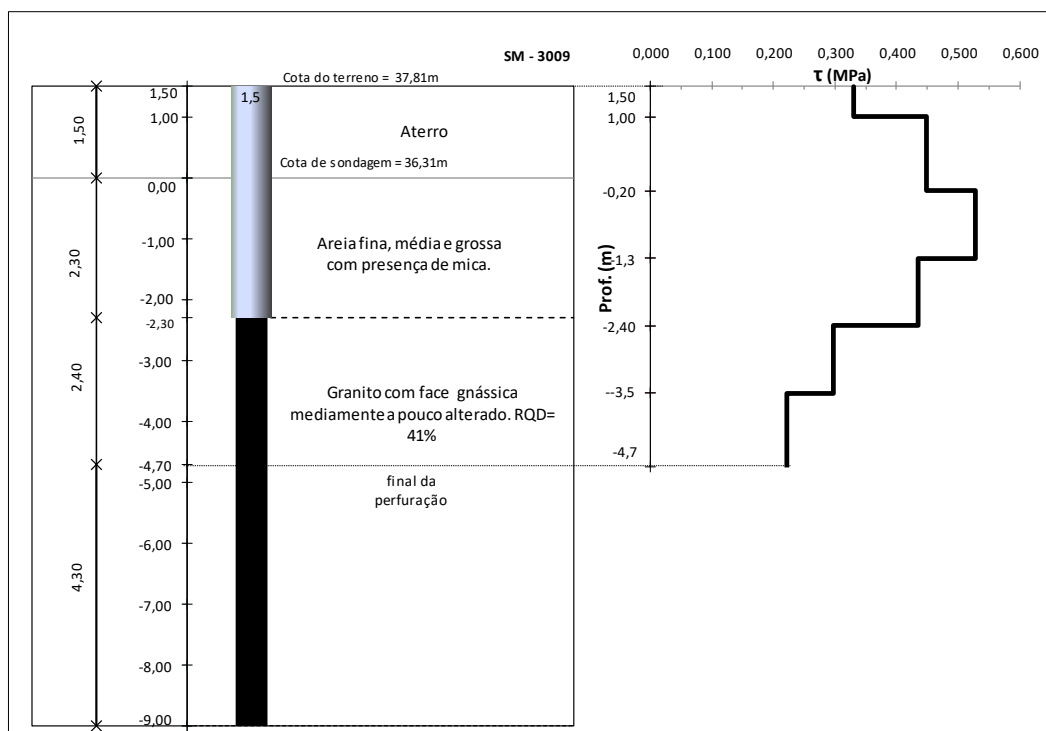


Figura 5 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2102

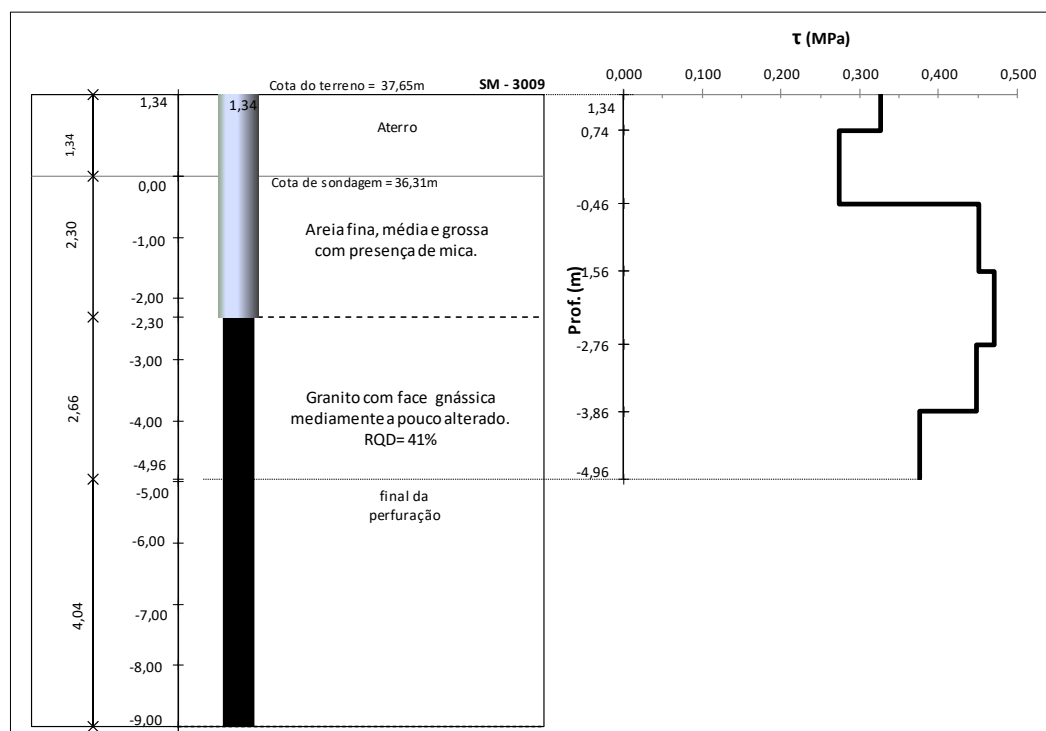


Figura 6 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2120

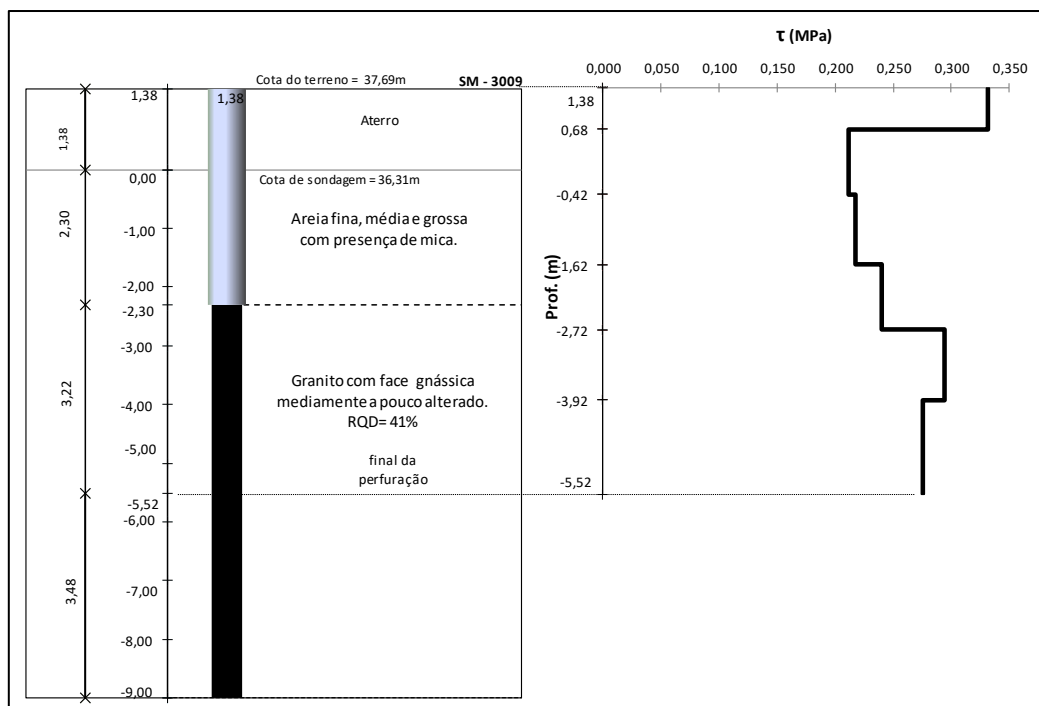


Figura 7 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2123

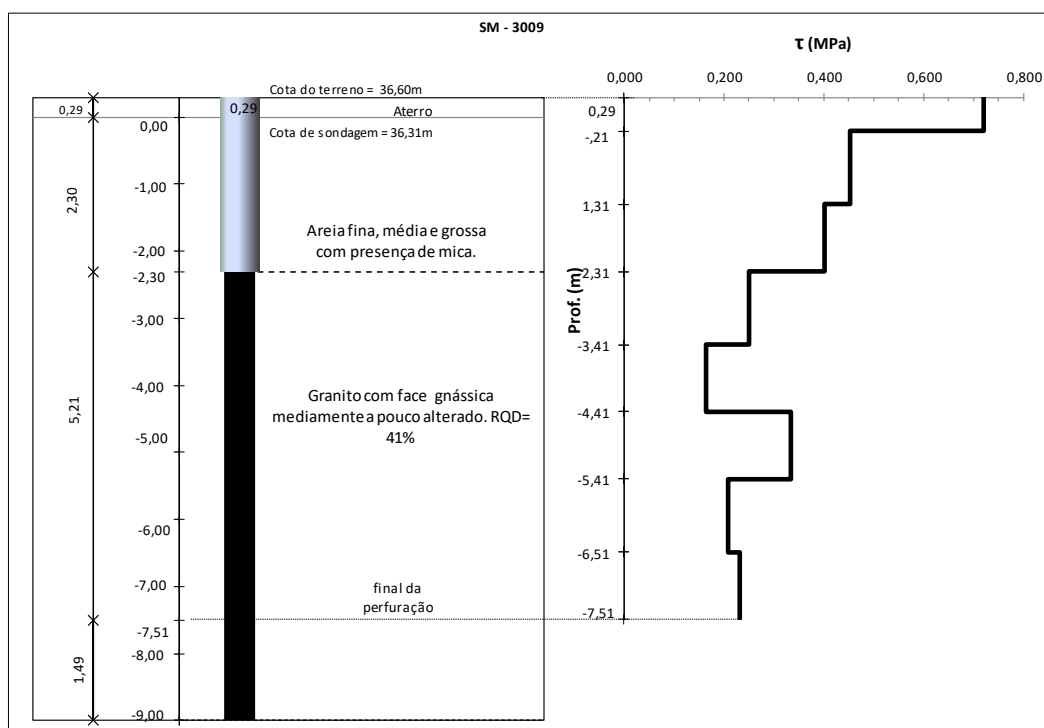


Figura 8 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2124

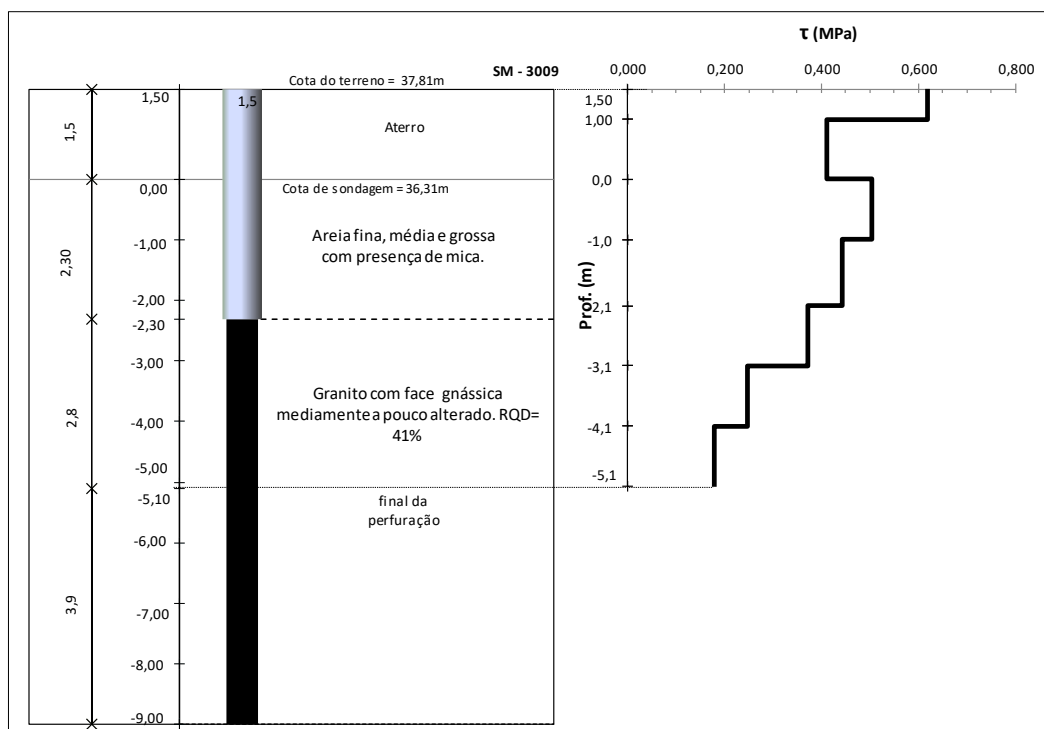


Figura 9 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2131

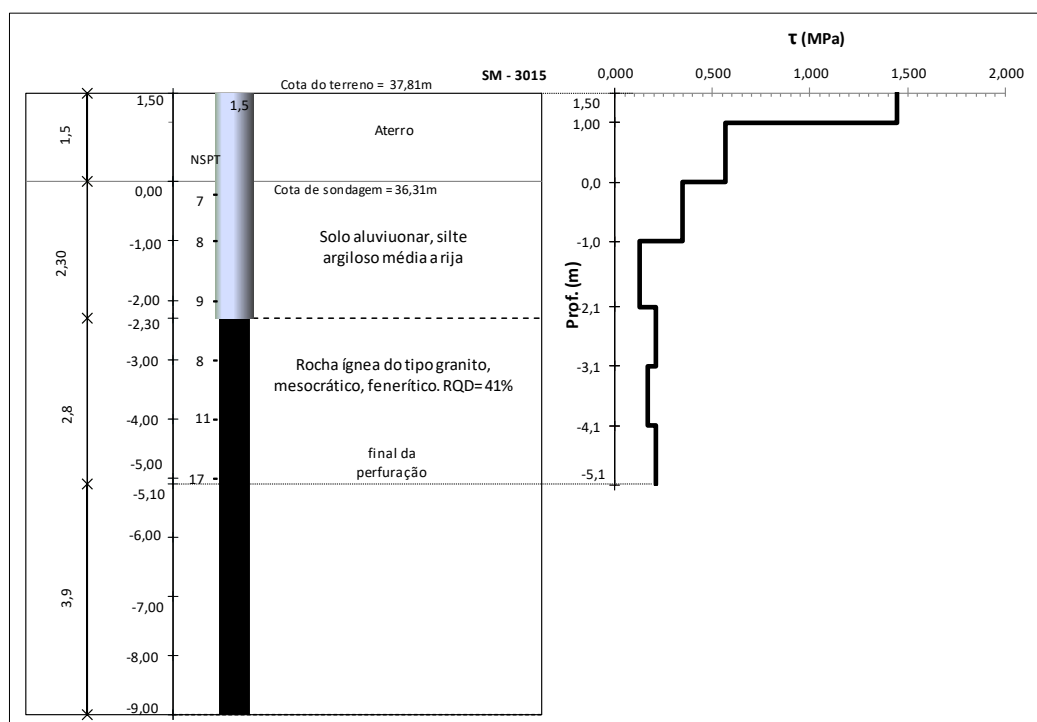


Figura 10 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2132

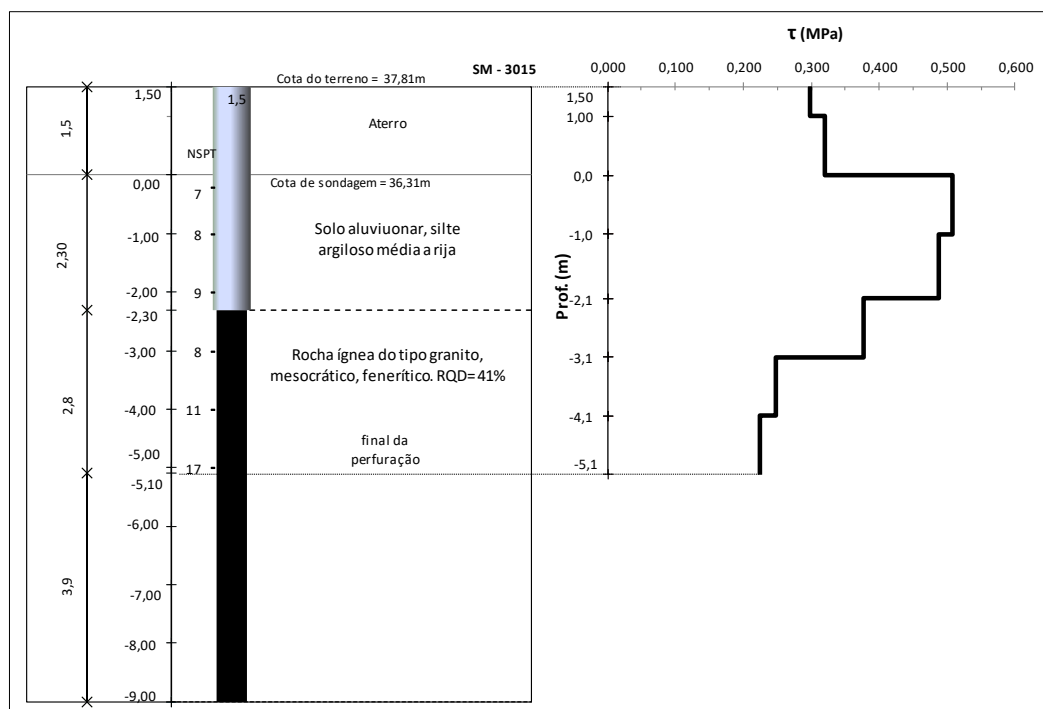


Figura 11 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2132

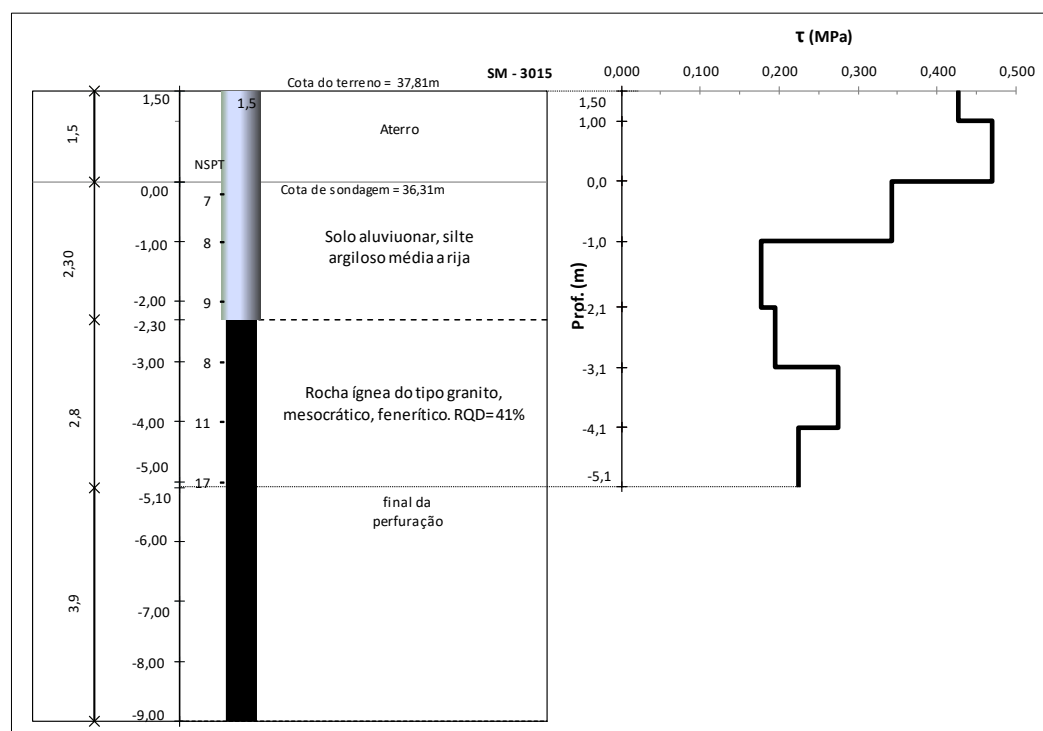


Figura 12 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2134

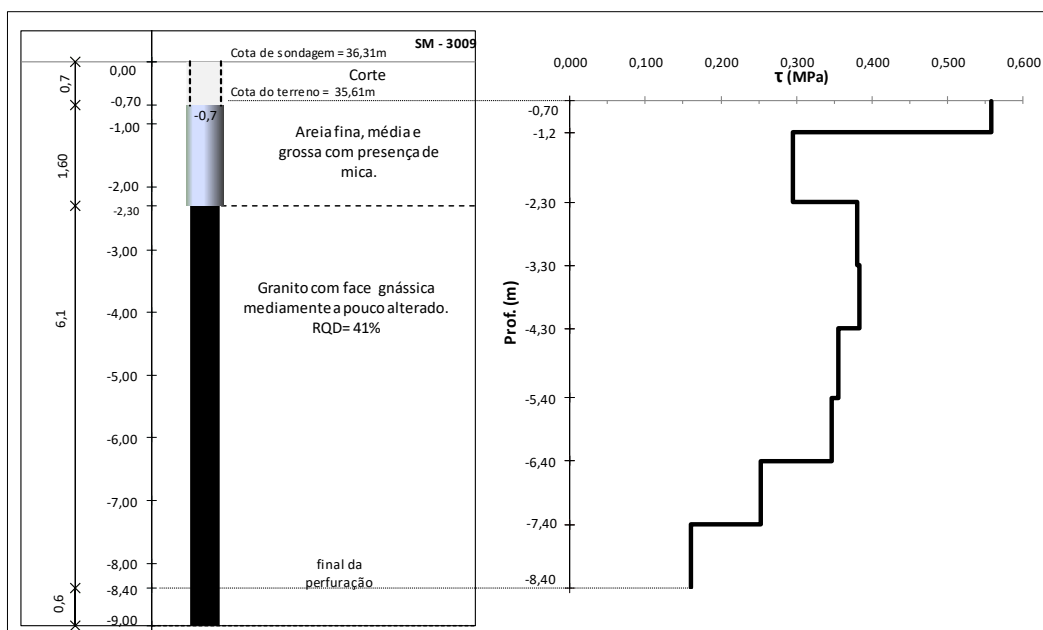


Figura 13 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2066A

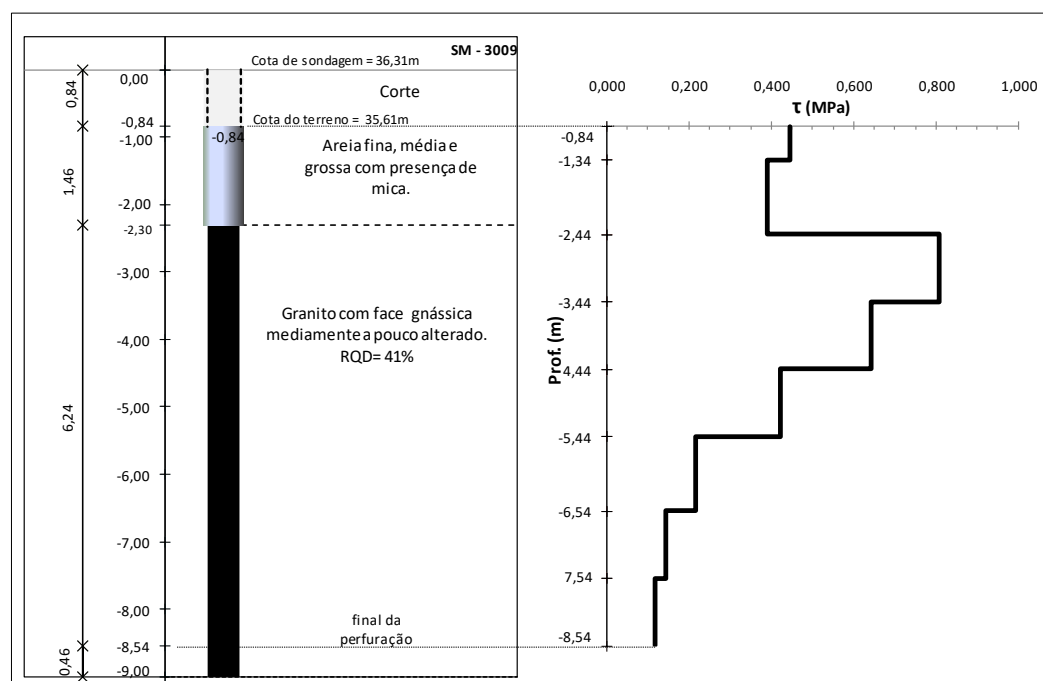


Figura 14 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2072A

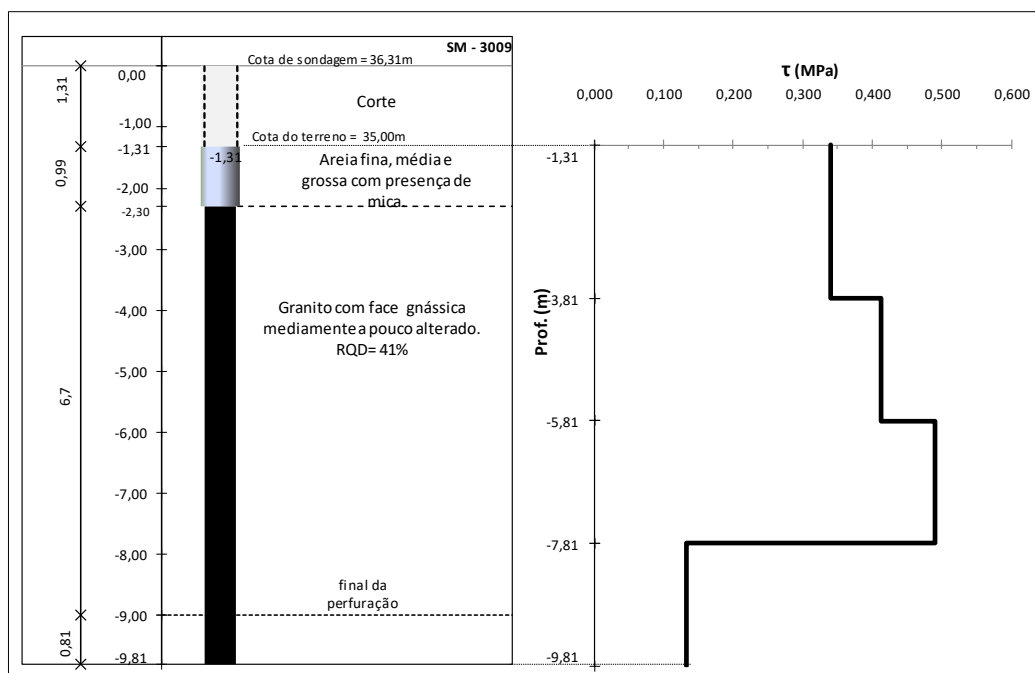


Figura 15 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2094A

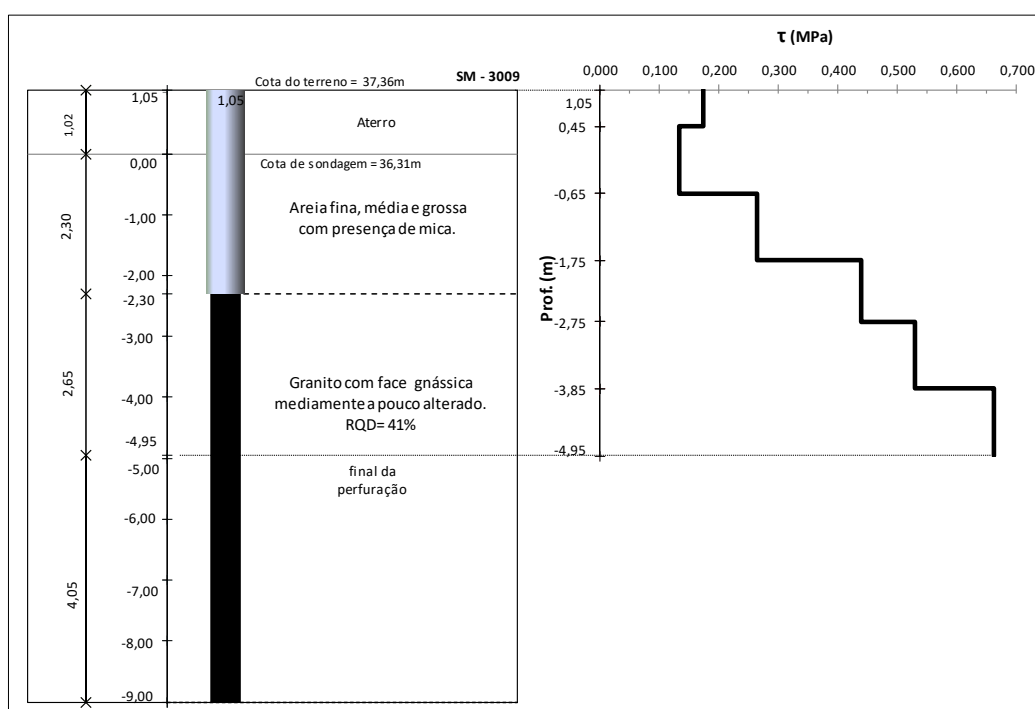


Figura 16 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2118

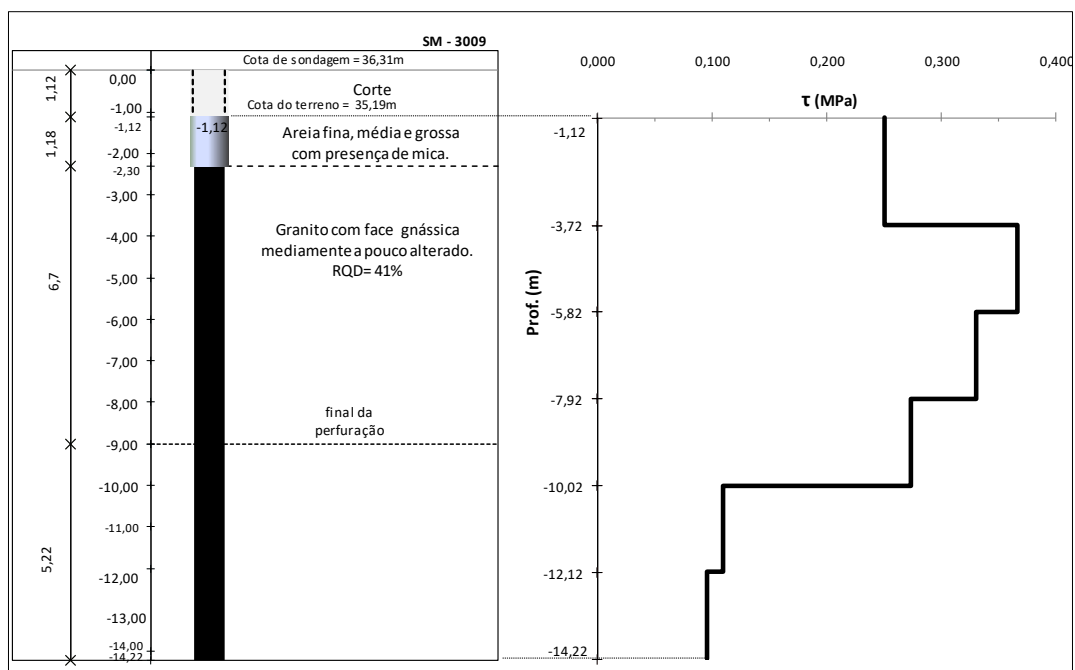


Figura 17 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2059A

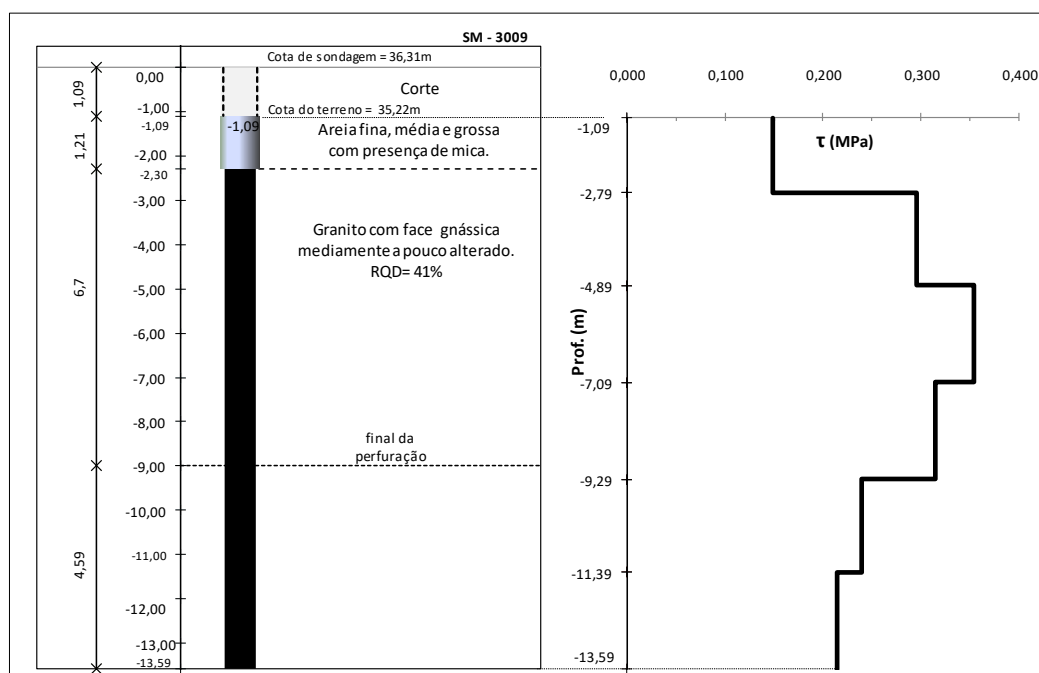


Figura 18 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2064A

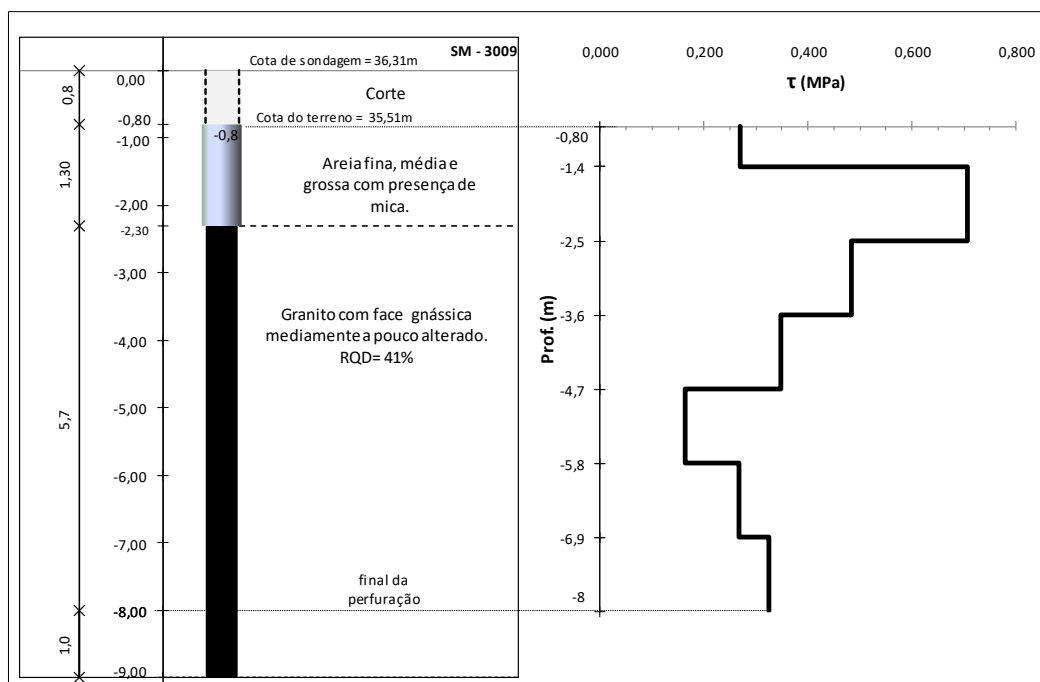


Figura 19 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2087B

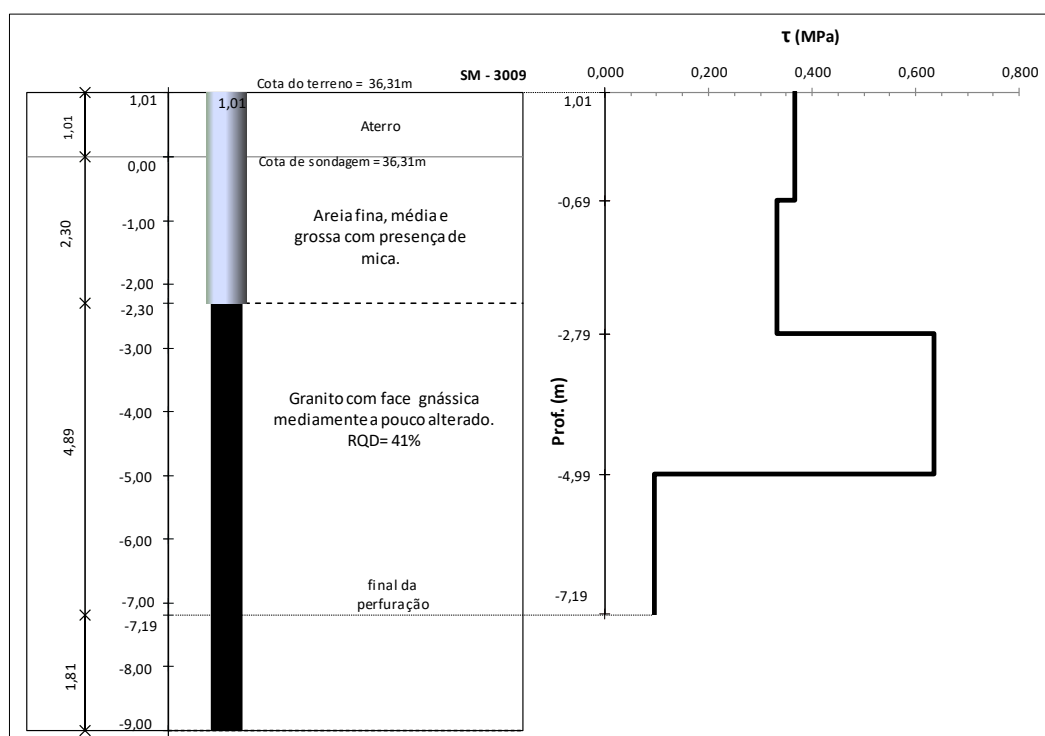


Figura 20 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2111

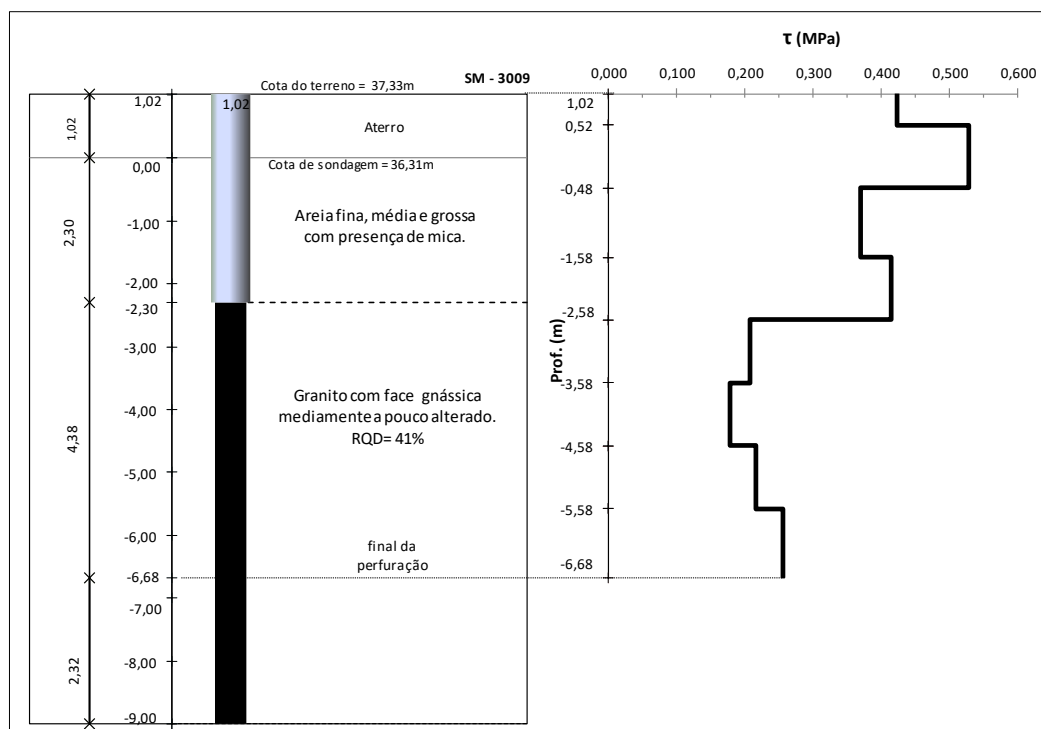


Figura 21 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2112

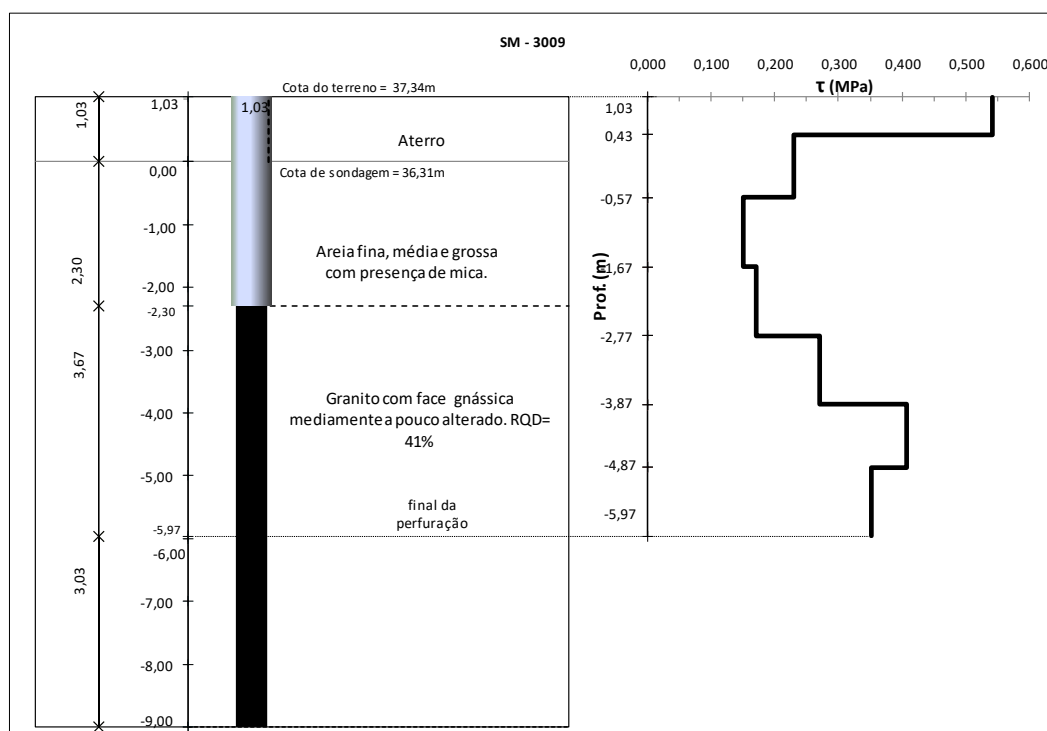


Figura 22 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2105

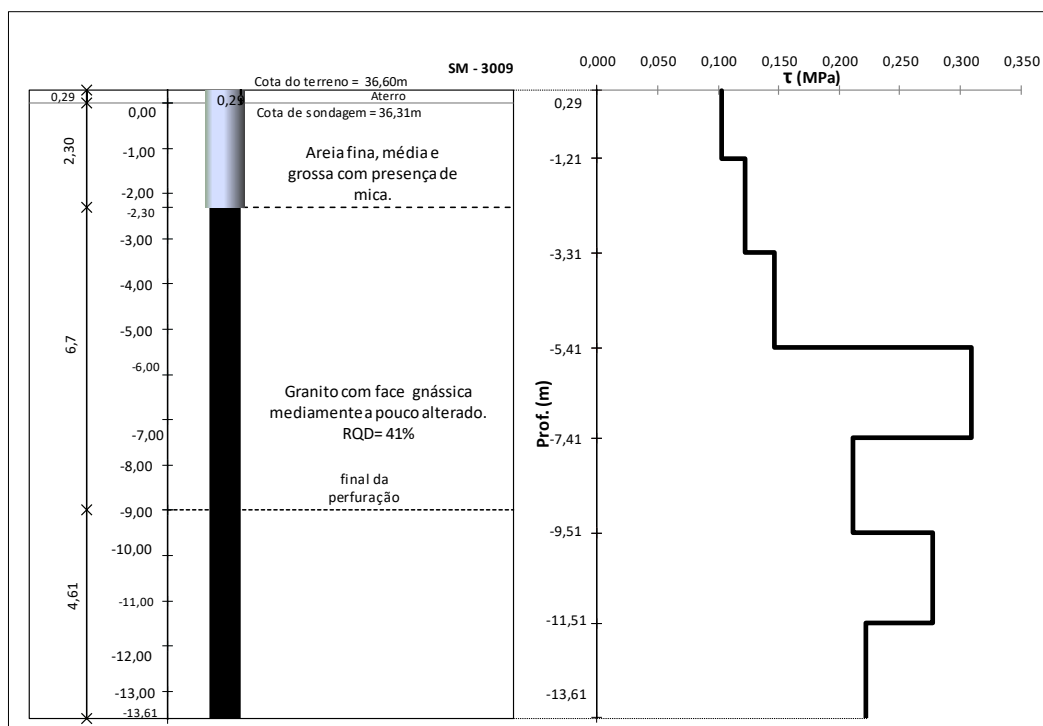


Figura 23 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2108A

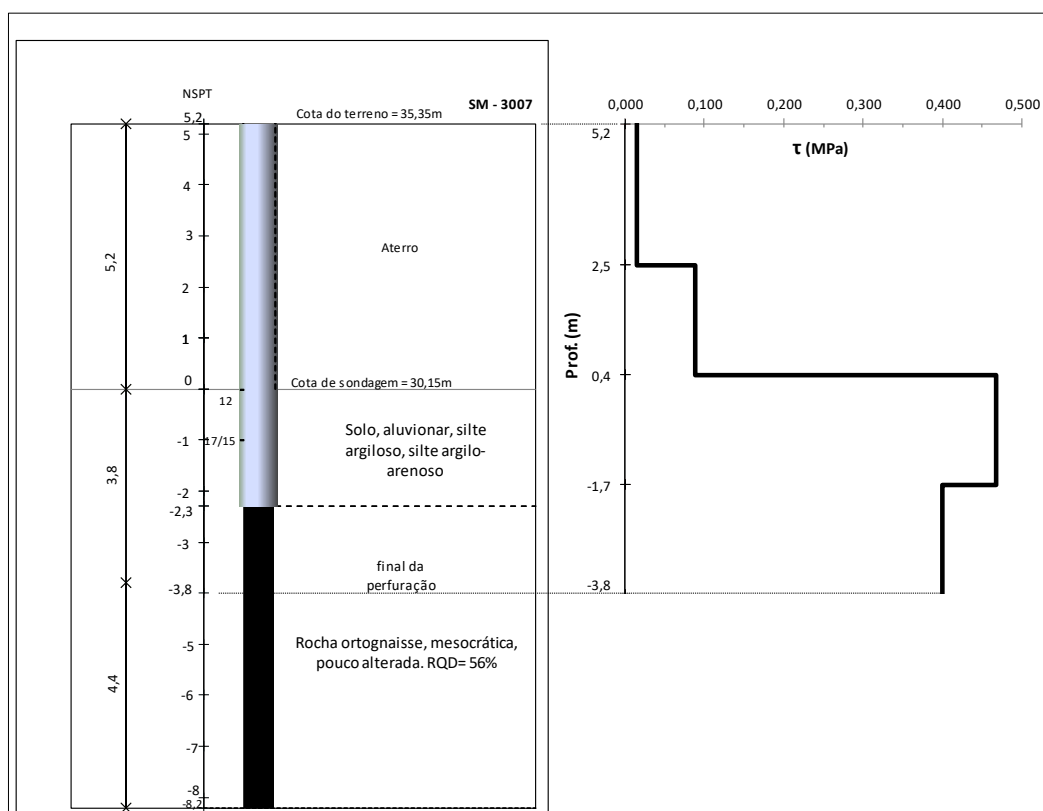


Figura 24 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2023B

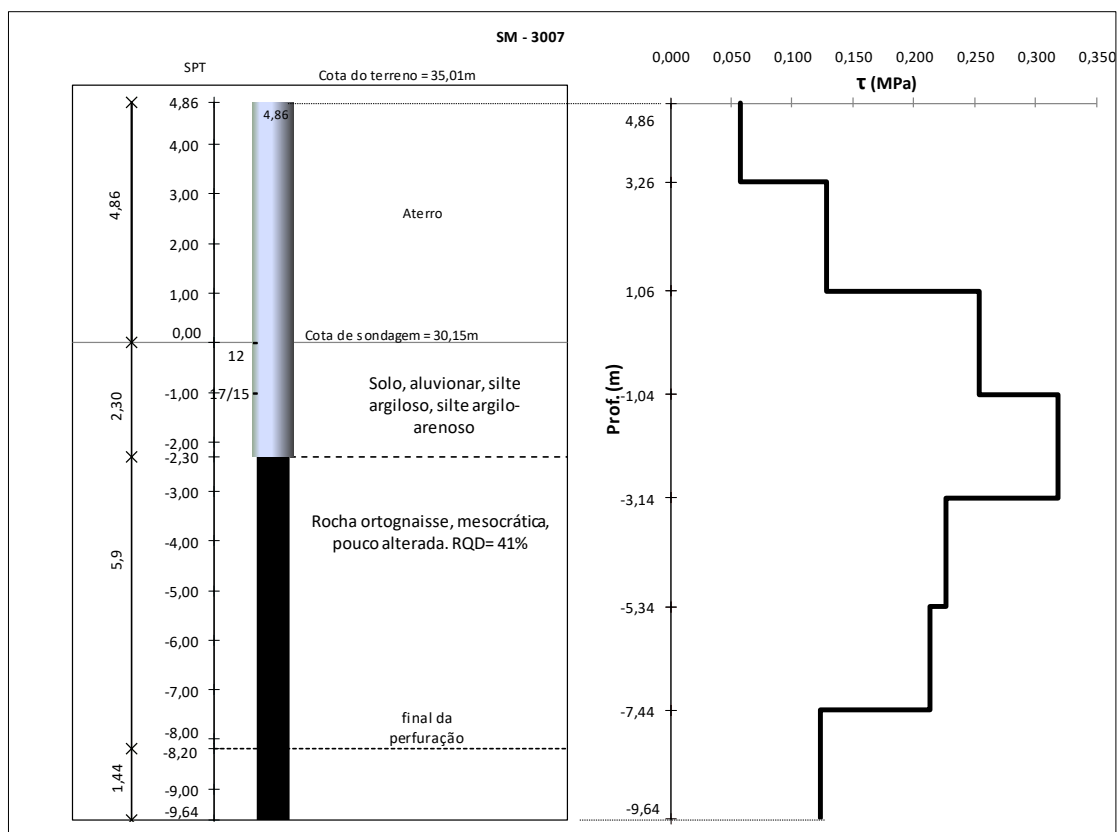


Figura 25 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2033A

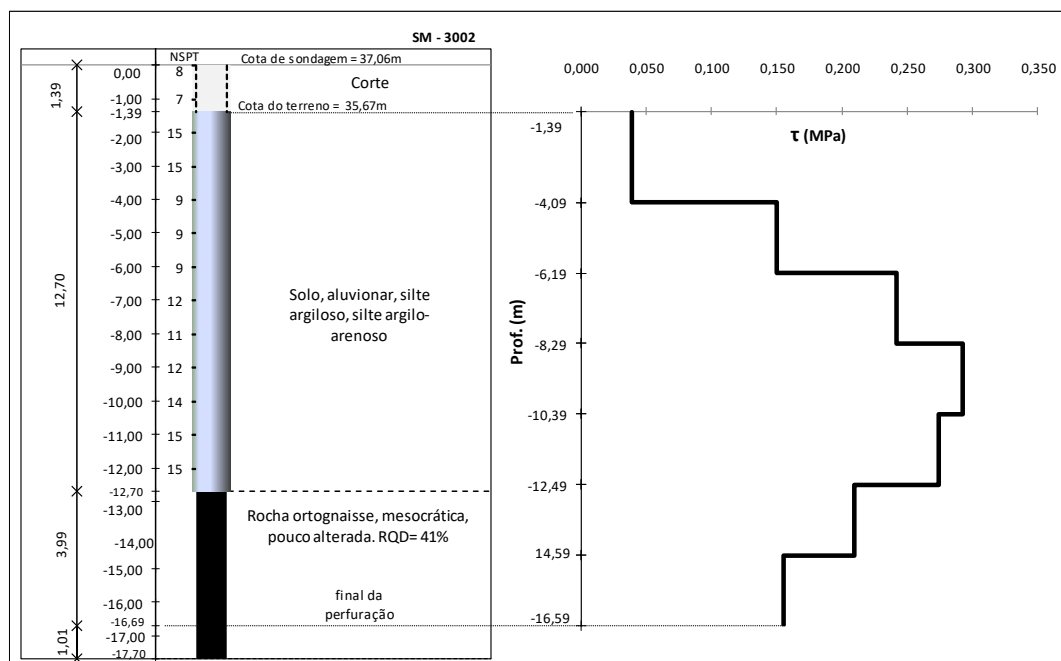


Figura 26 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2057A

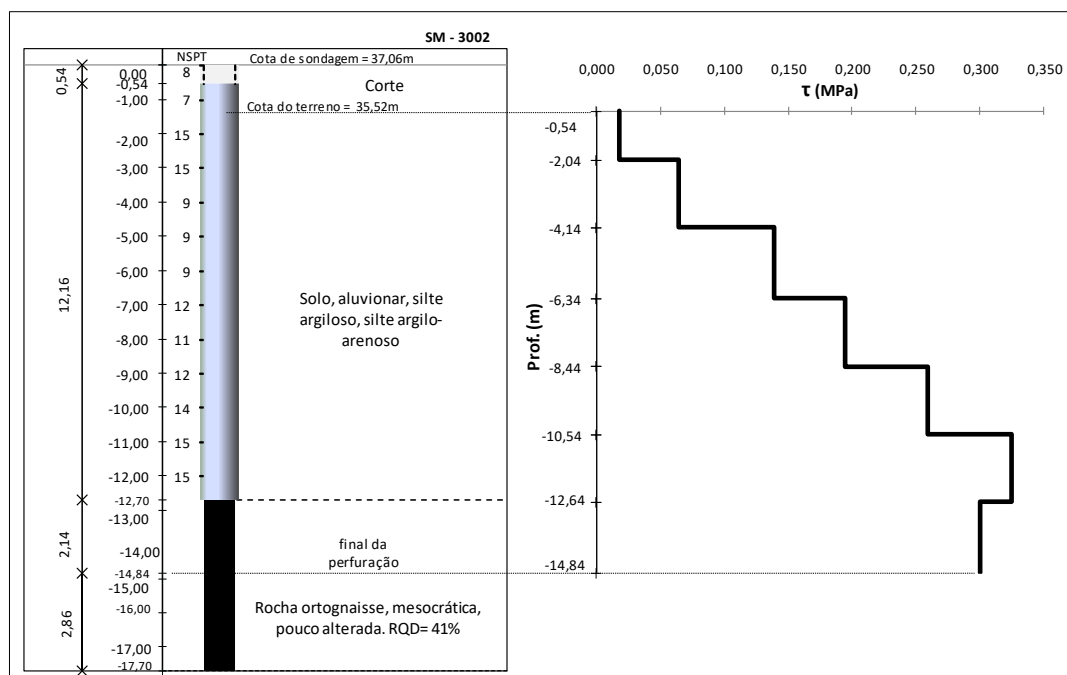


Figura 27 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2079A

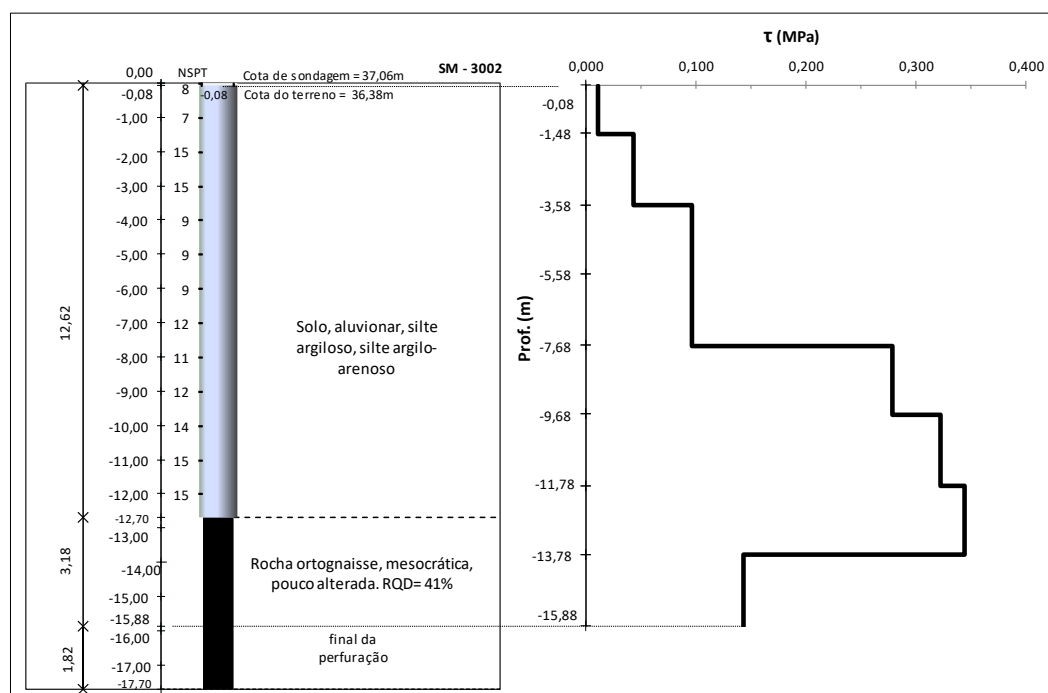


Figura 28 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2127A

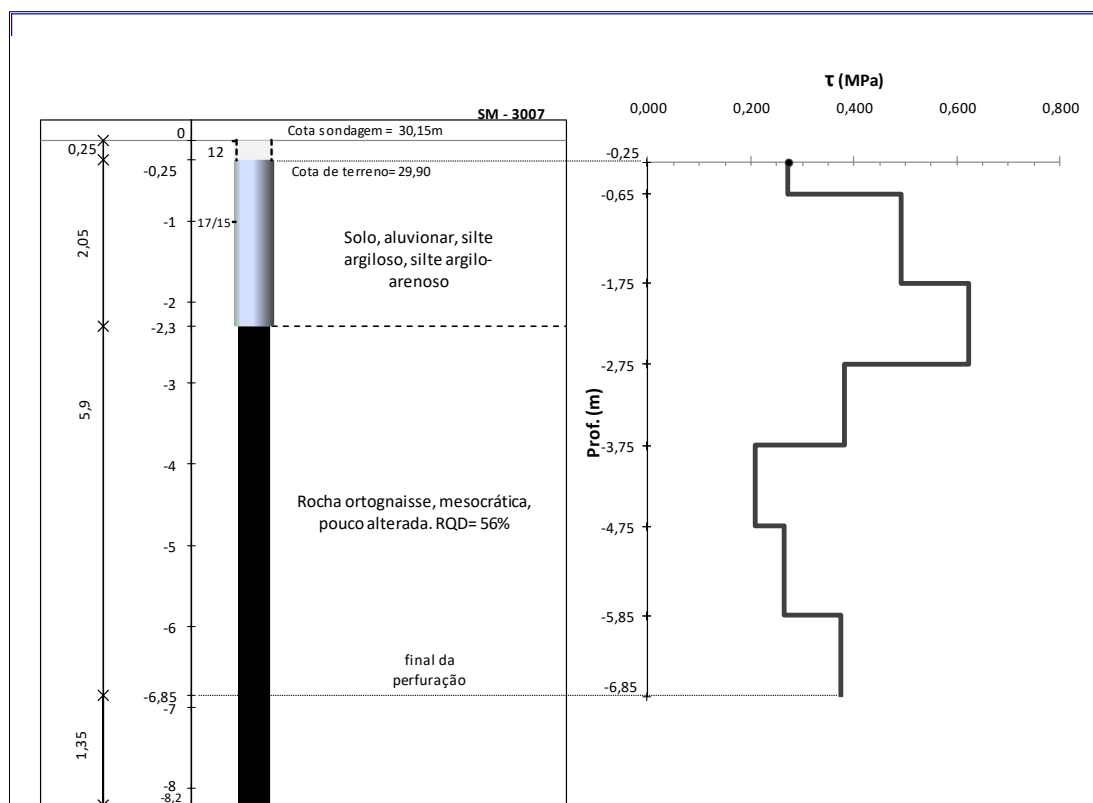


Figura 29 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E44B

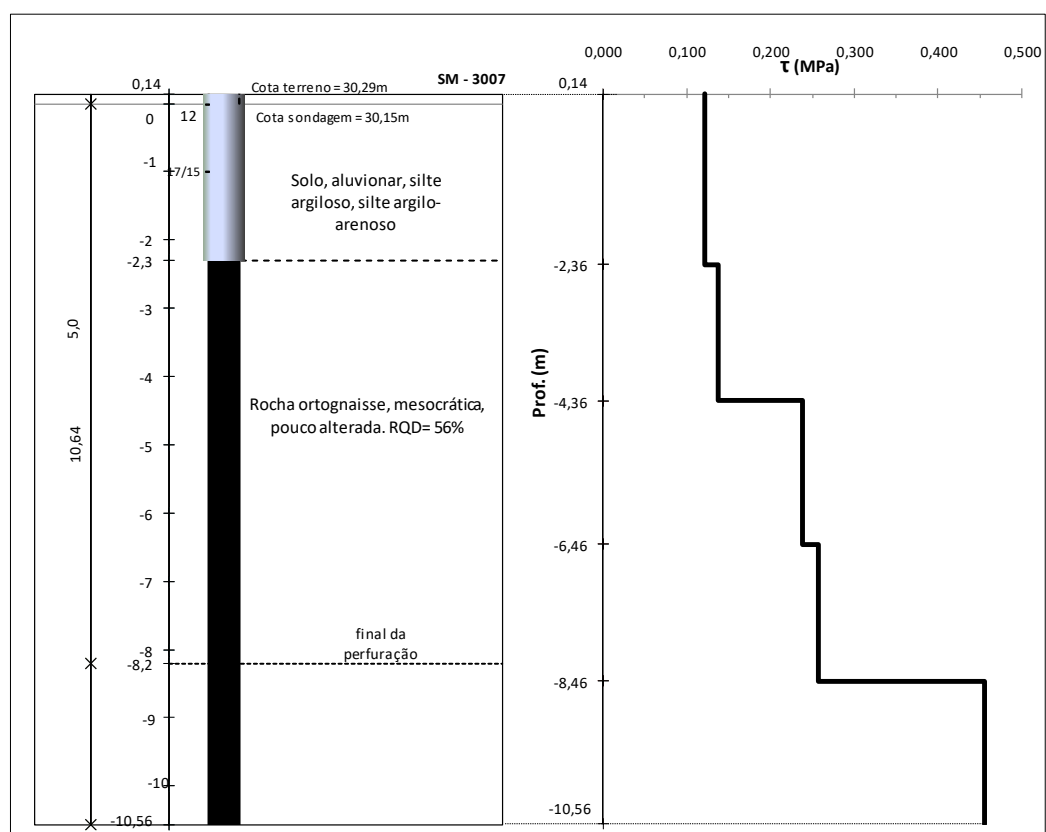


Figura 30 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E49A

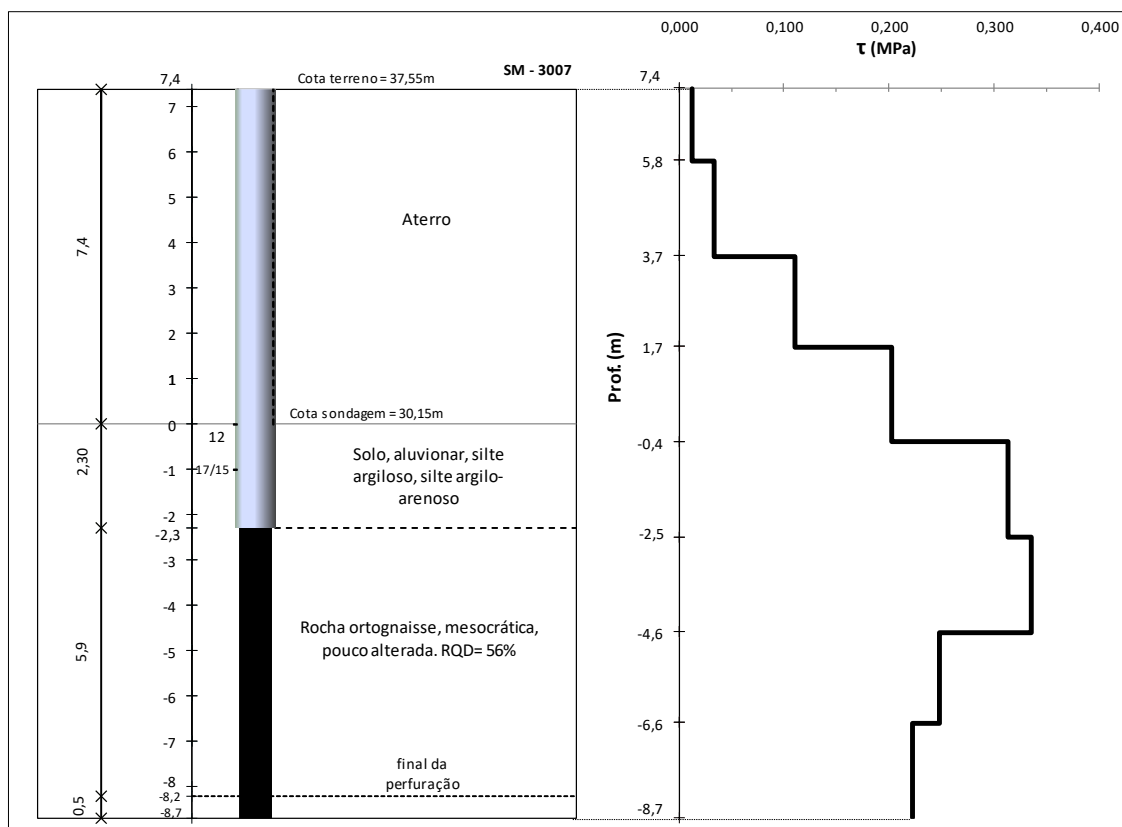


Figura 31 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E54A

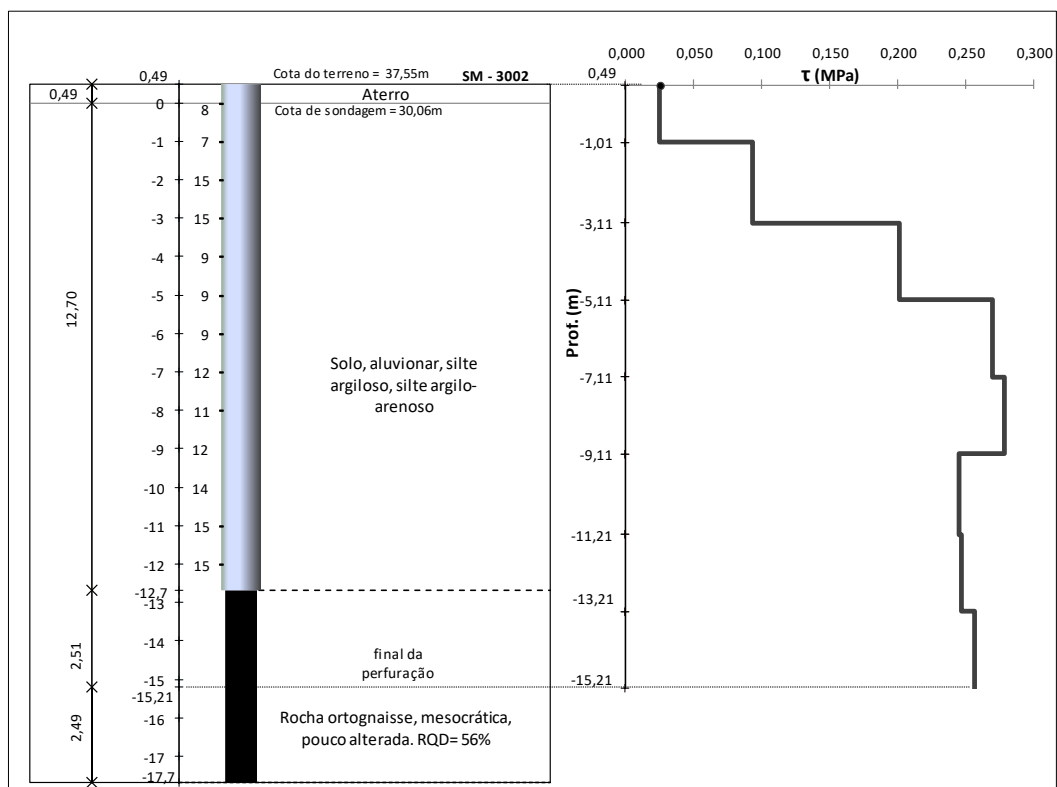


Figura 32 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E37A

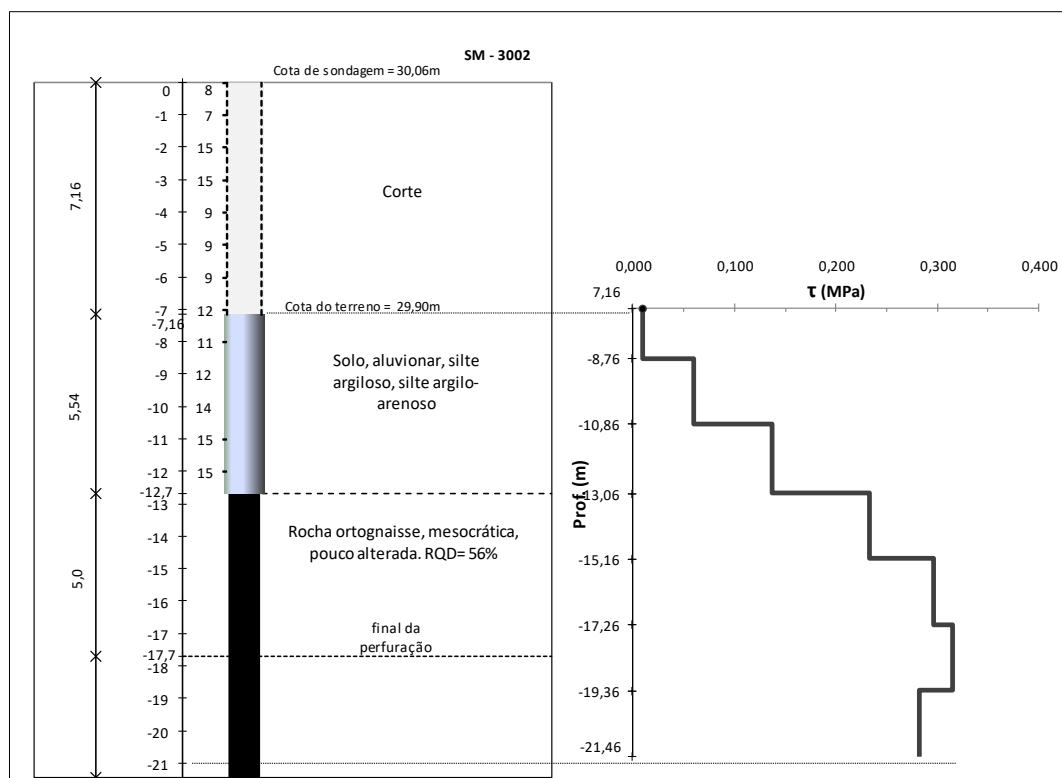


Figura 33 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E42A

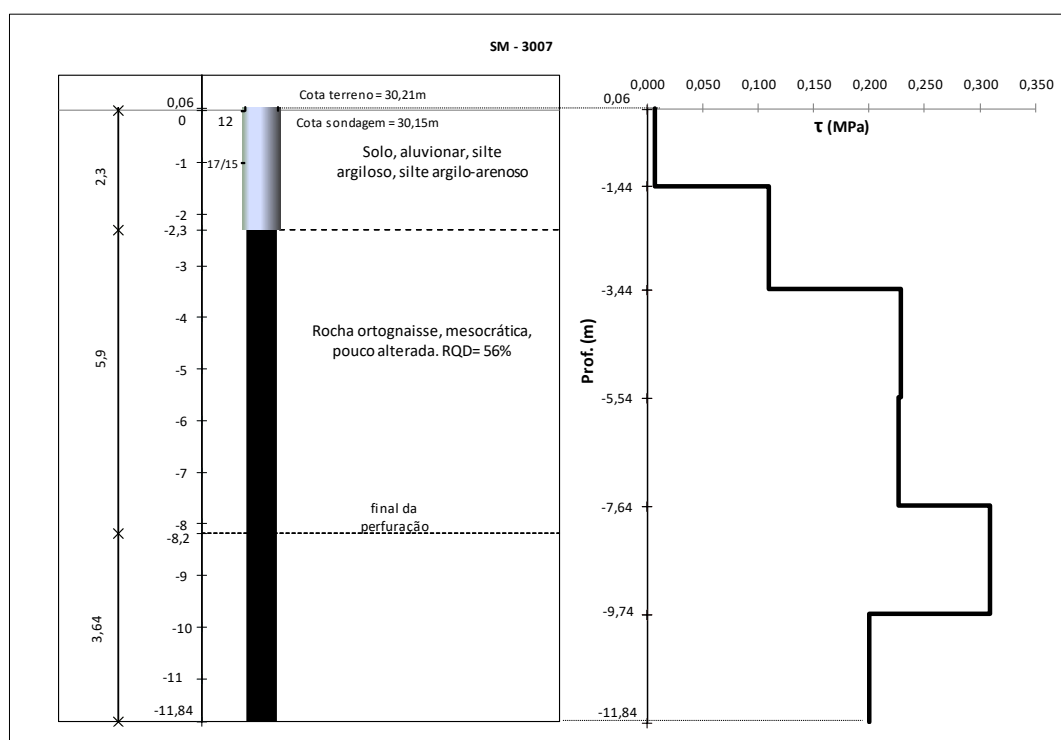


Figura 34 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E79A

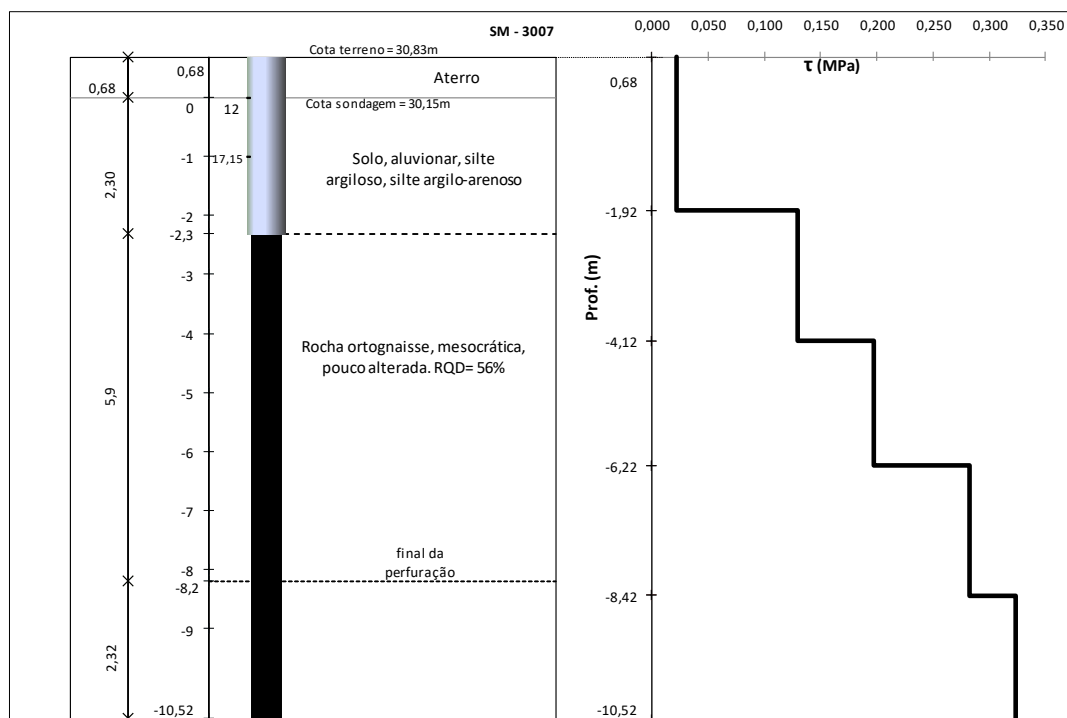


Figura 35 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E80A

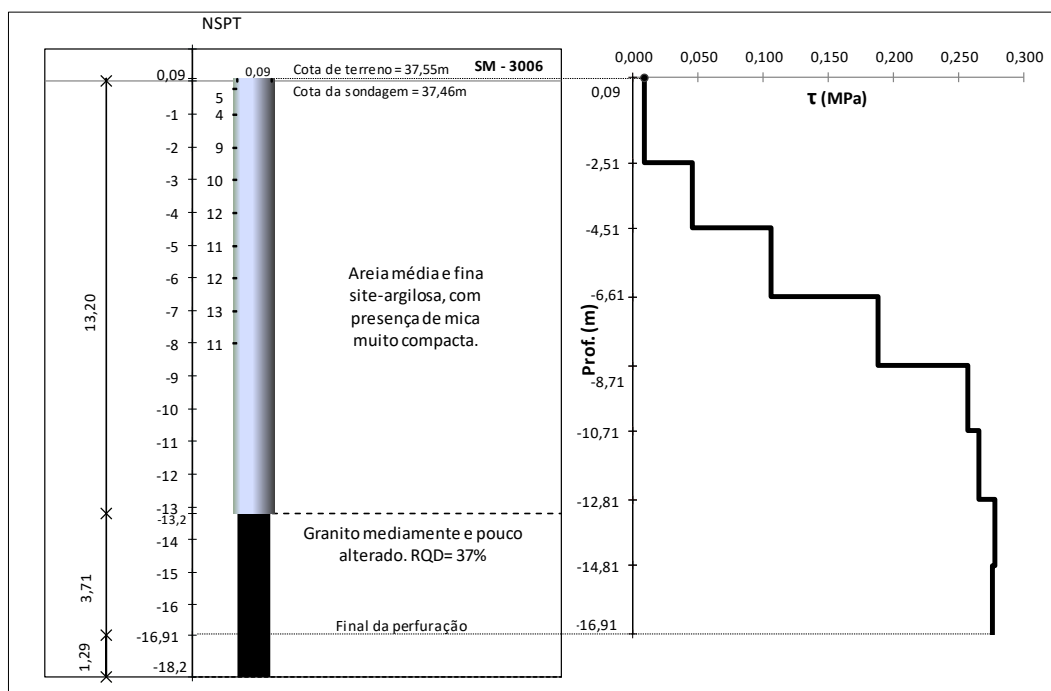


Figura 36 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E84A

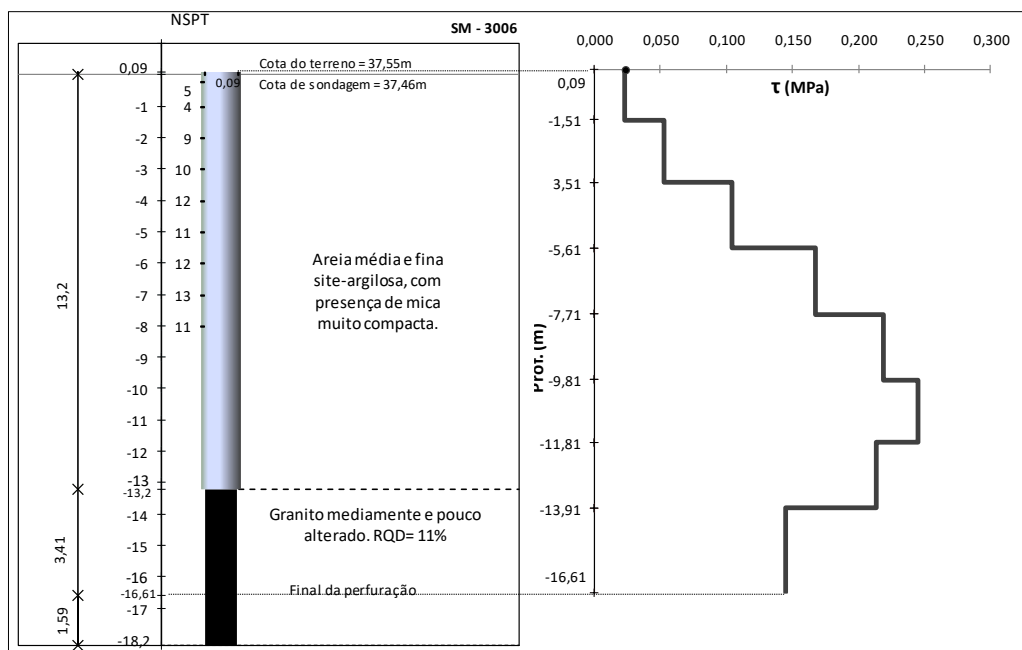


Figura 37 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E85A

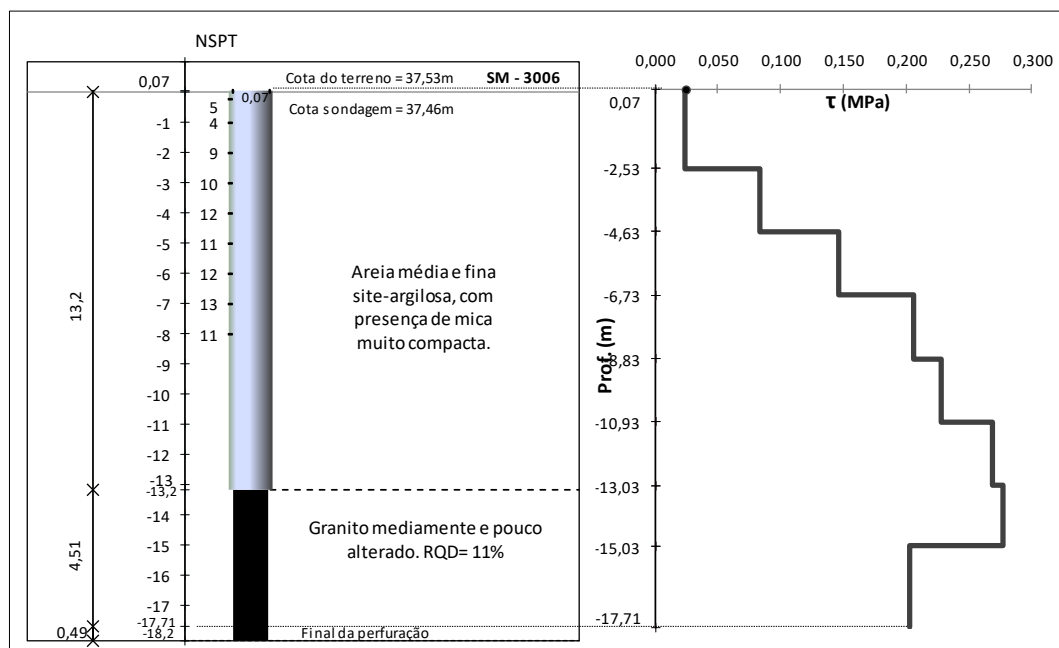


Figura 38 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E90A

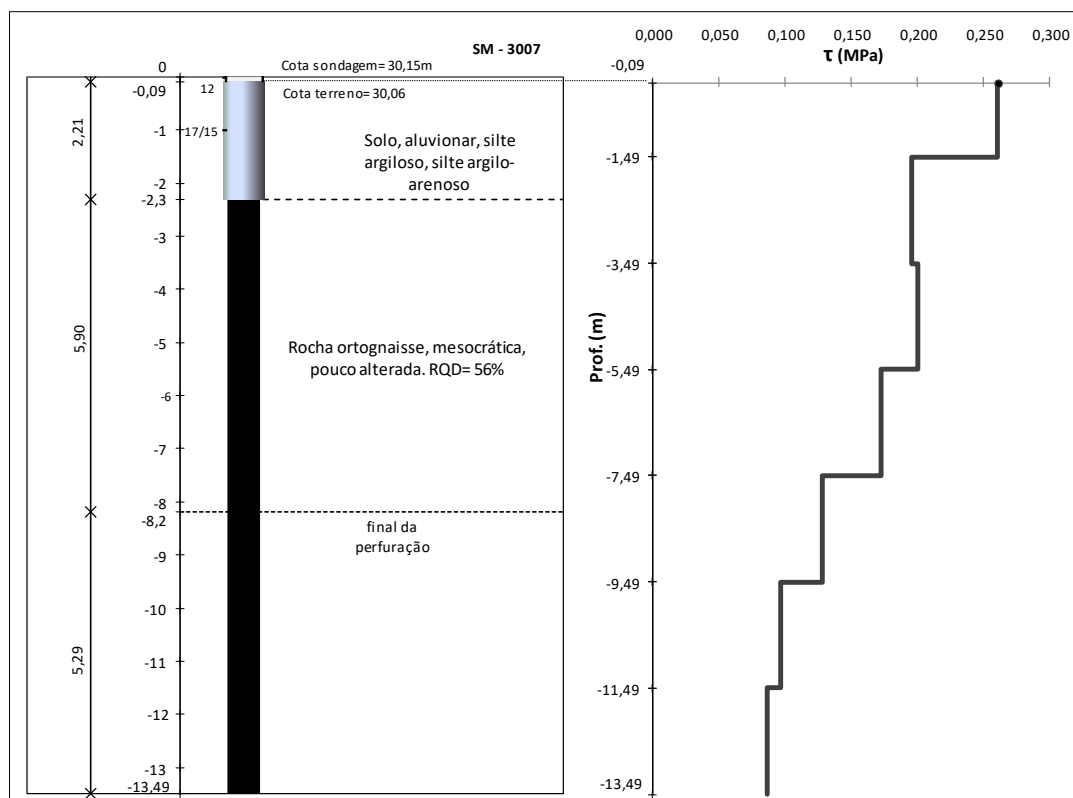


Figura 39 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E104B

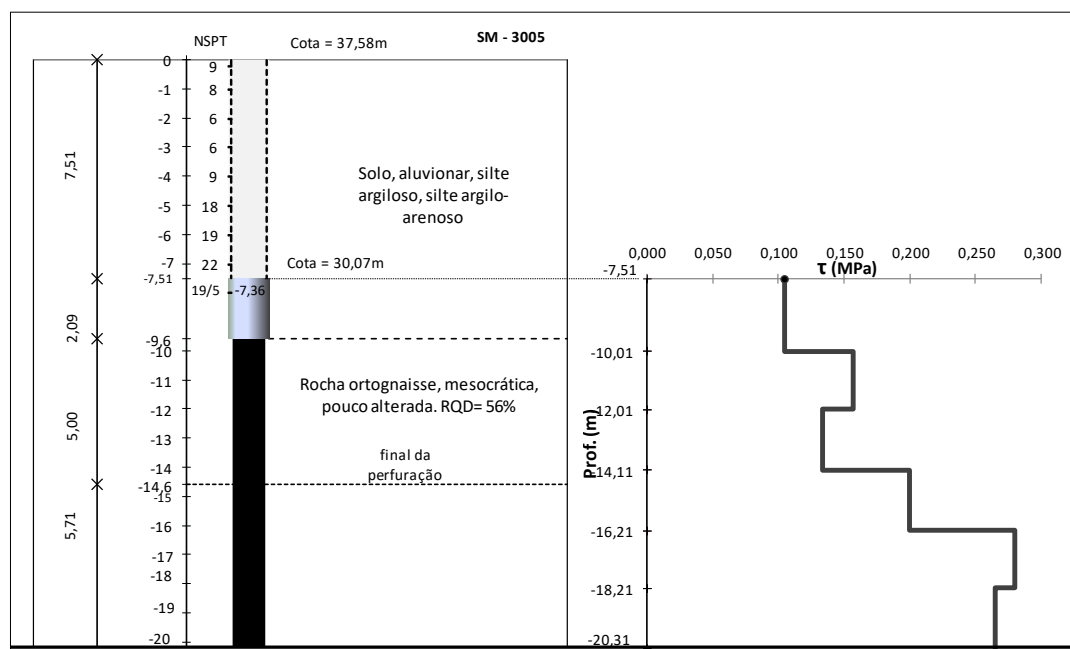


Figura 40 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E108B

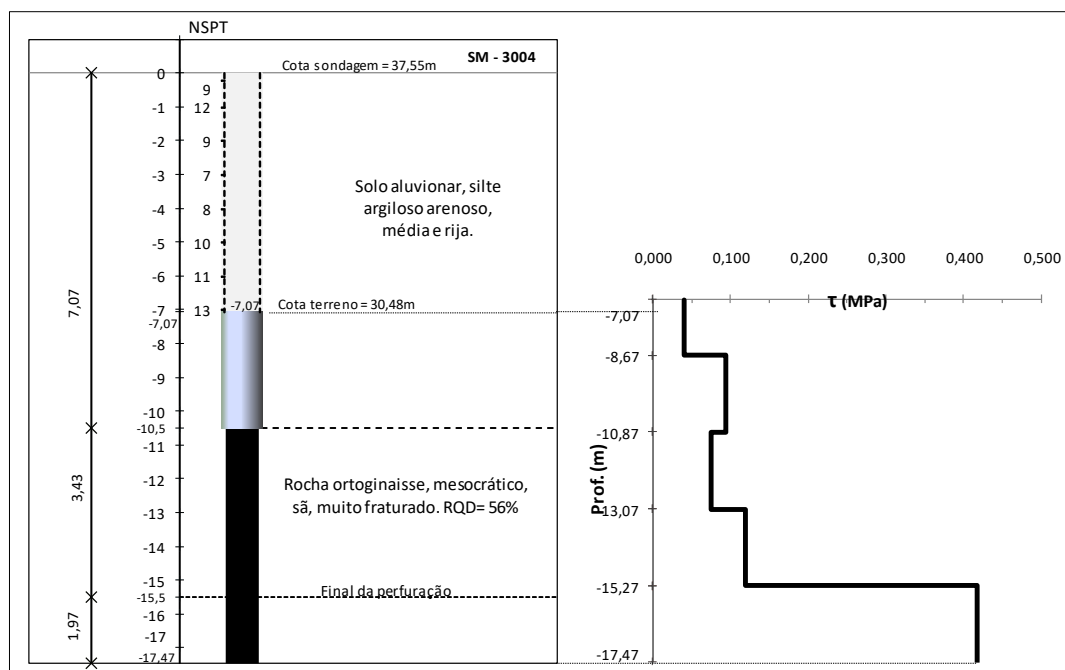


Figura 41 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E92A

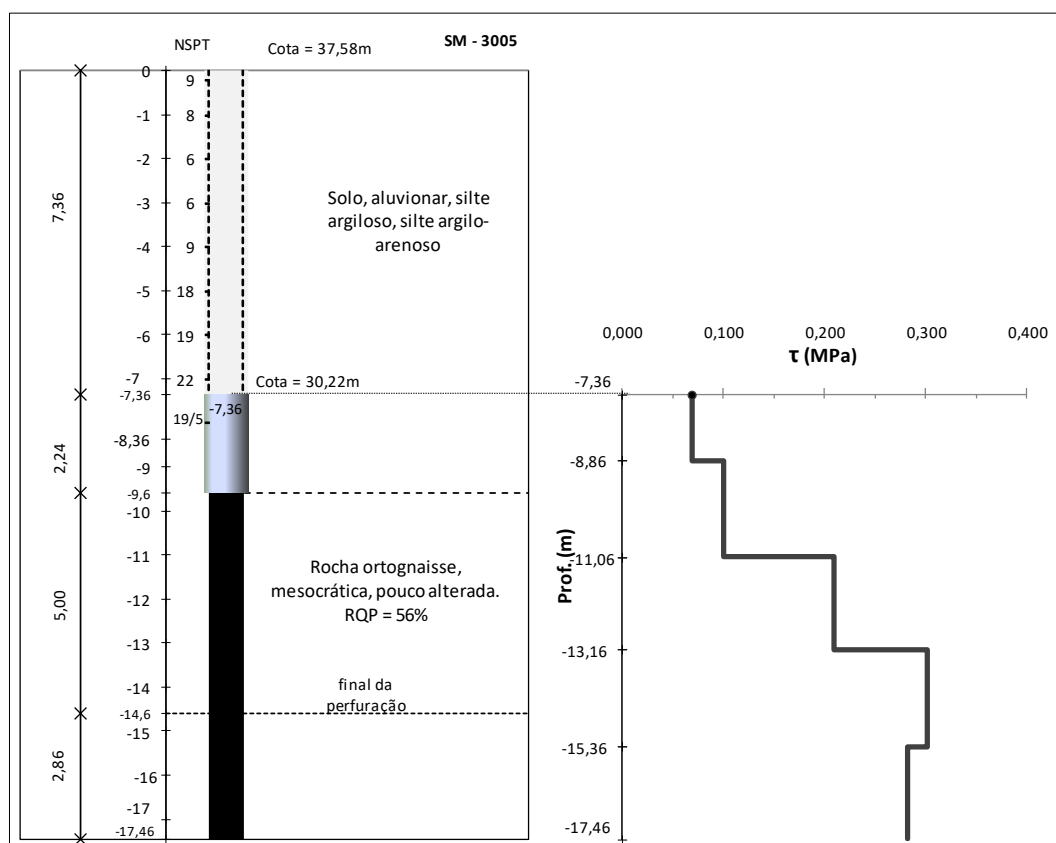


Figura 42 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E109A

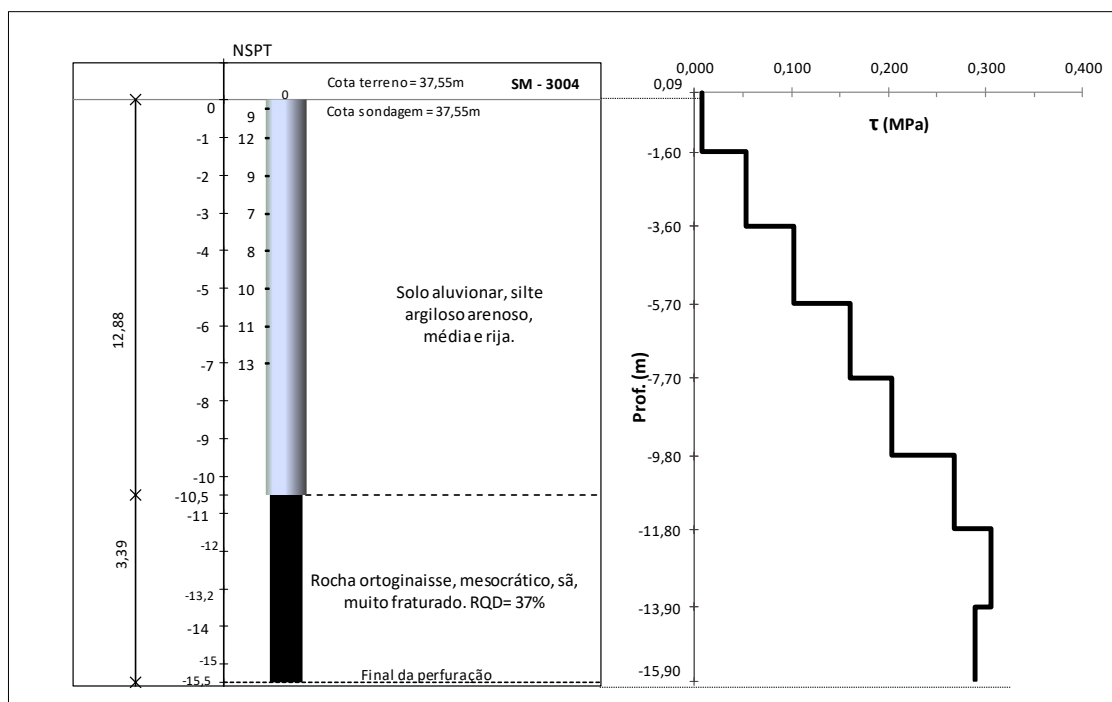


Figura 43 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E96A

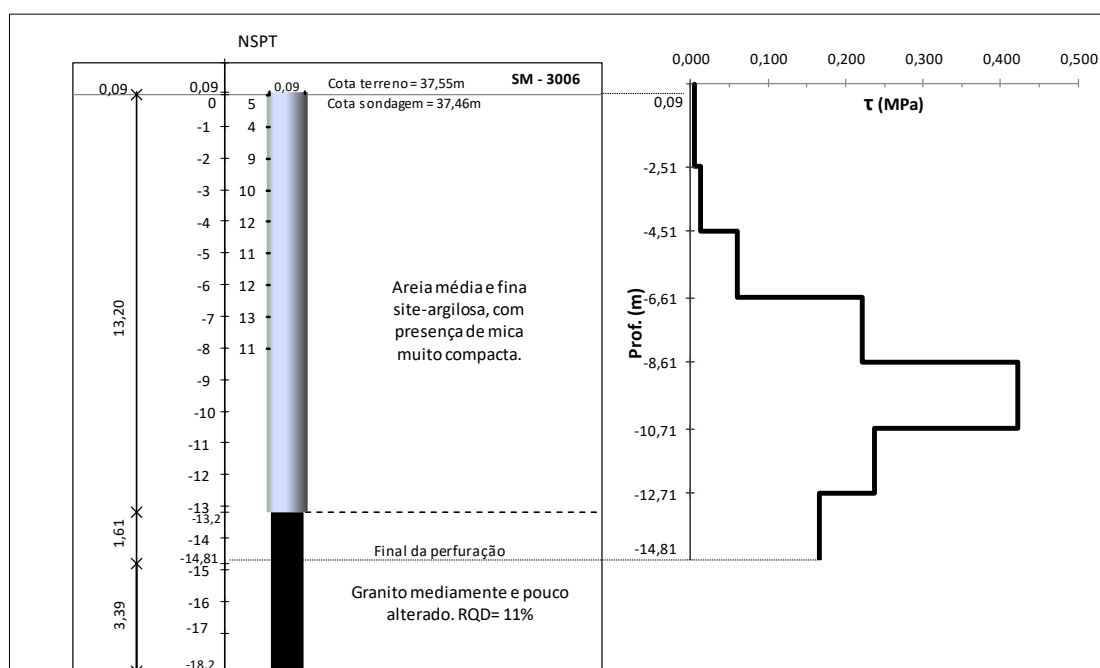


Figura 44 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E99B

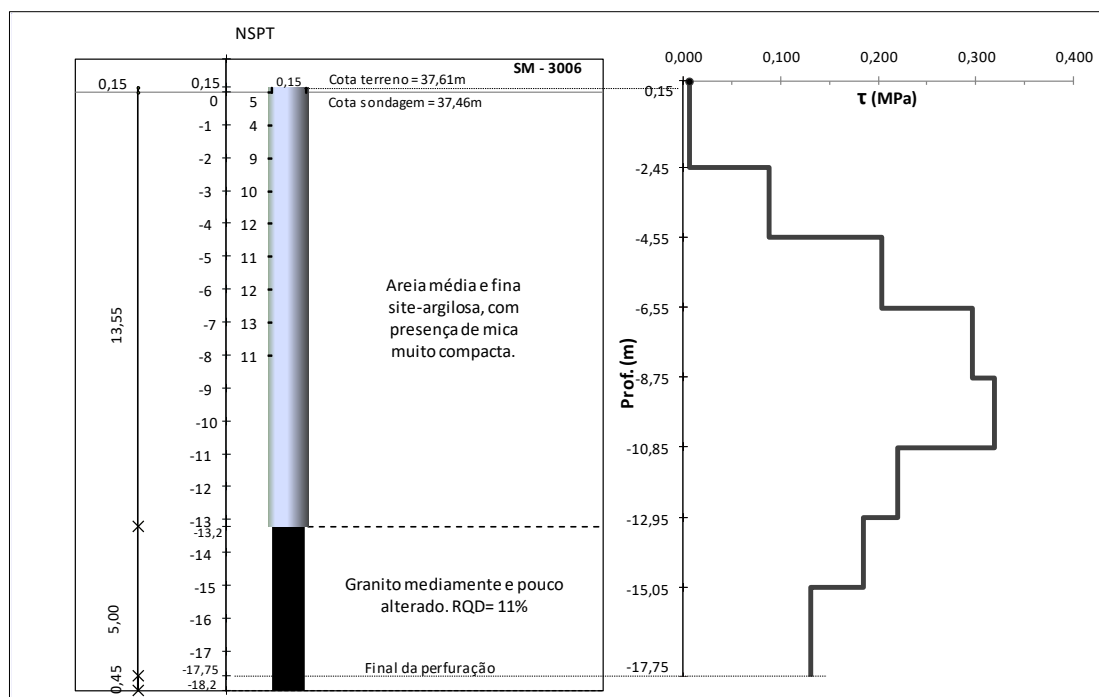


Figura 45 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E102A

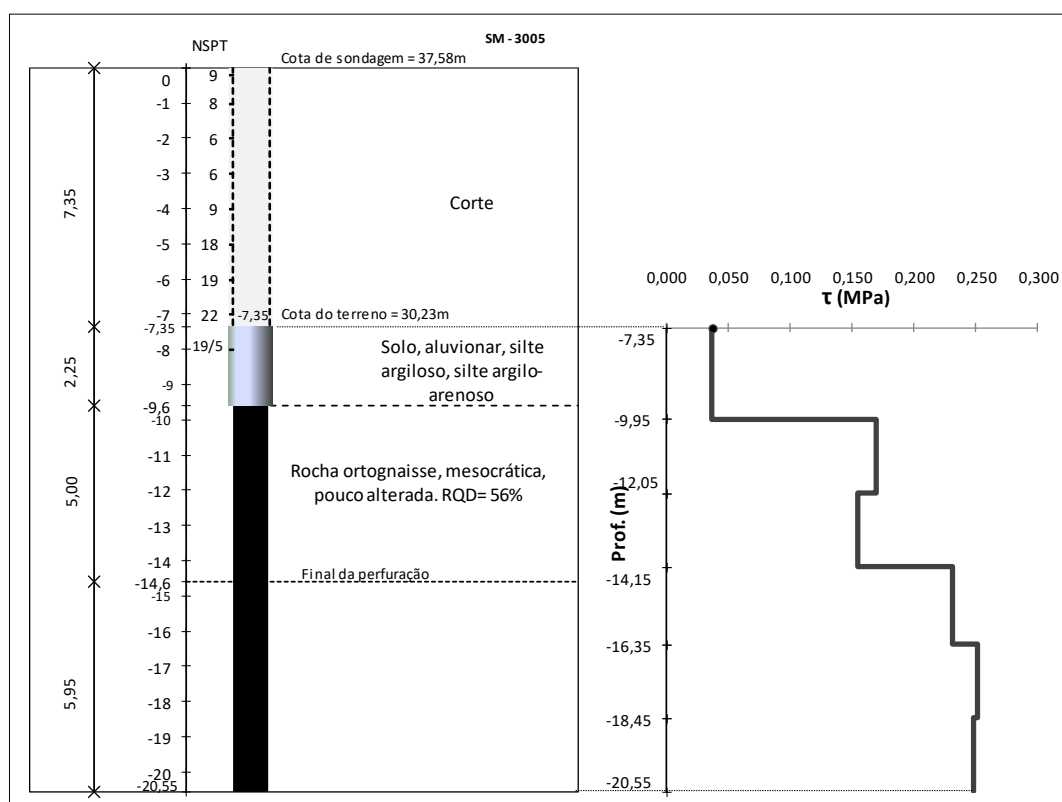
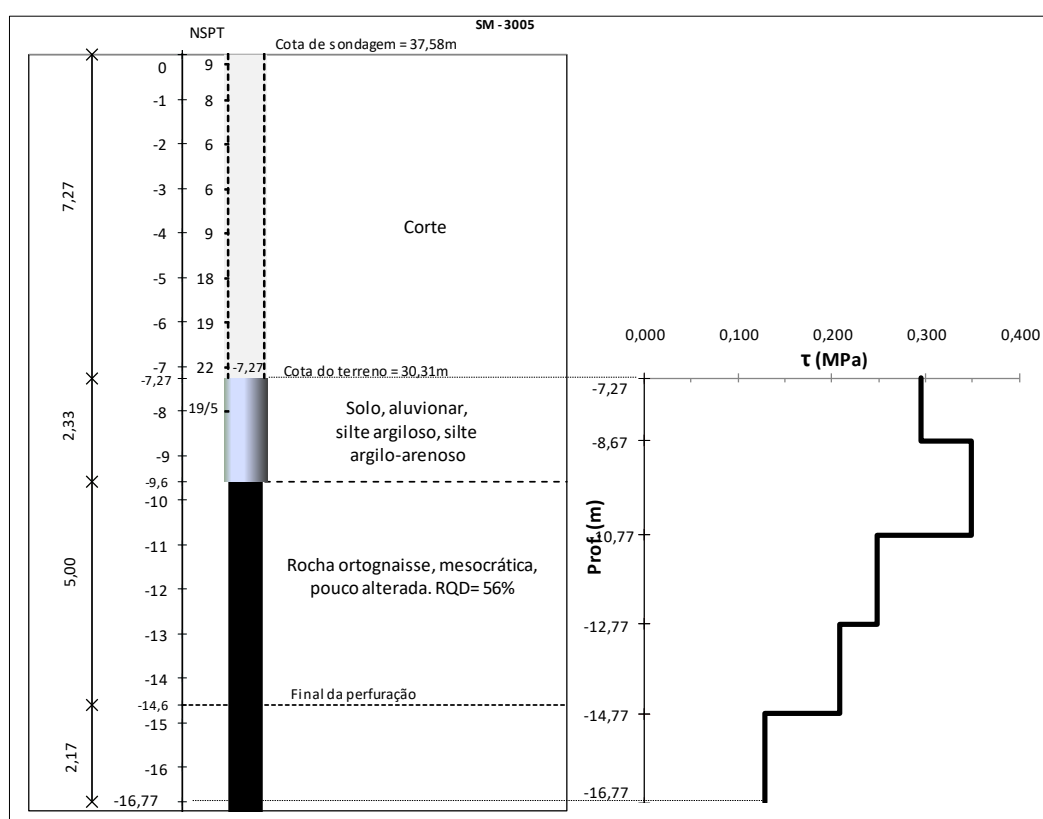
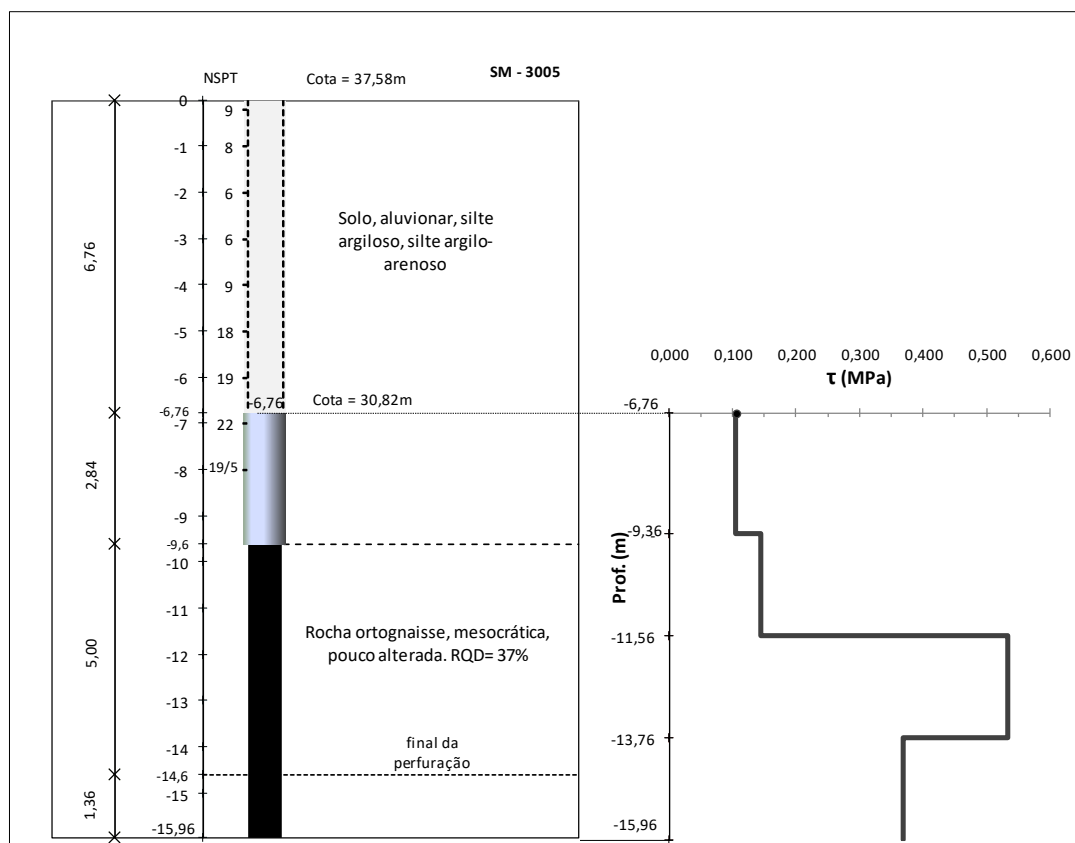


Figura 46 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E133A



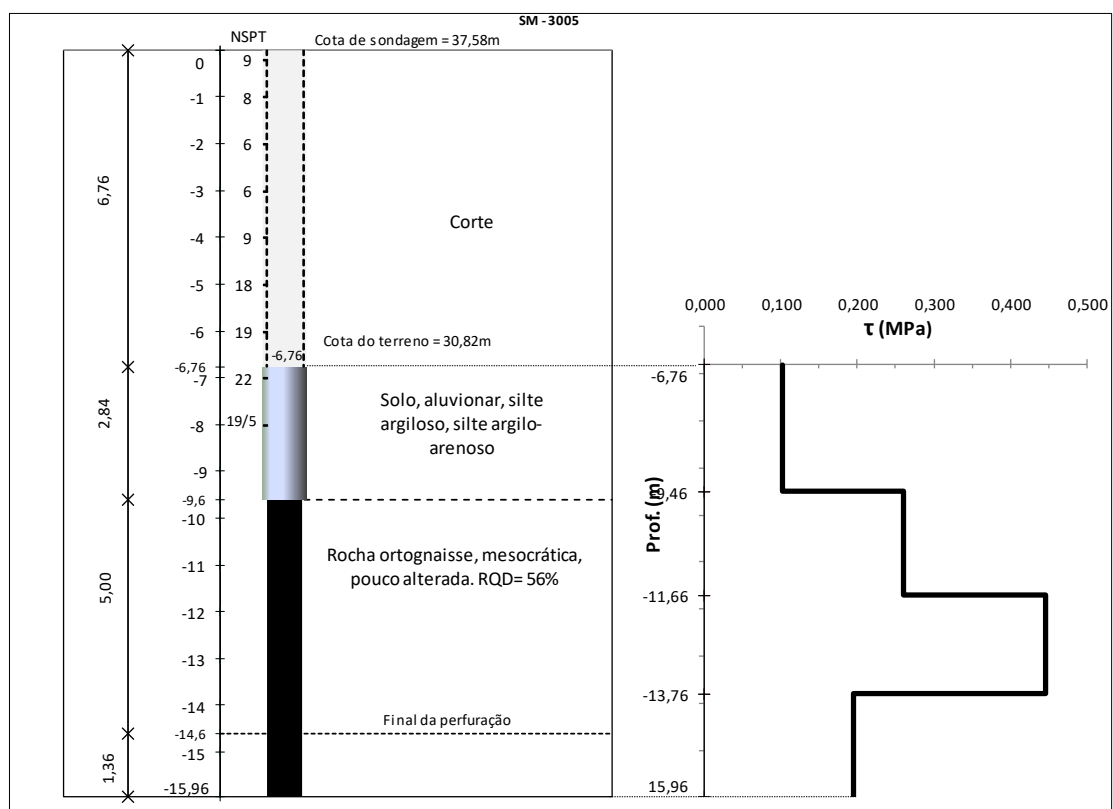


Figura 49 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E140

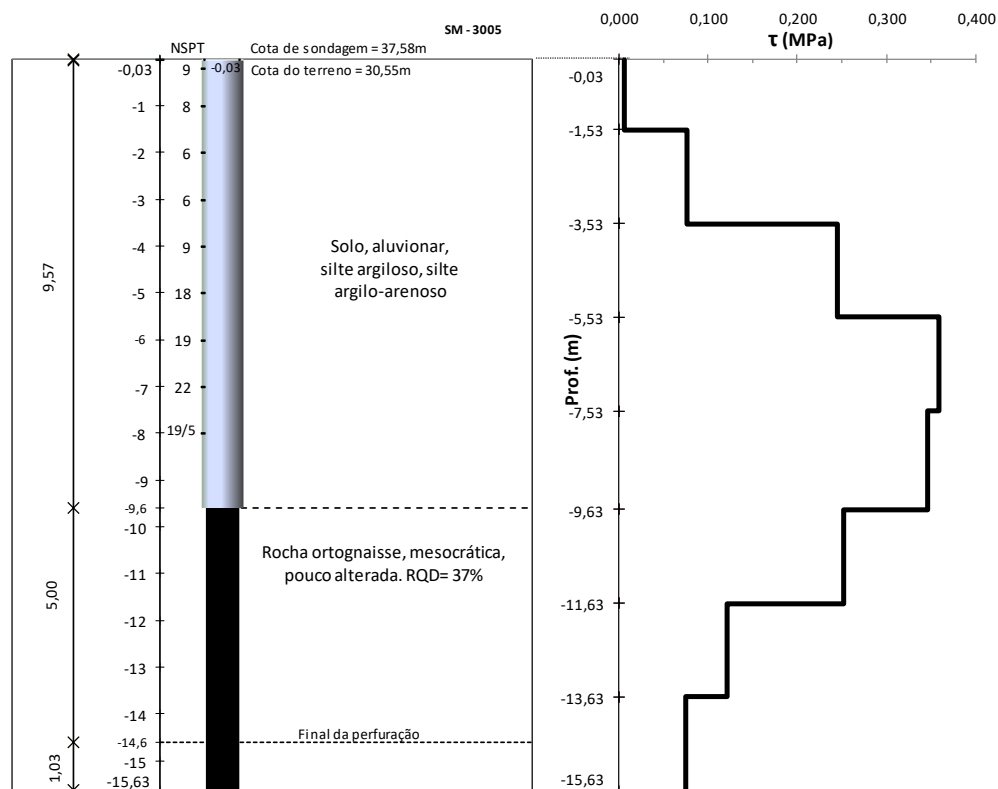


Figura 50 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E144A

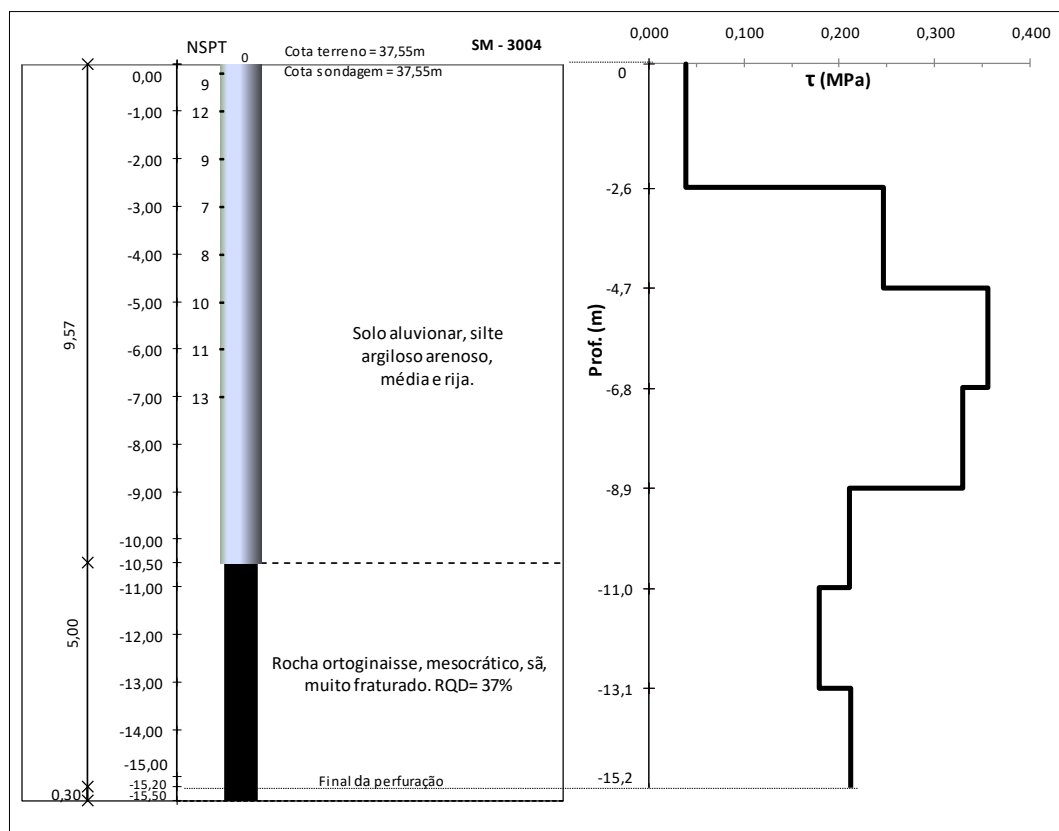


Figura 51 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E147A

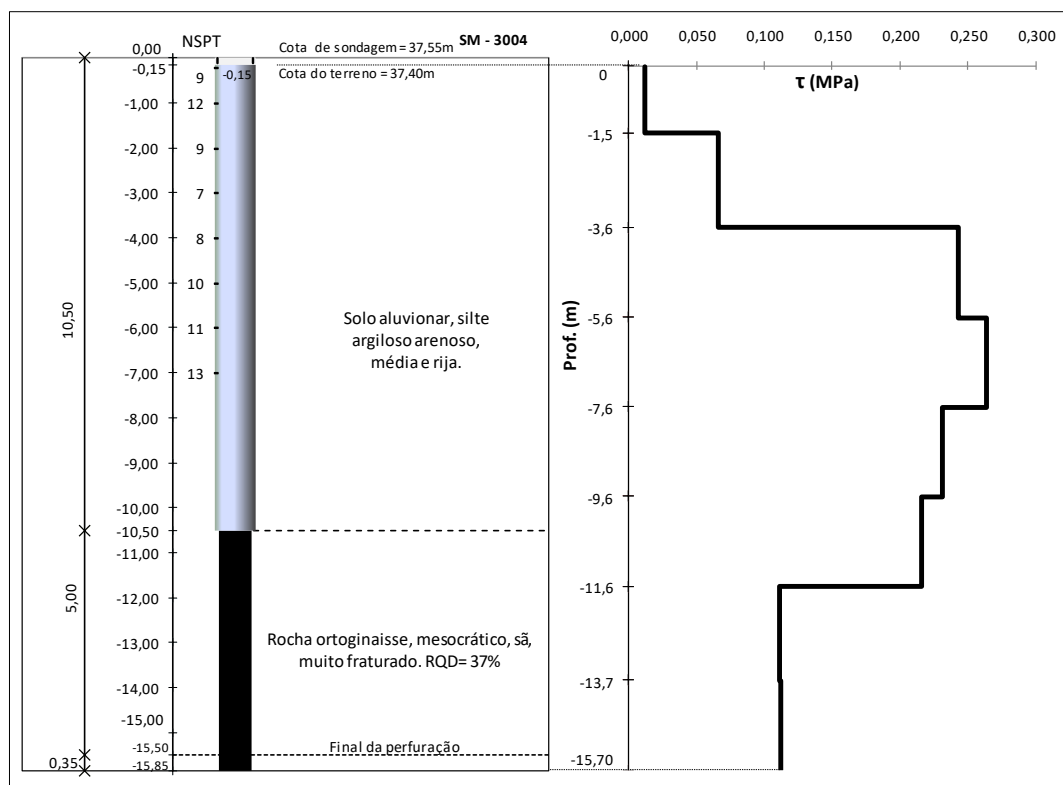


Figura 52 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E150A

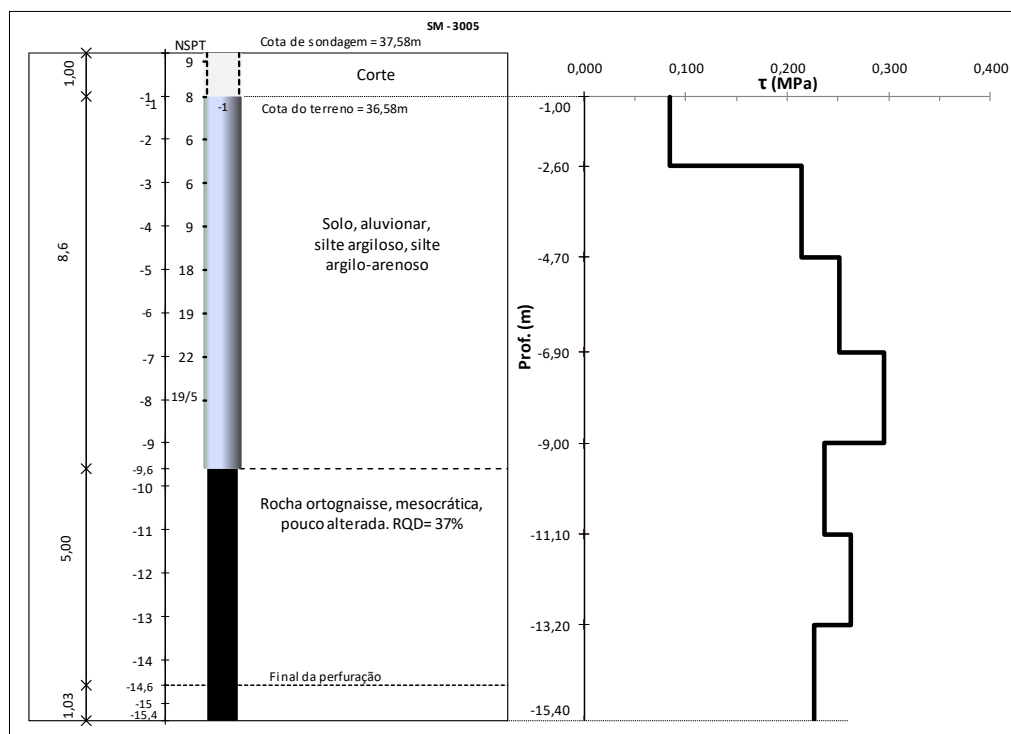


Figura 53 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E174B

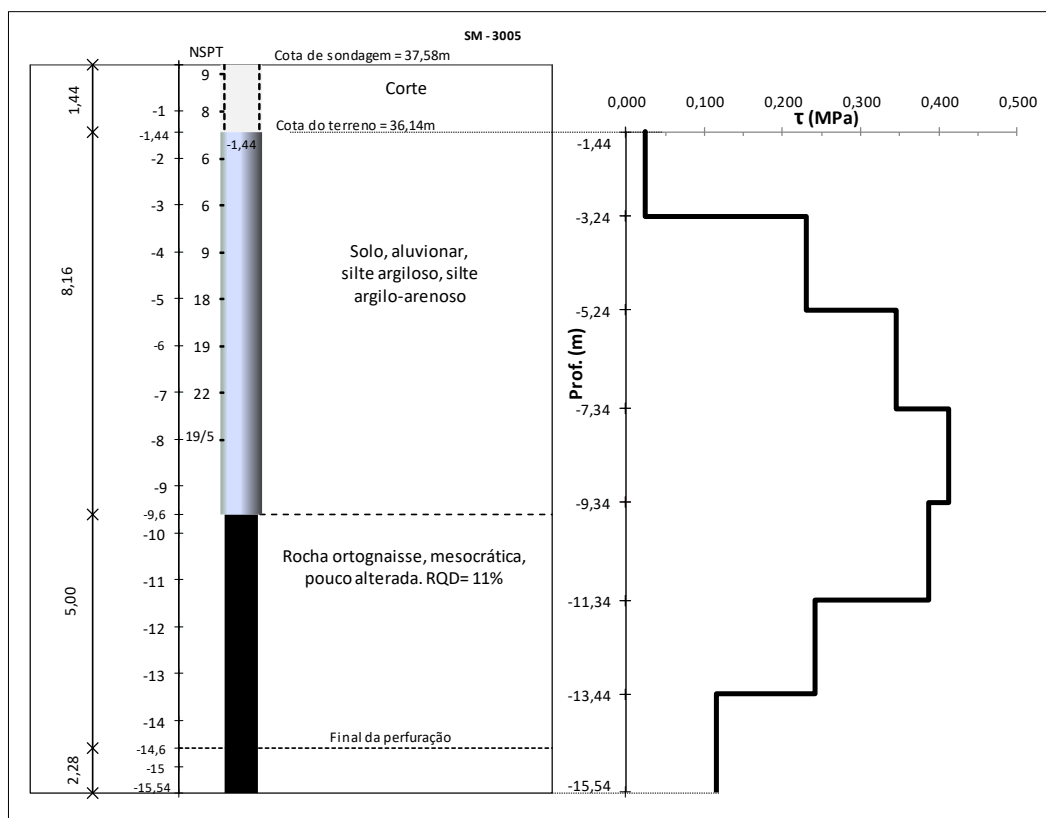


Figura 54 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E177A

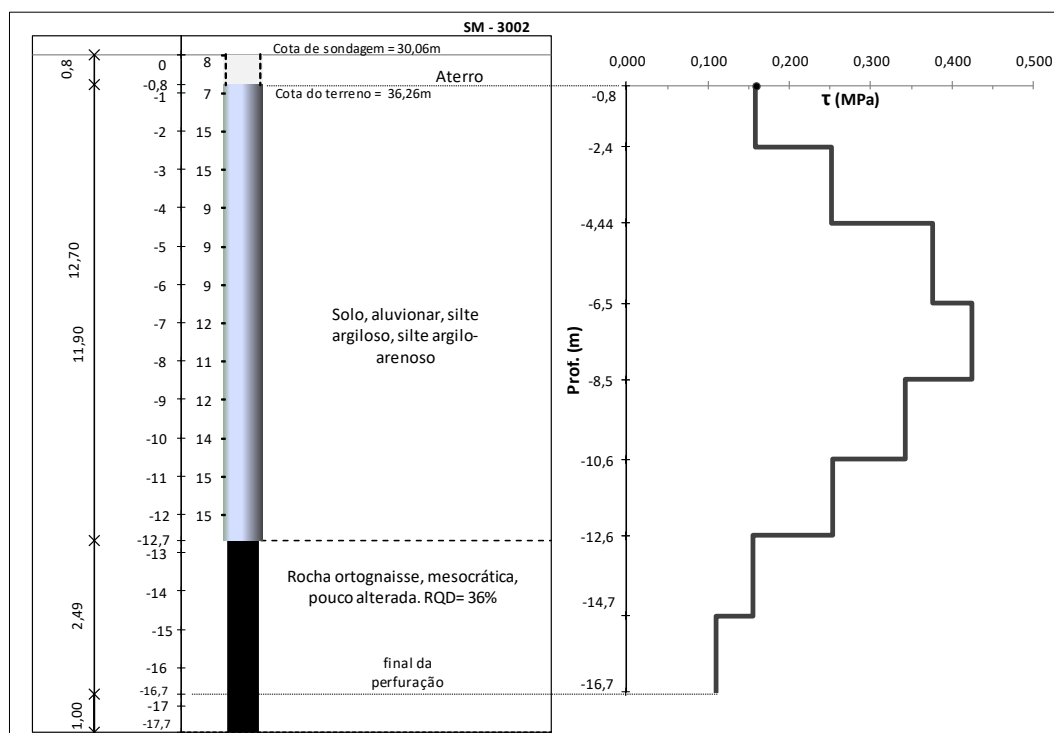


Figura 55 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E180A

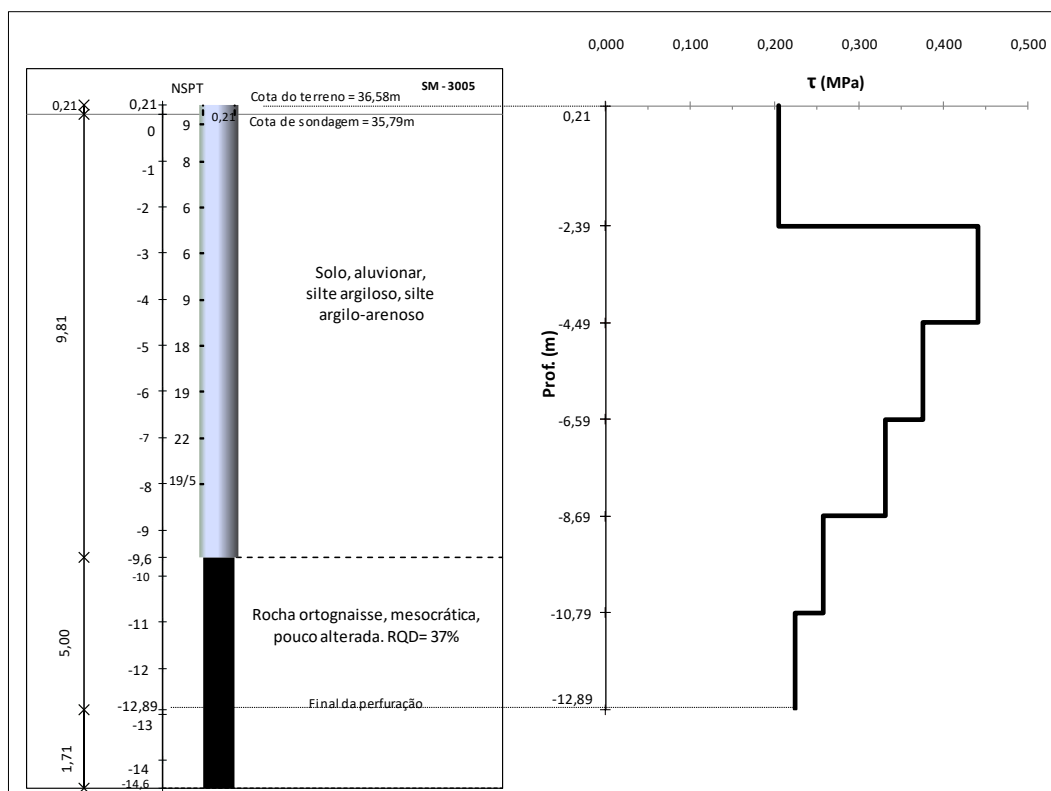


Figura 56 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E186B

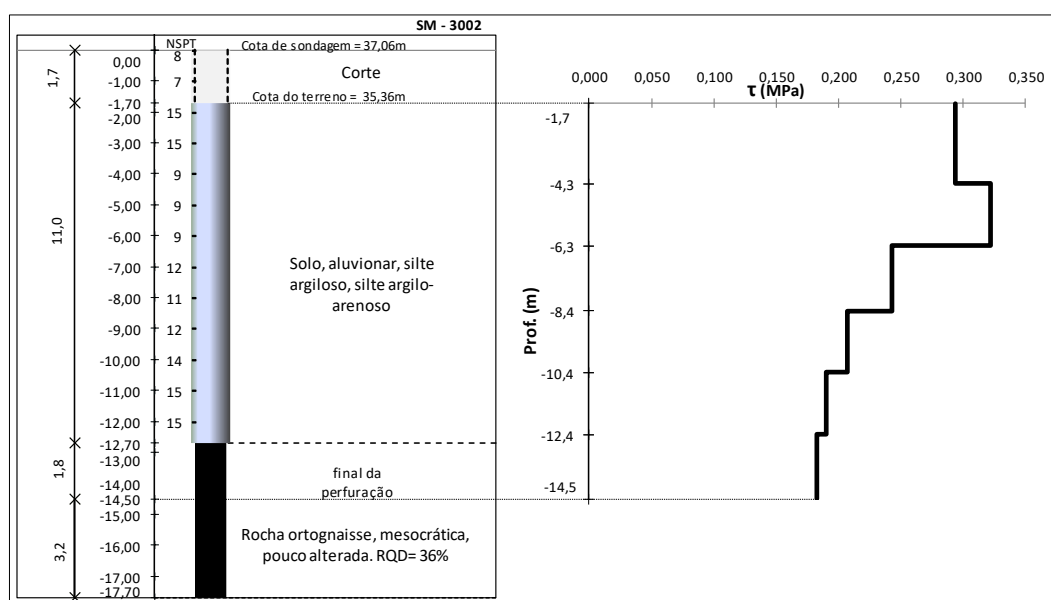


Figura 57 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E207A

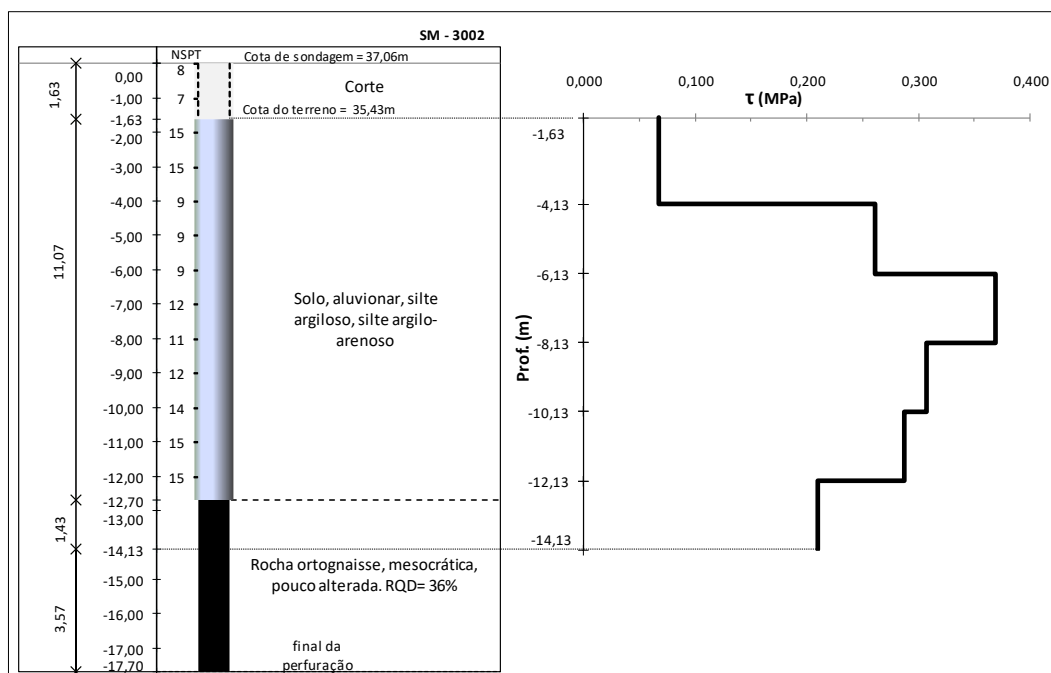


Figura 58 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E210A

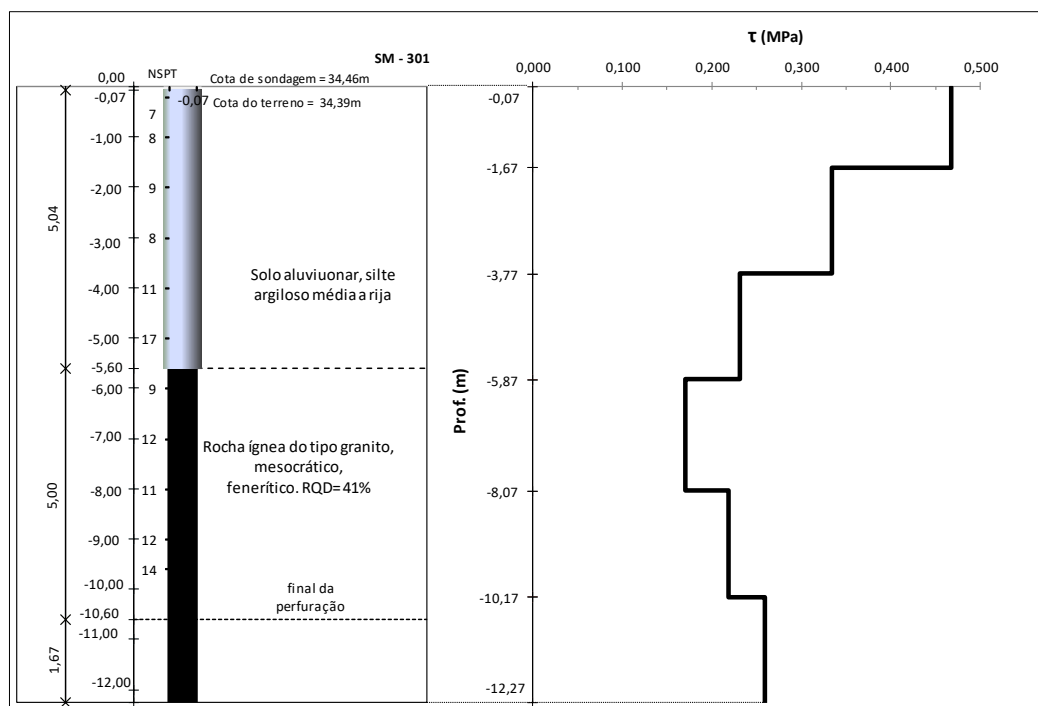


Figura 59 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3120A

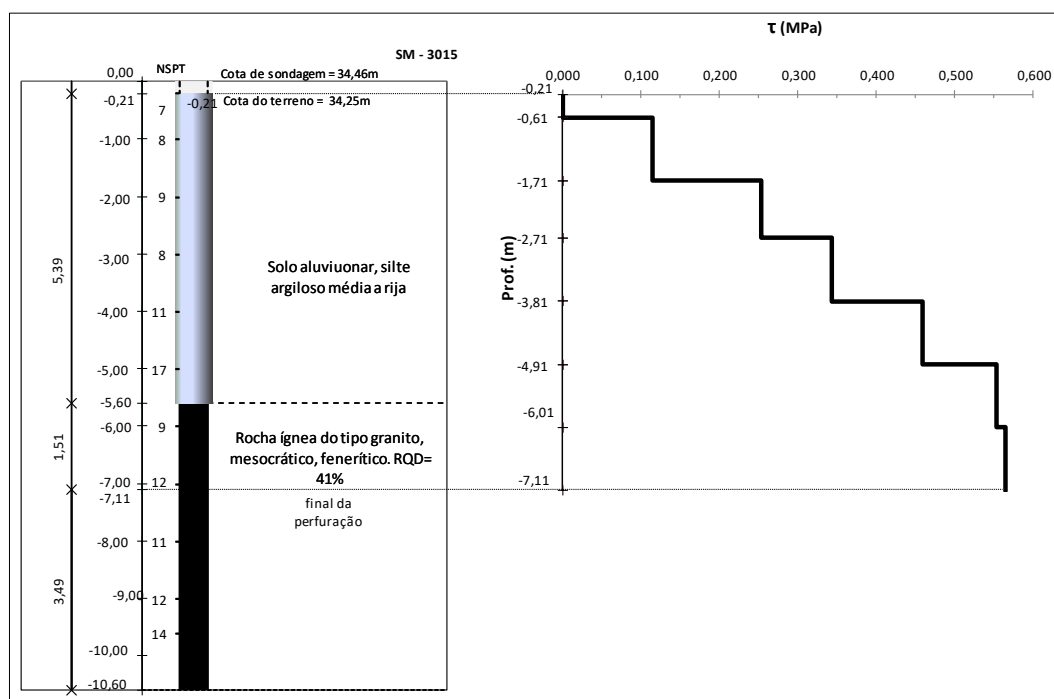


Figura 60 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3130

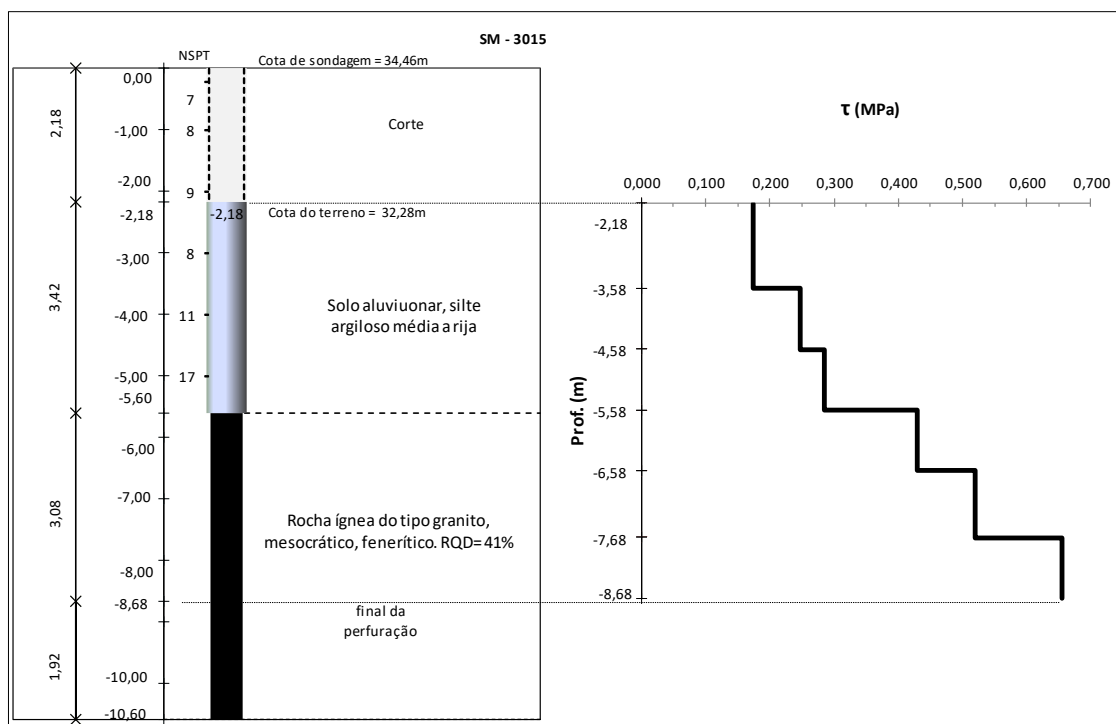


Figura 61 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3051

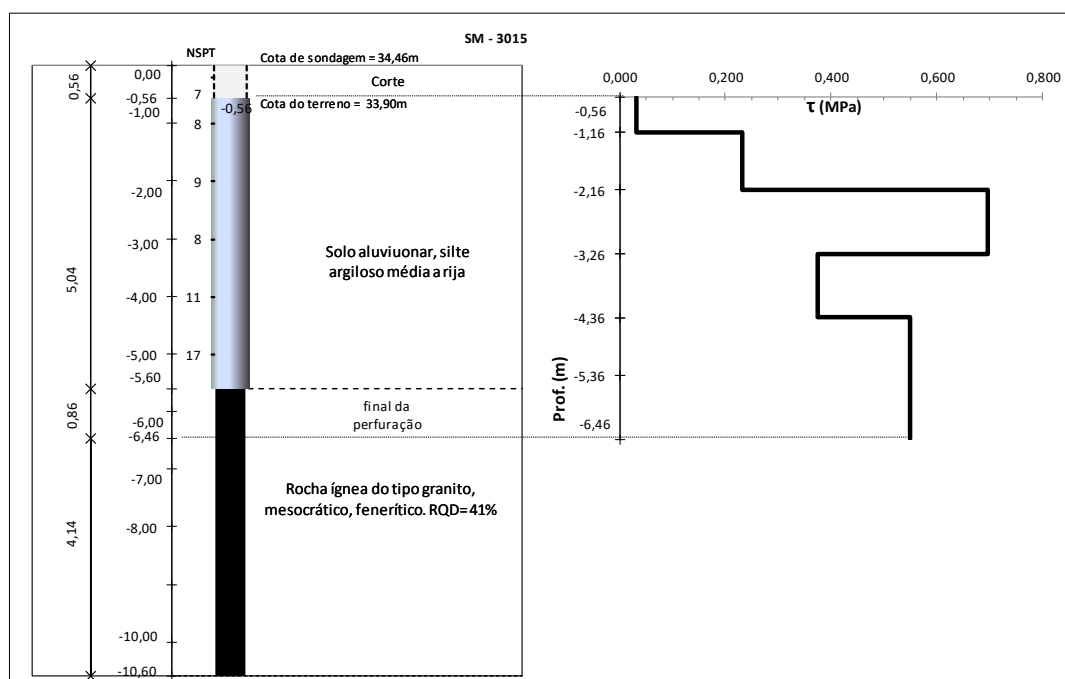


Figura 62 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3062

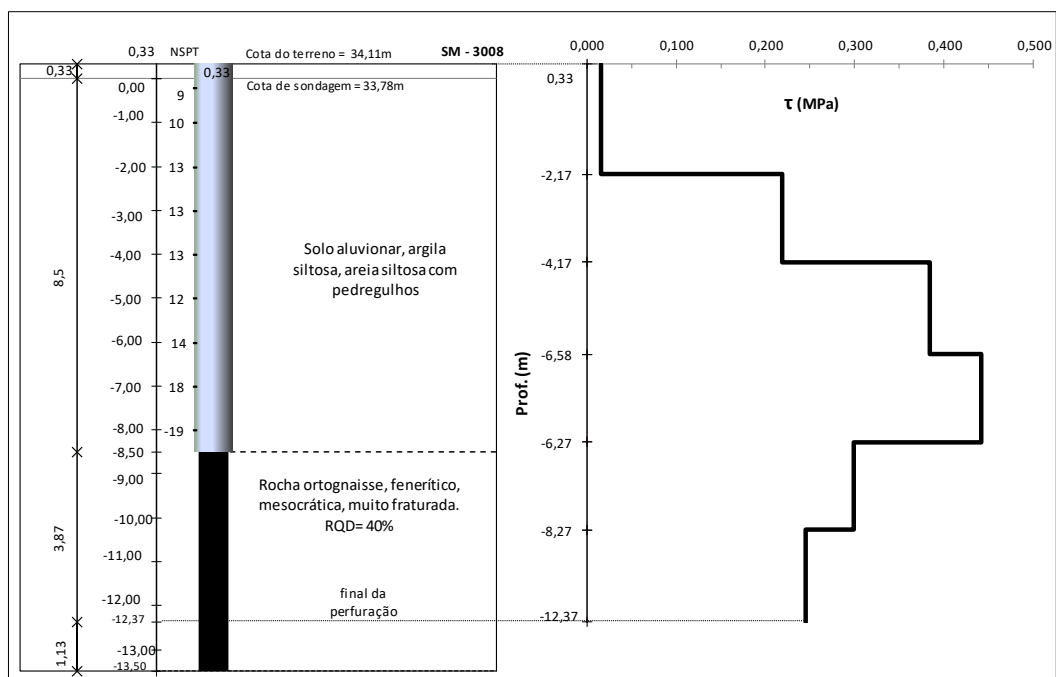


Figura 63 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3091A

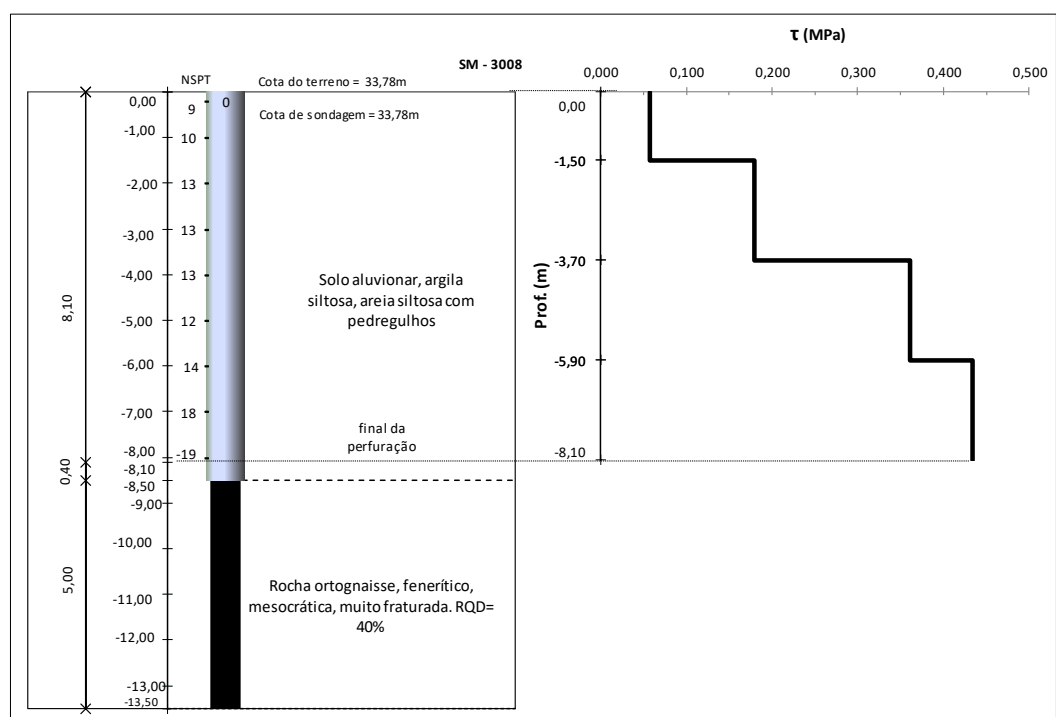


Figura 64 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3092

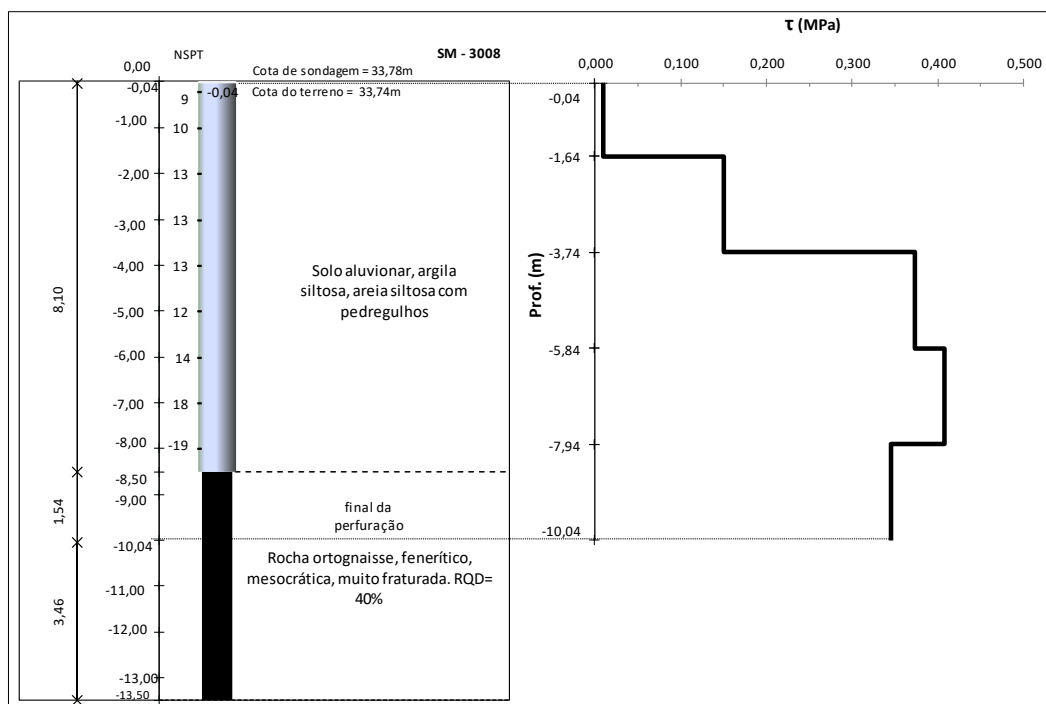


Figura 65 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3104

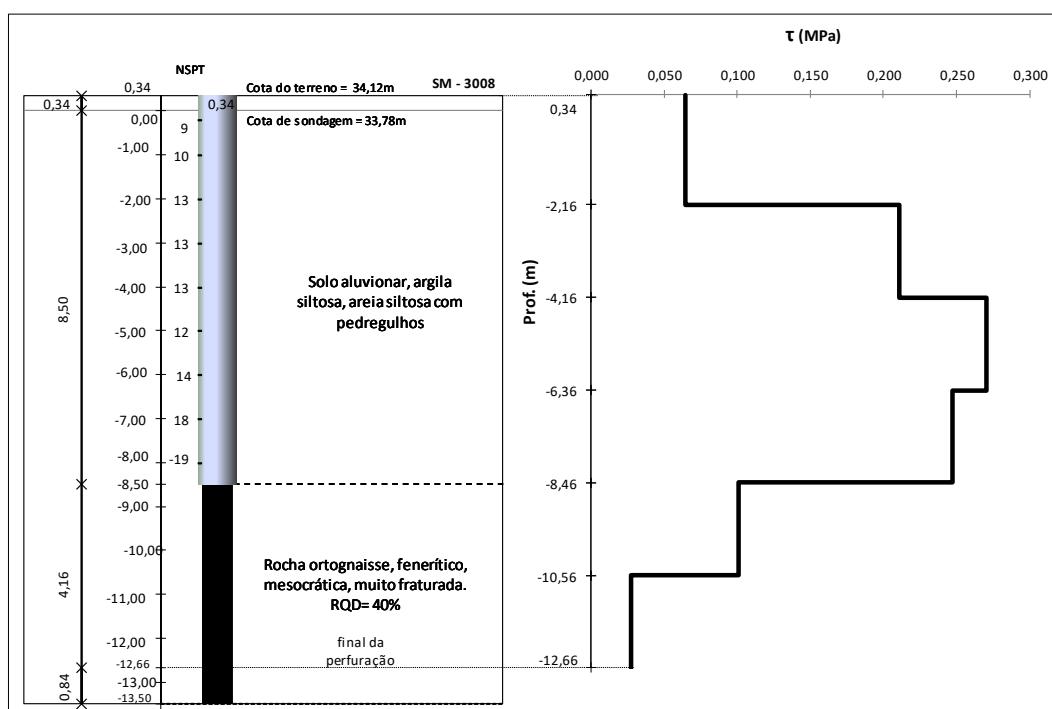


Figura 66 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3108A

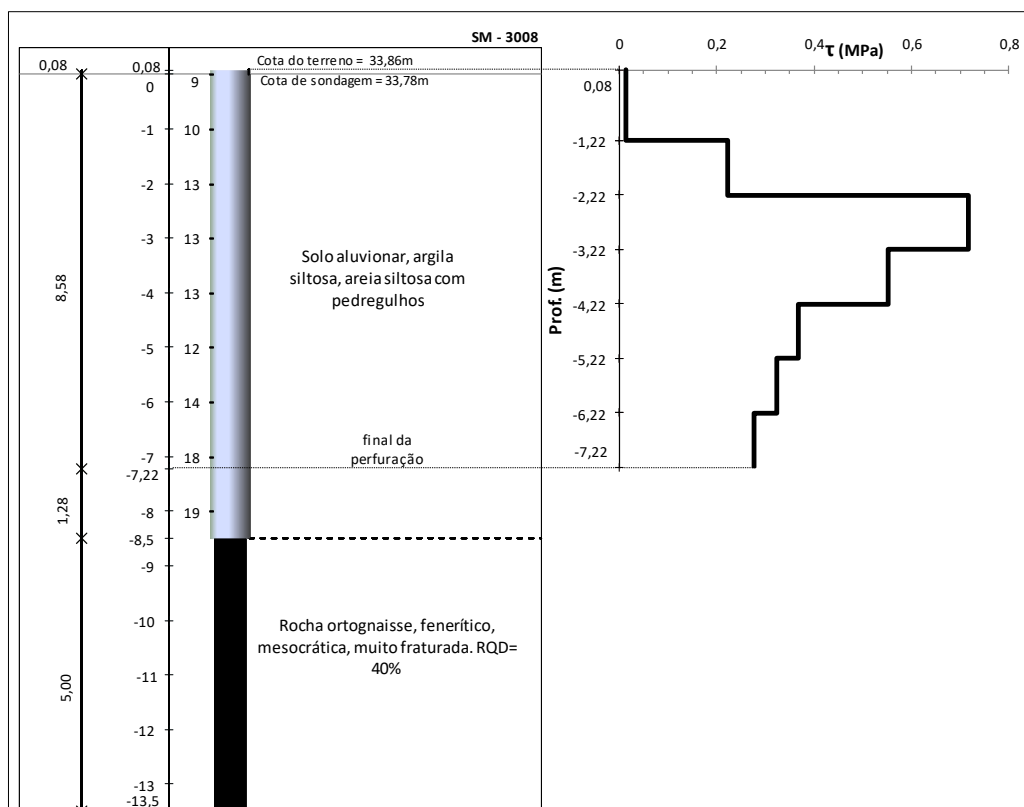


Figura 67 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3079

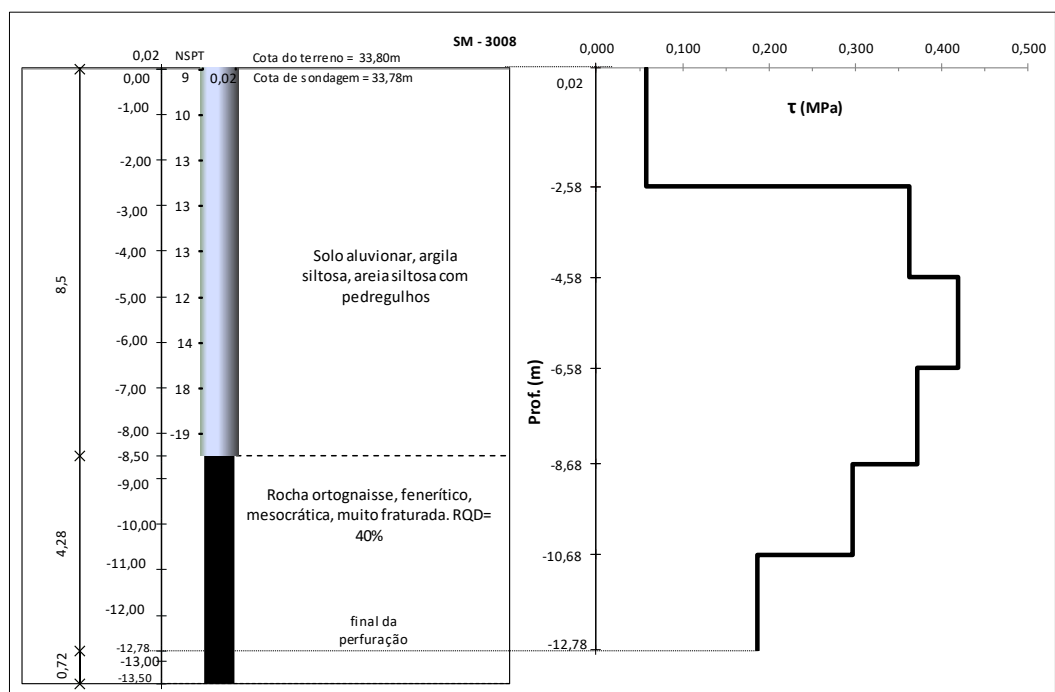


Figura 68 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3088A

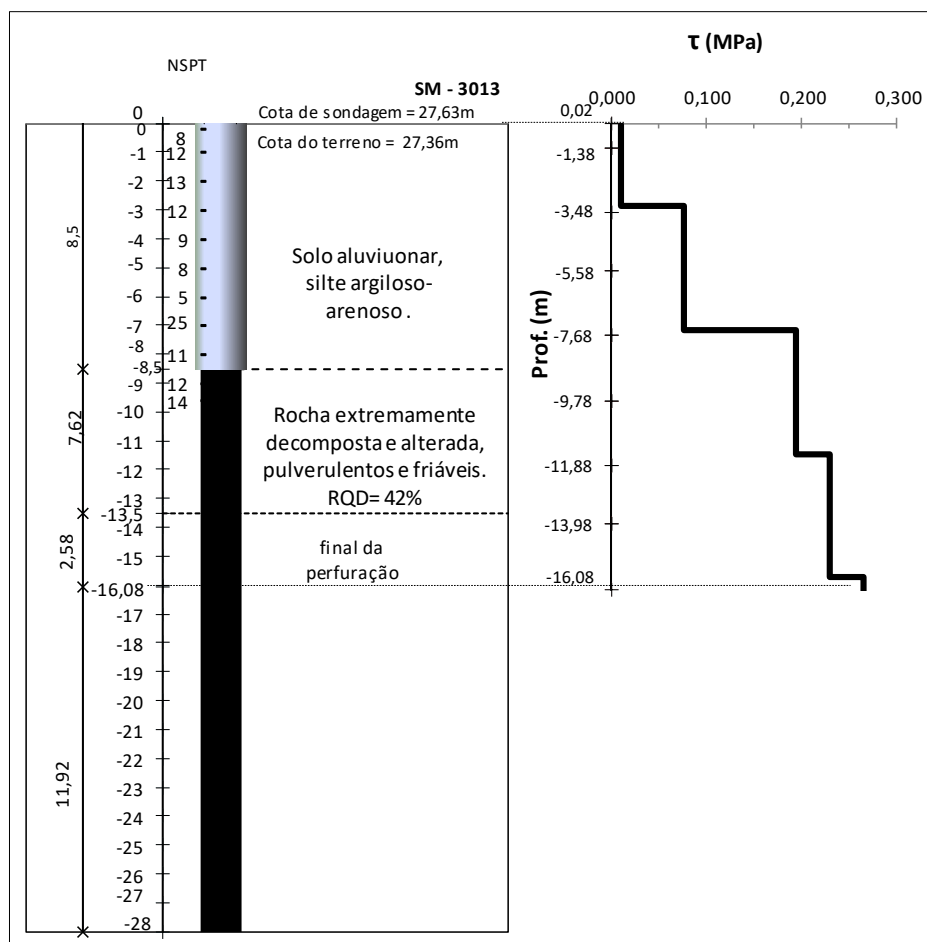


Figura 69 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5145

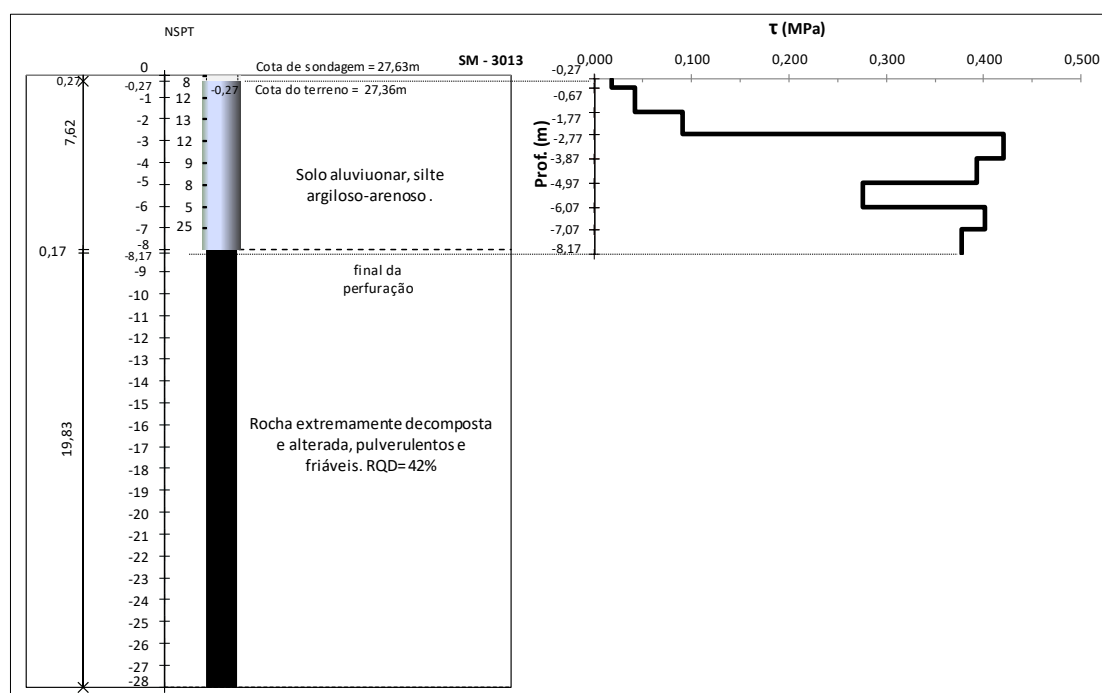


Figura 70 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5107

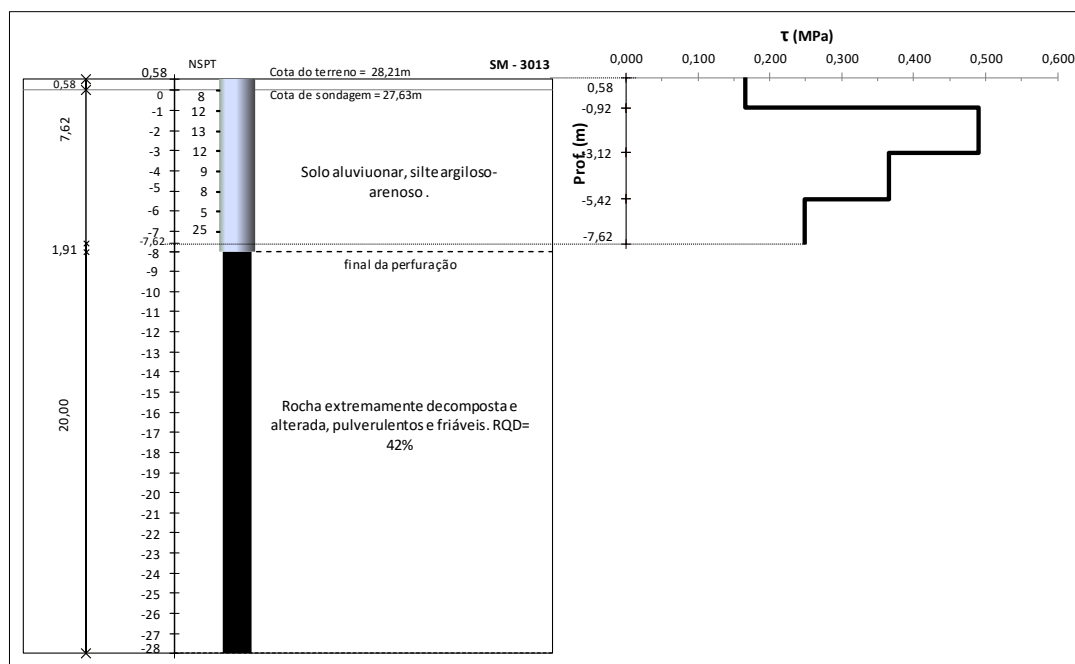


Figura 71 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5076

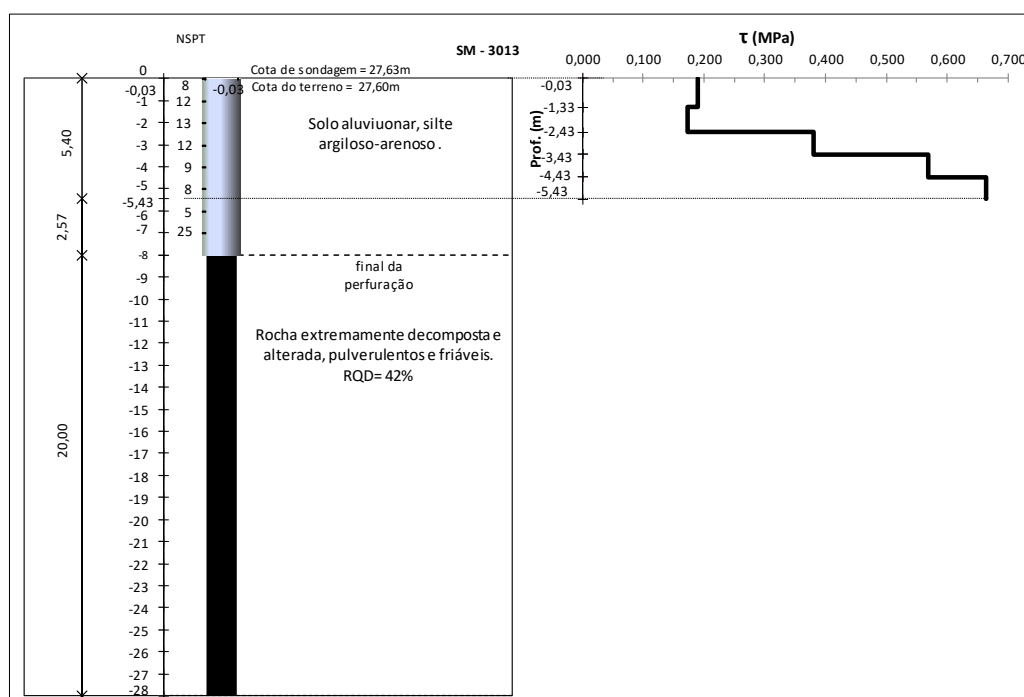


Figura 72 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5059

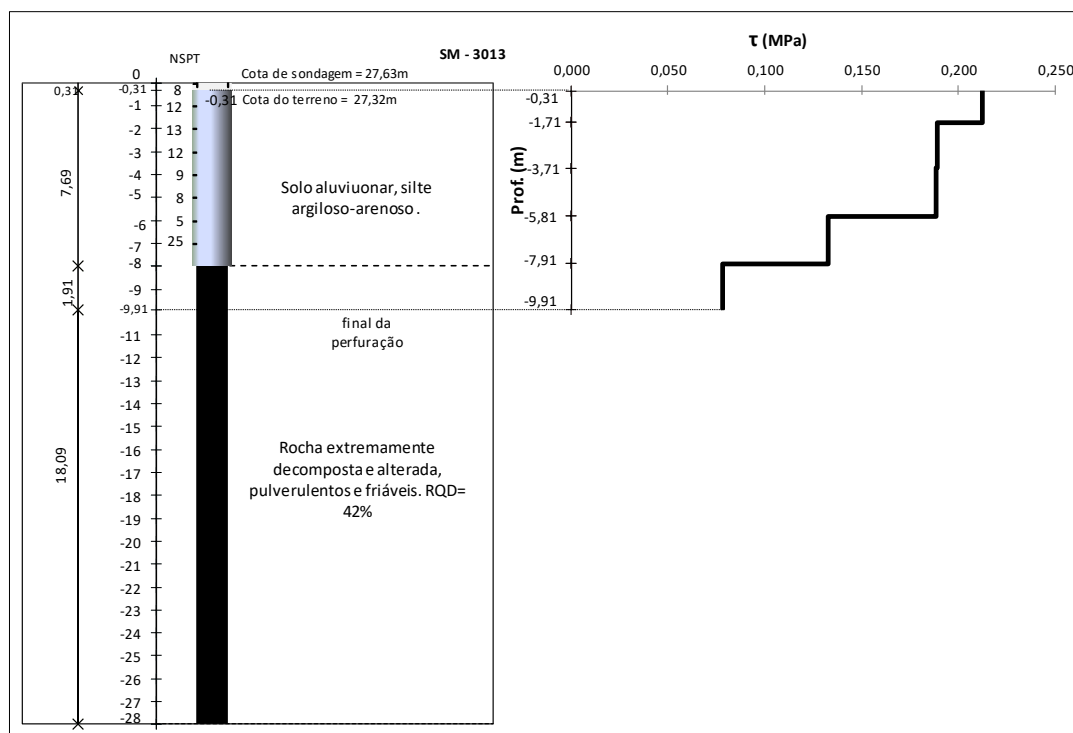


Figura 73 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5065

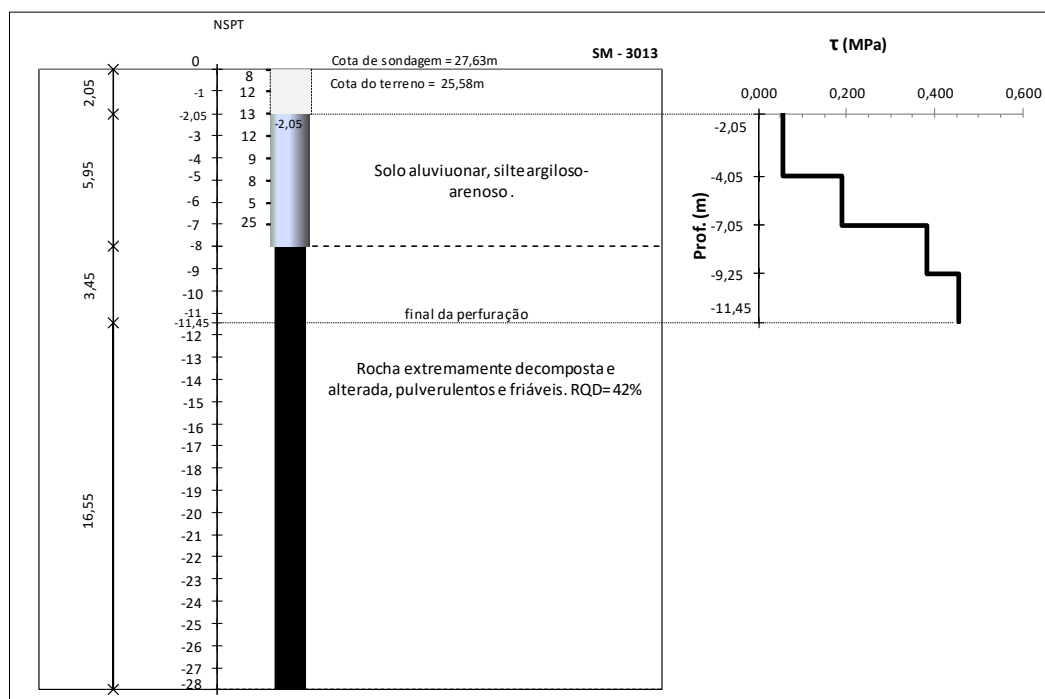
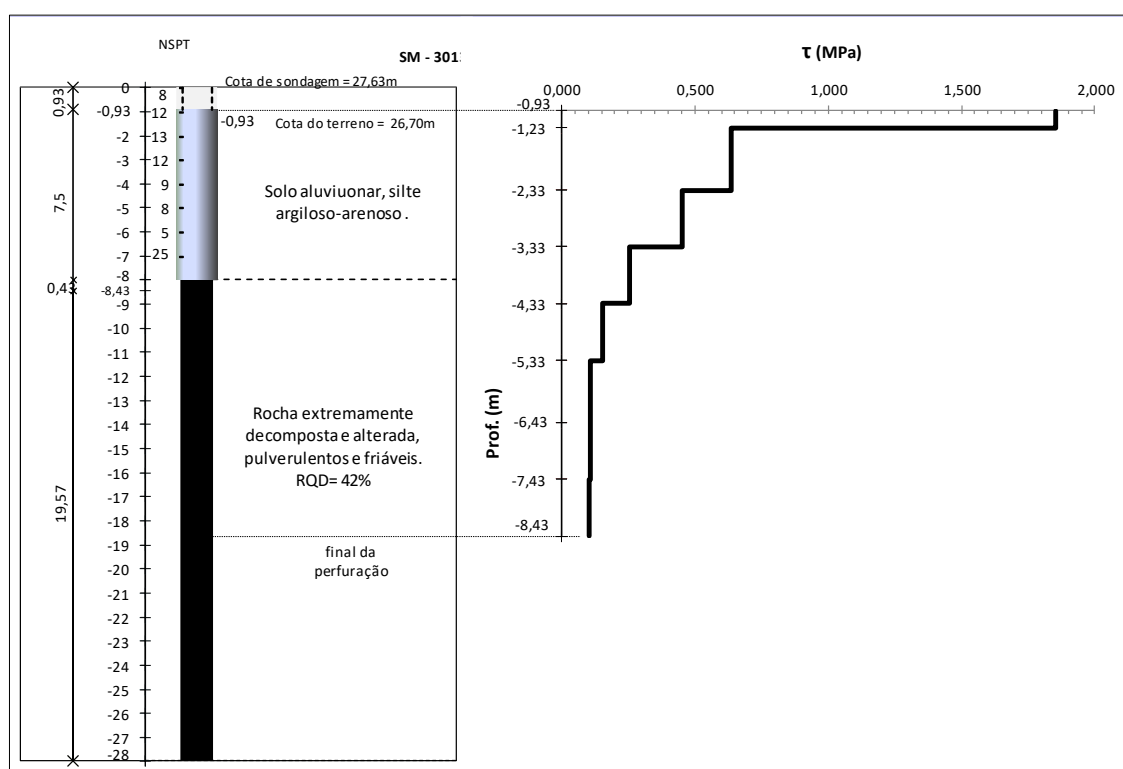
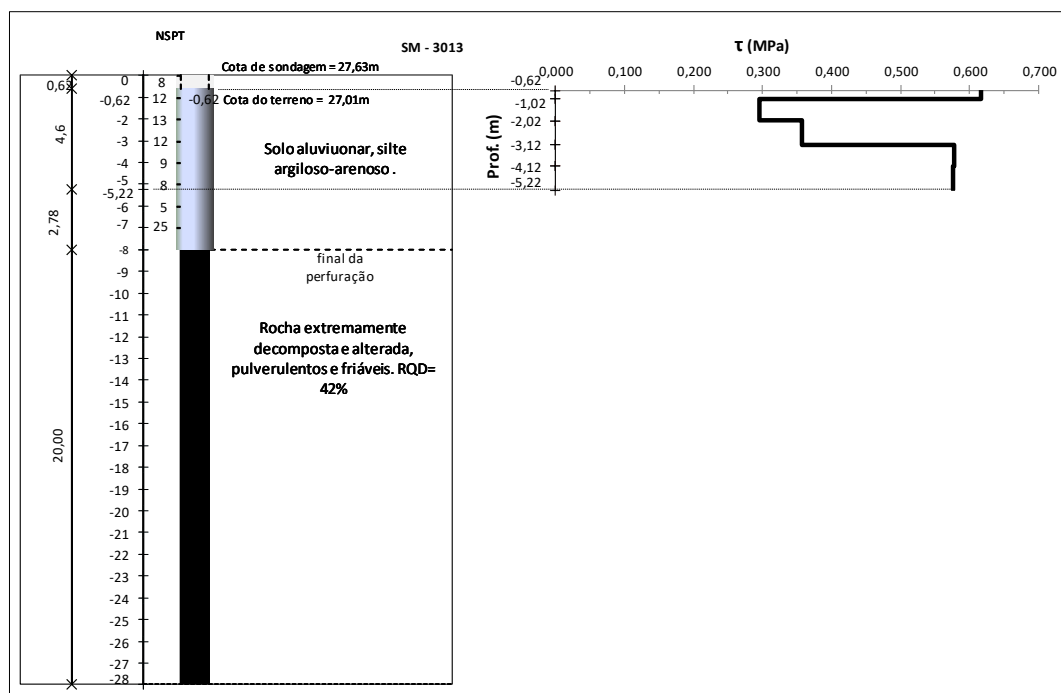
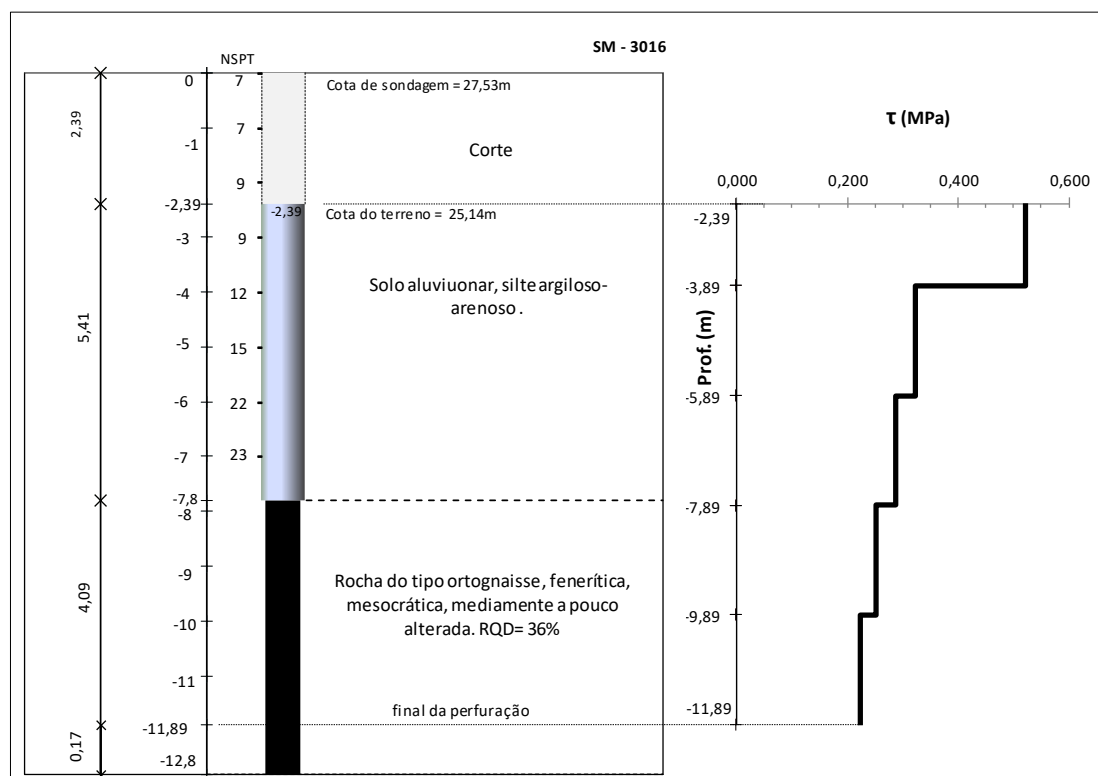
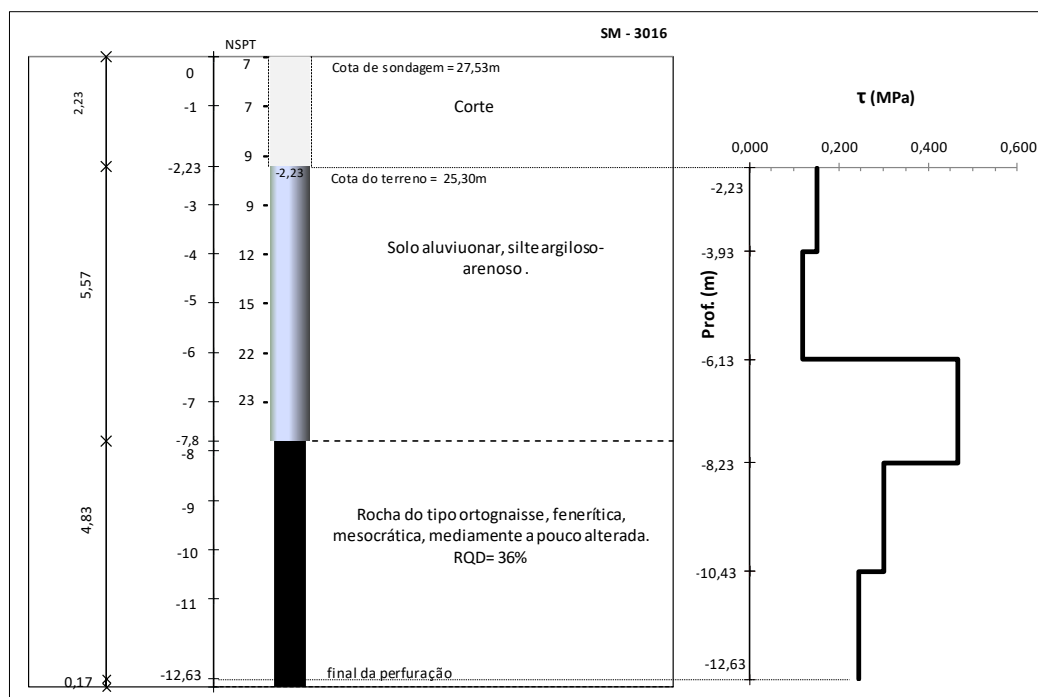


Figura 74 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E5181





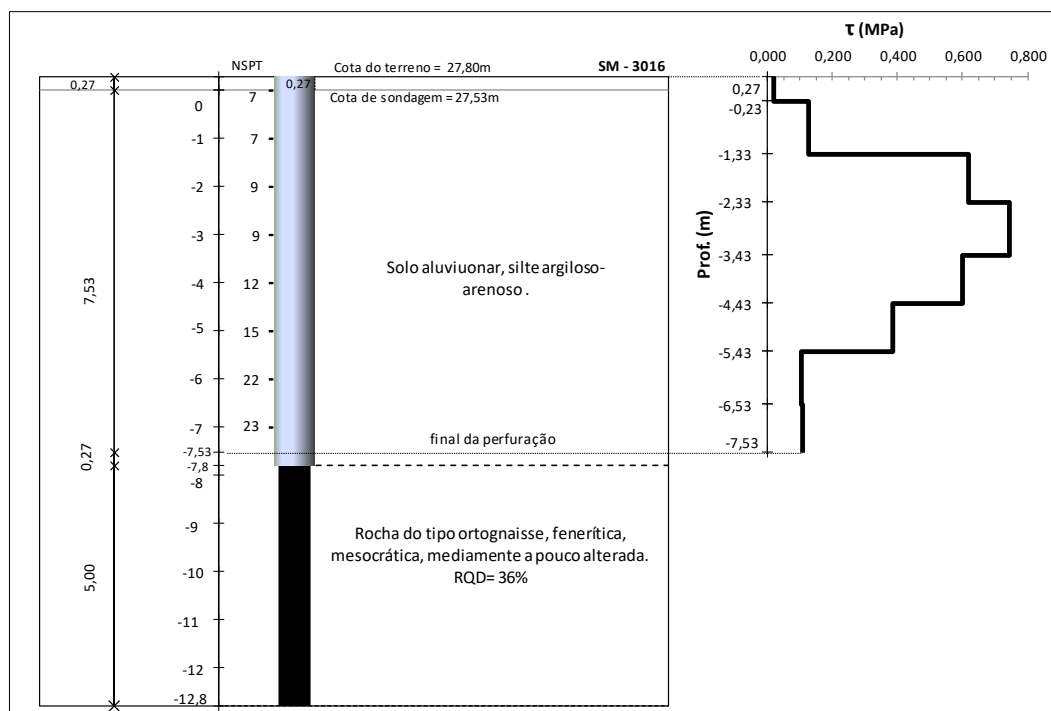


Figura 79 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E7021

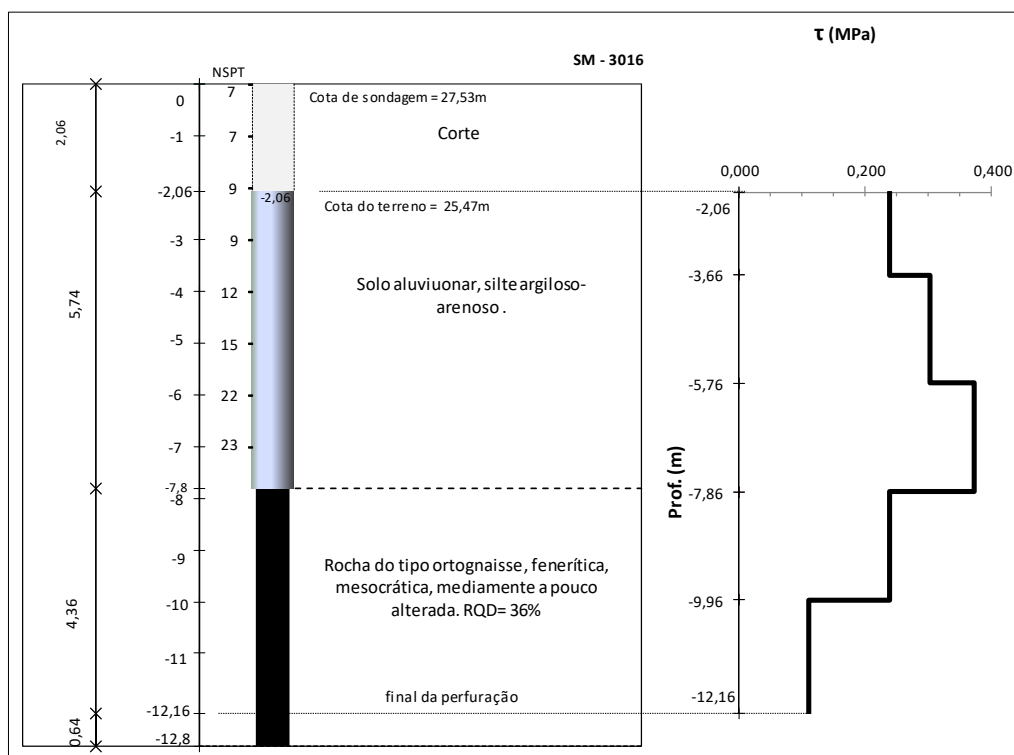
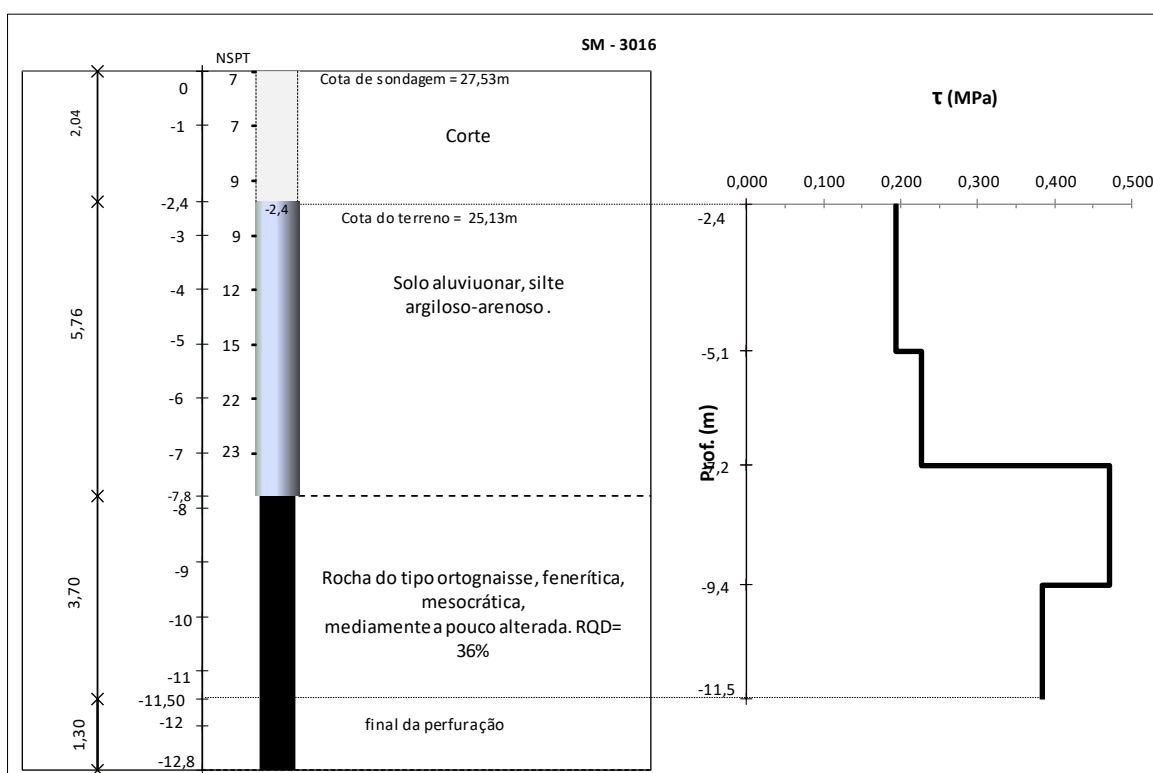
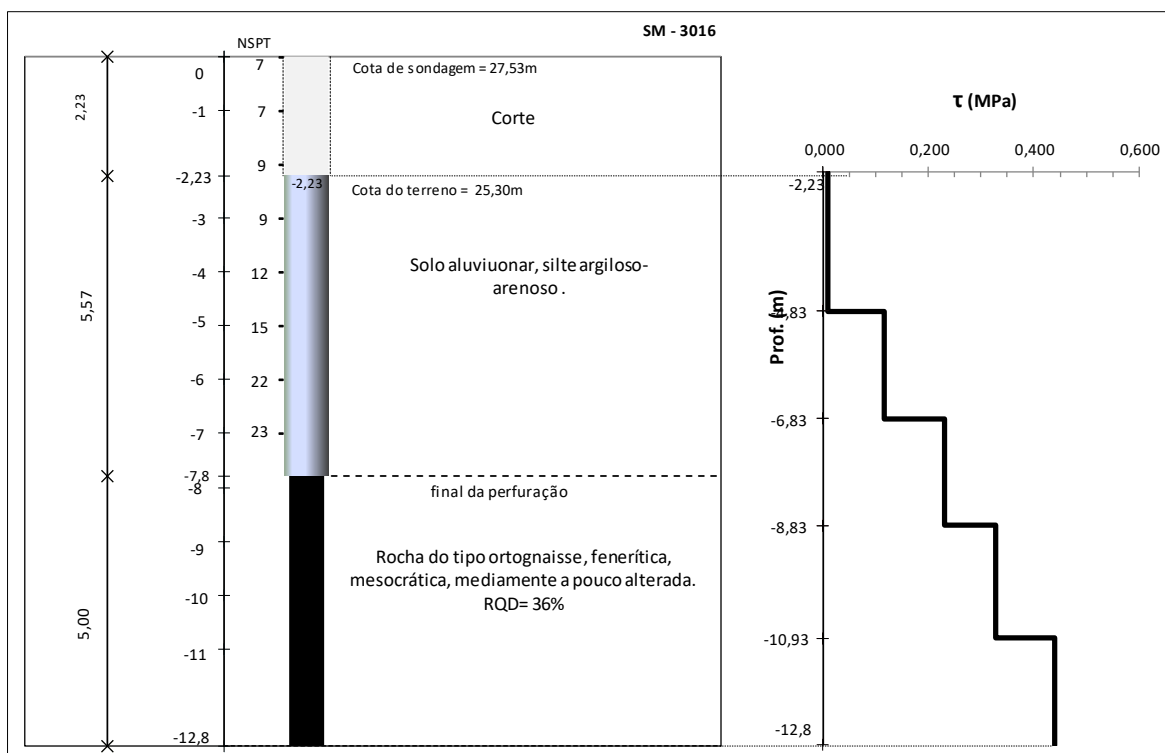


Figura 80 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E7041



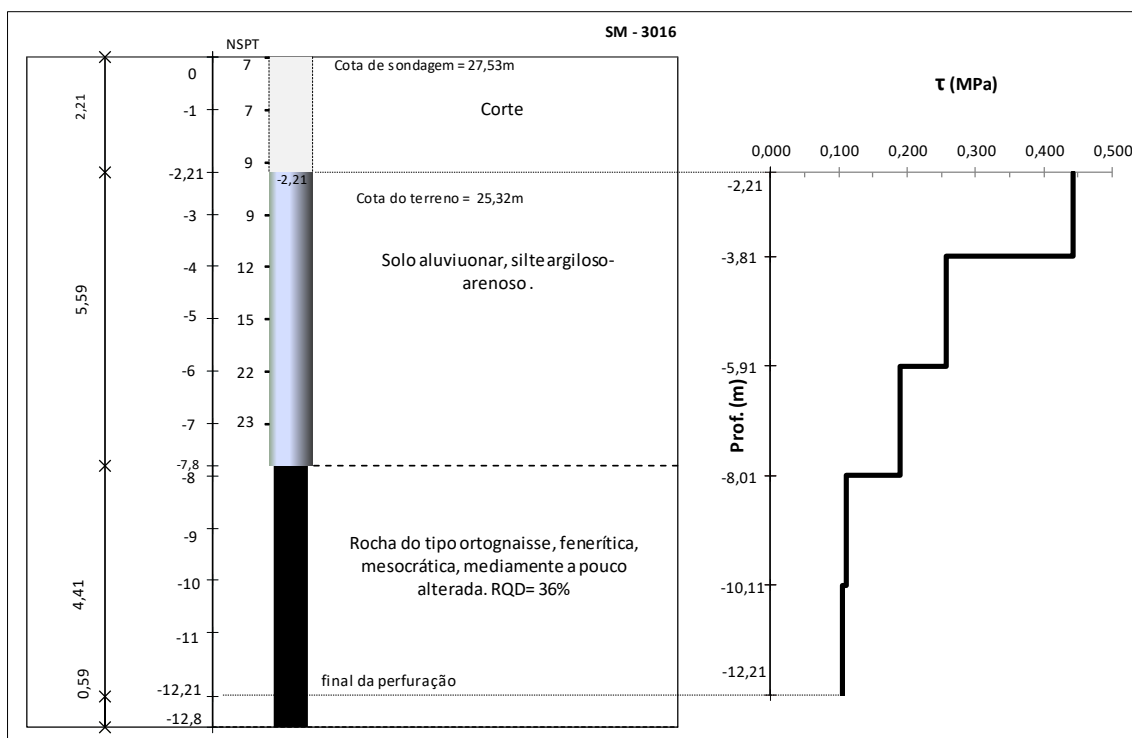


Figura 83 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E7107

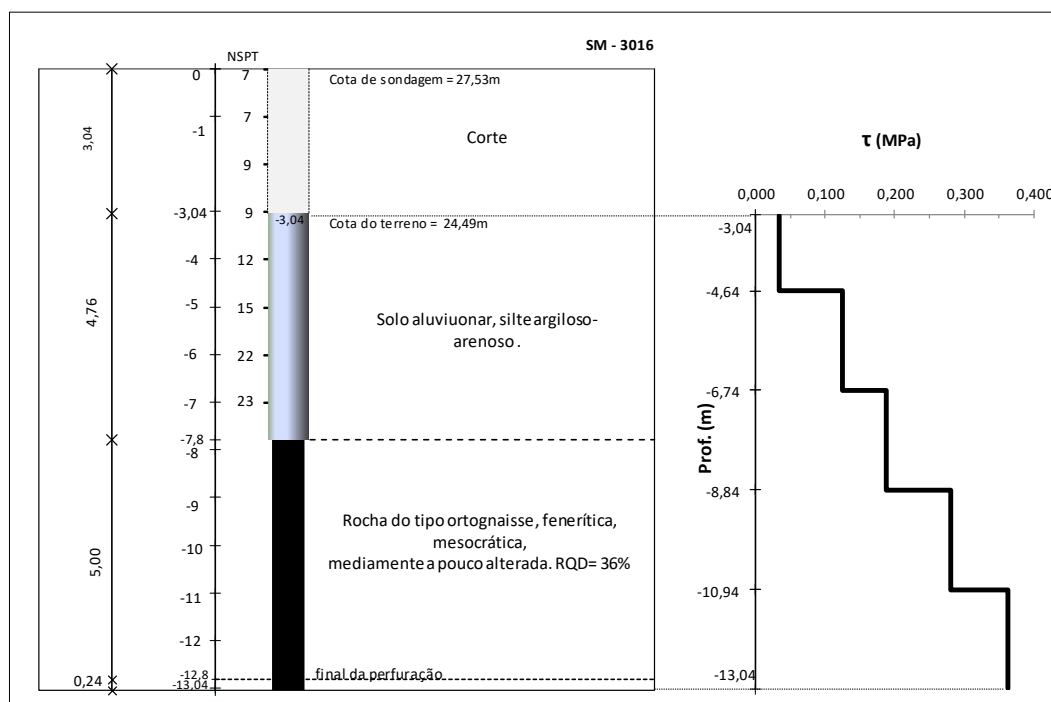


Figura 84 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E7224

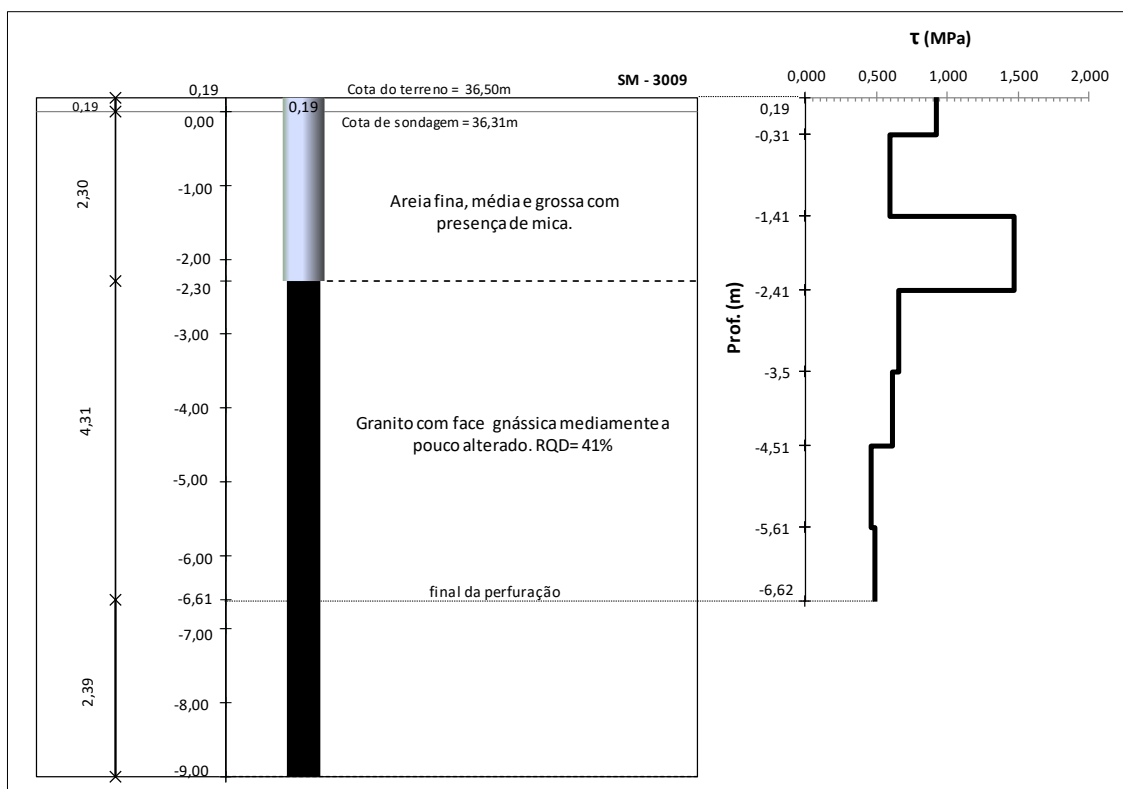


Figura 85 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2113

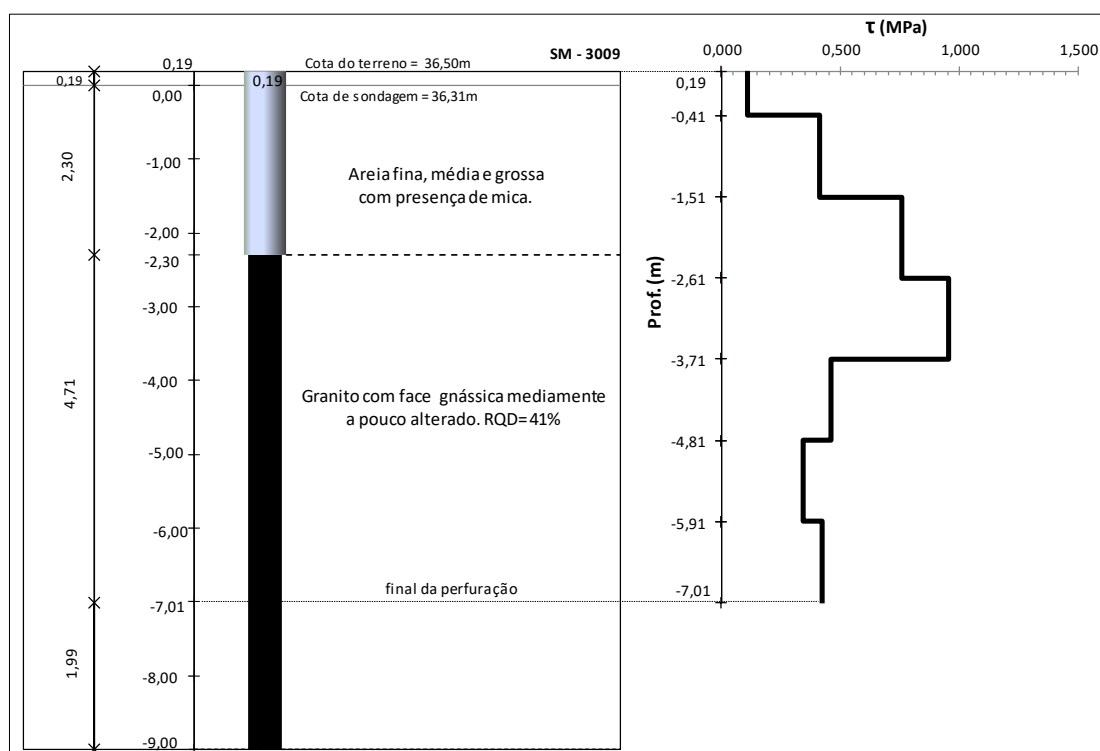


Figura 86 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2110

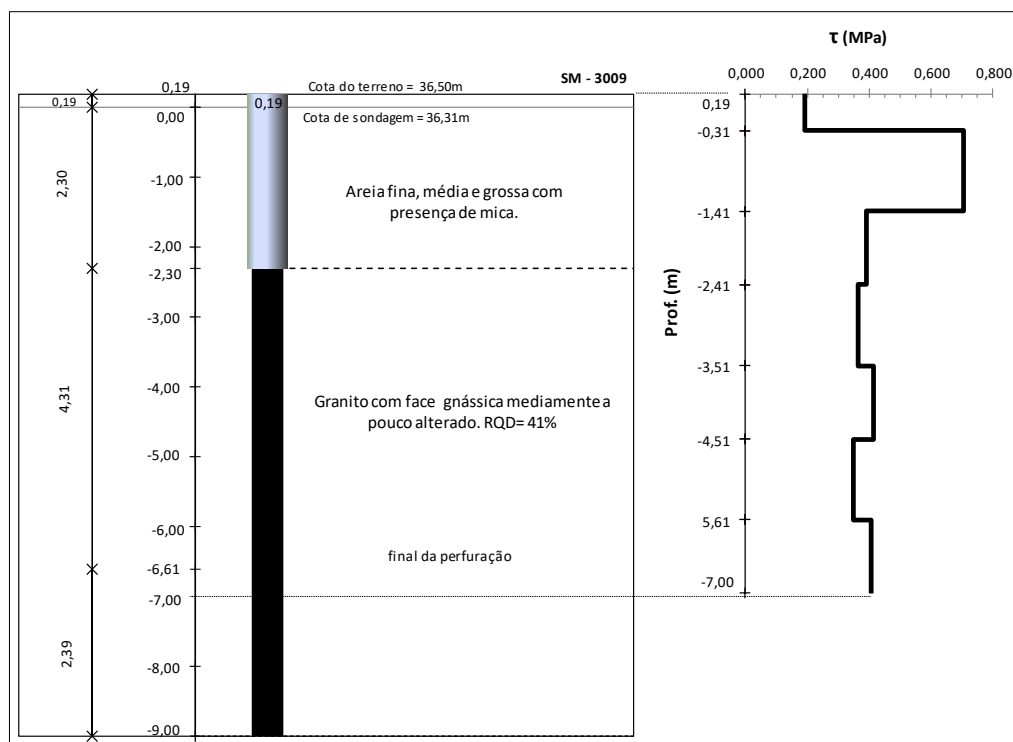


Figura 87 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2122

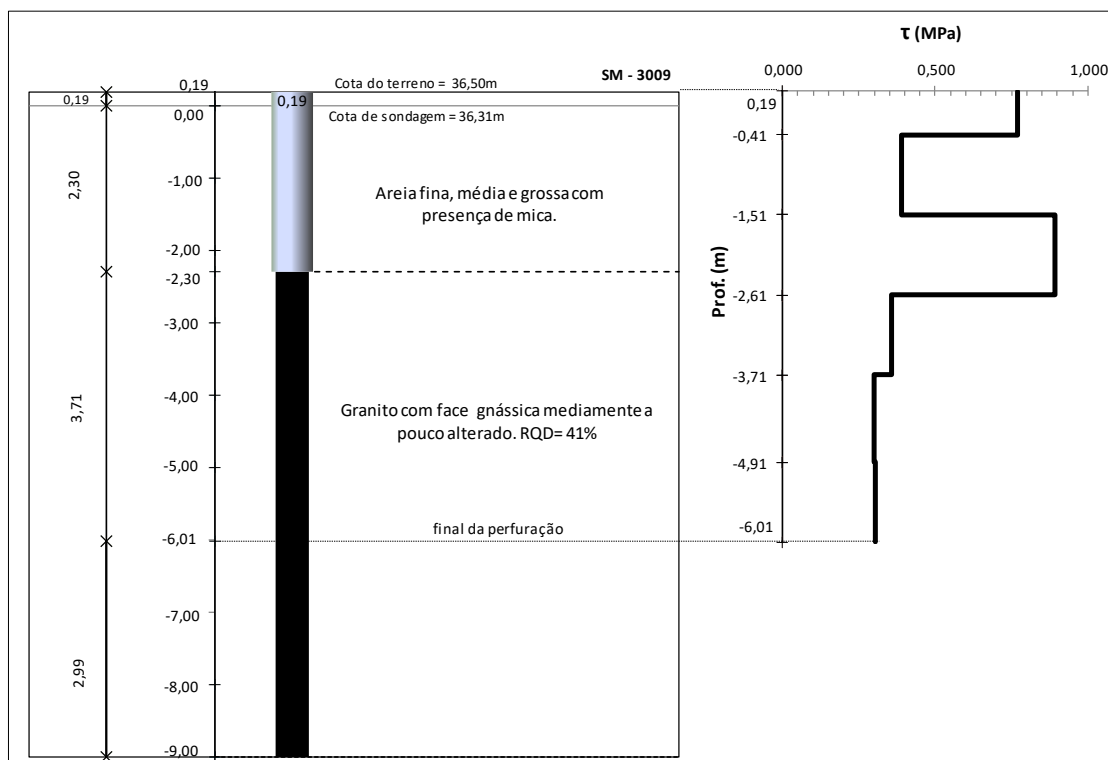


Figura 88 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2103

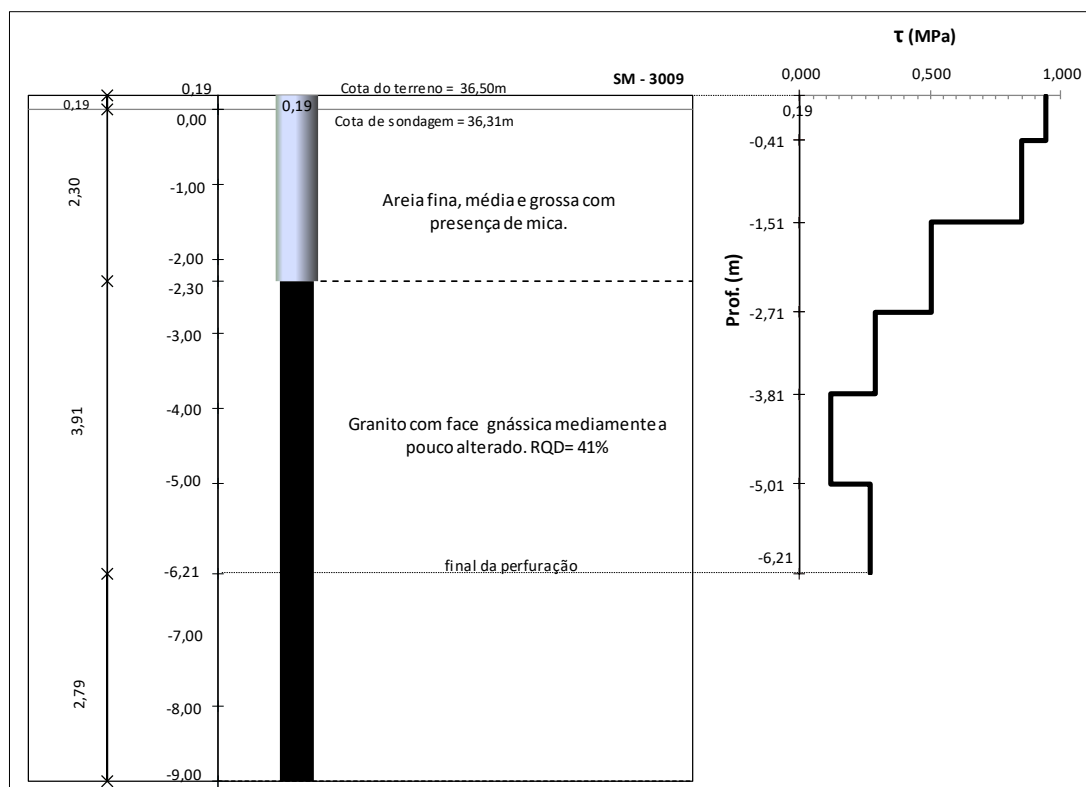


Figura 89 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2125

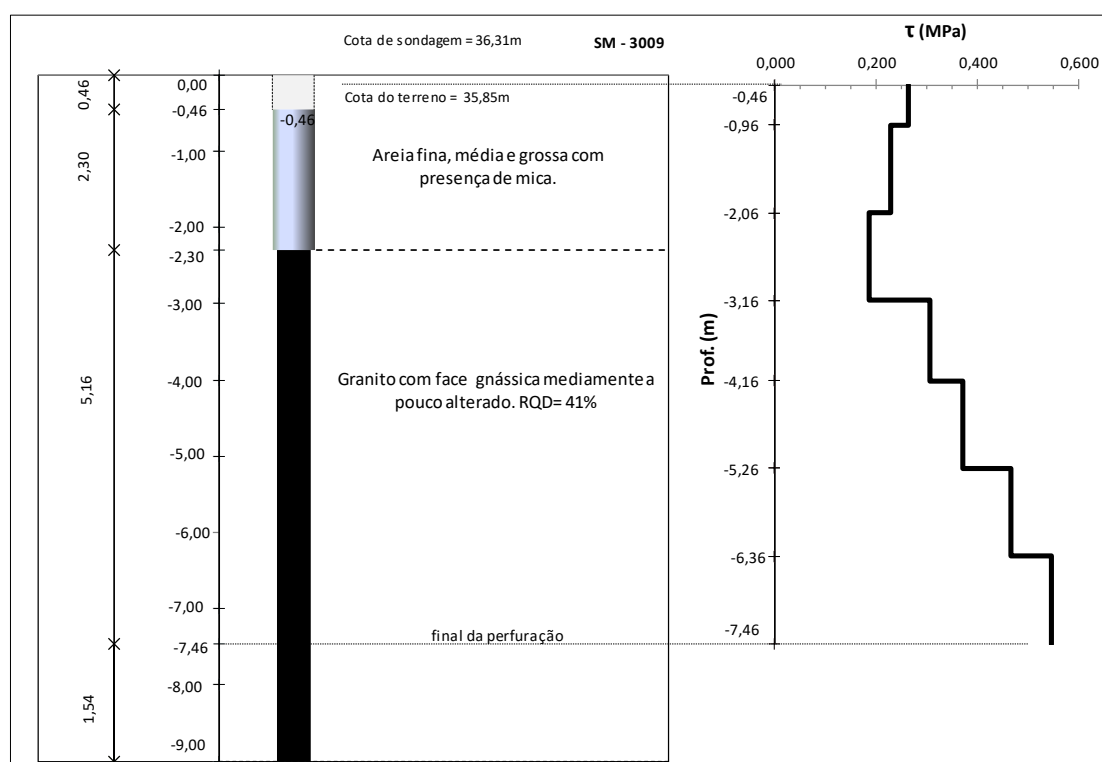


Figura 90 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2117

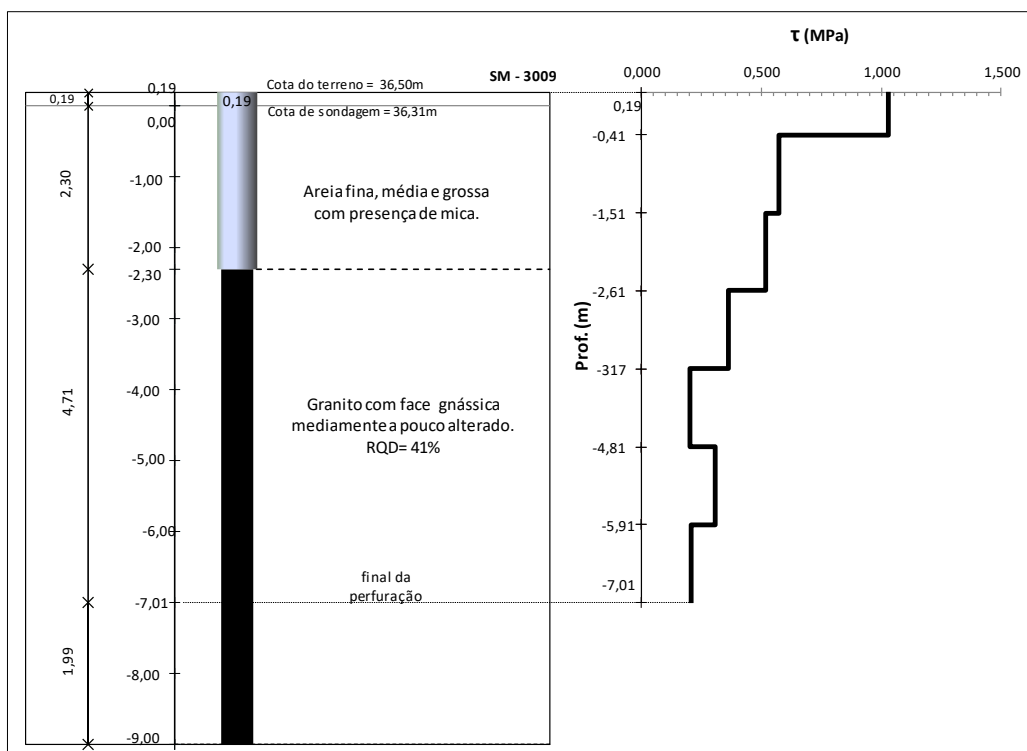


Figura 91 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2121

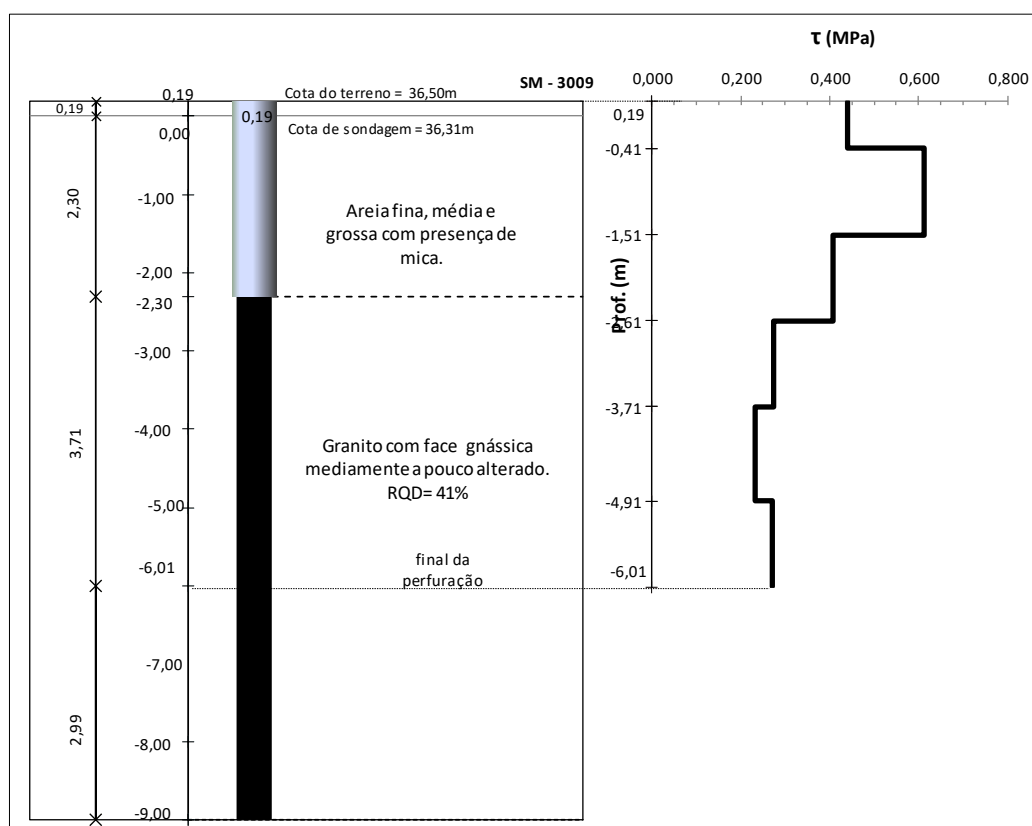


Figura 92 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2101

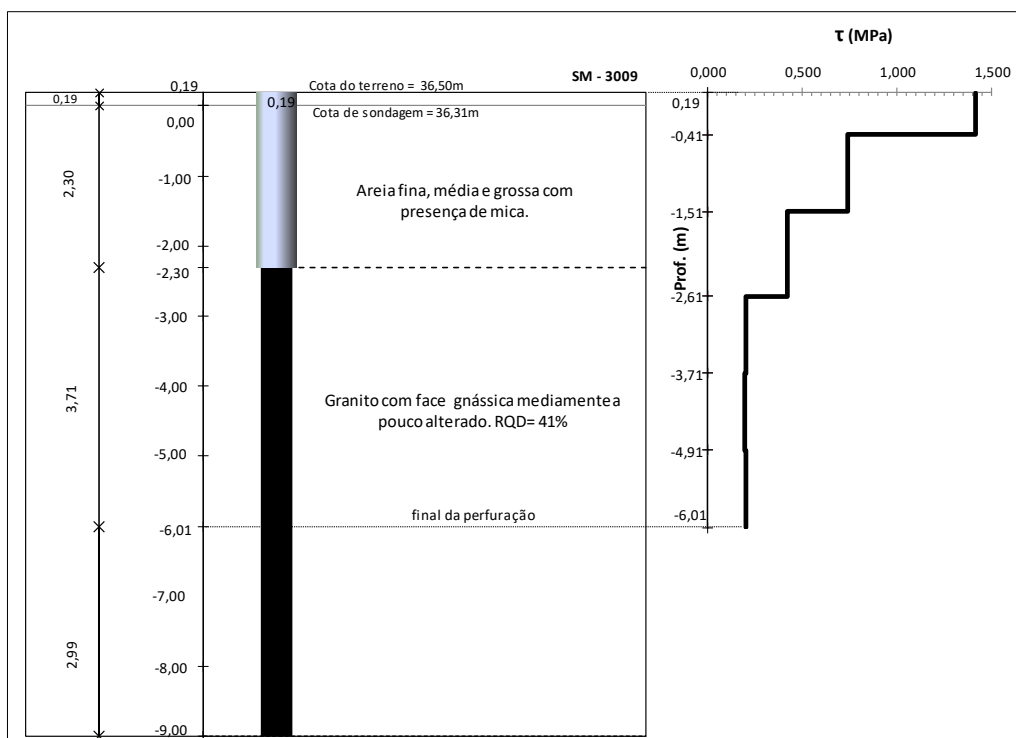


Figura 93 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2100

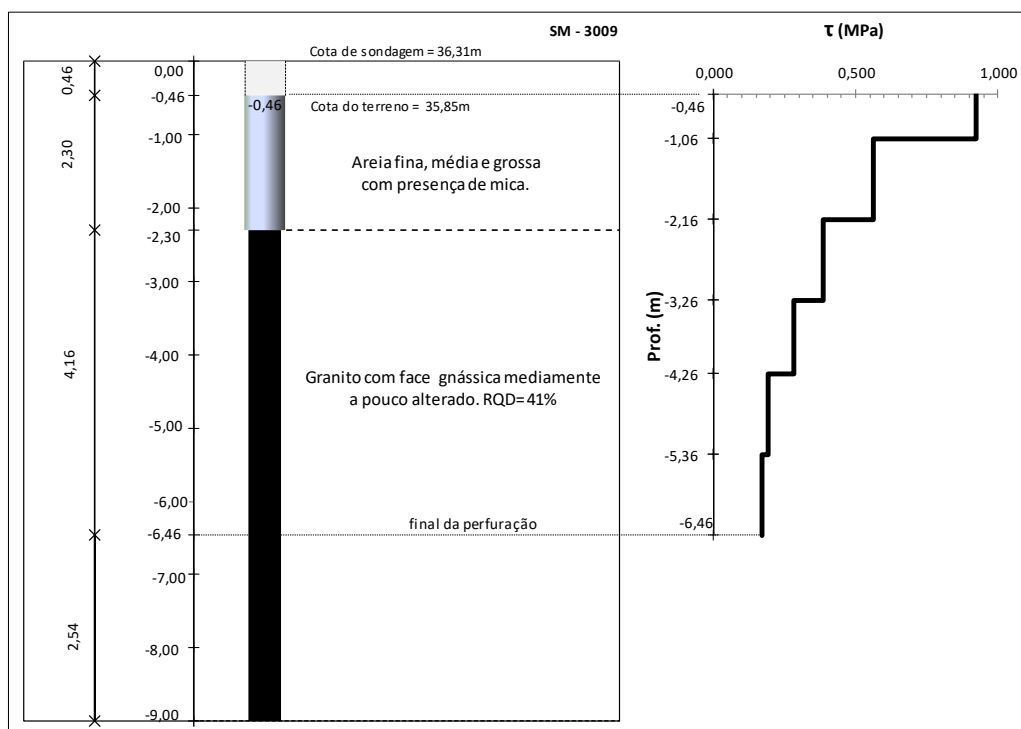


Figura 94 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2119

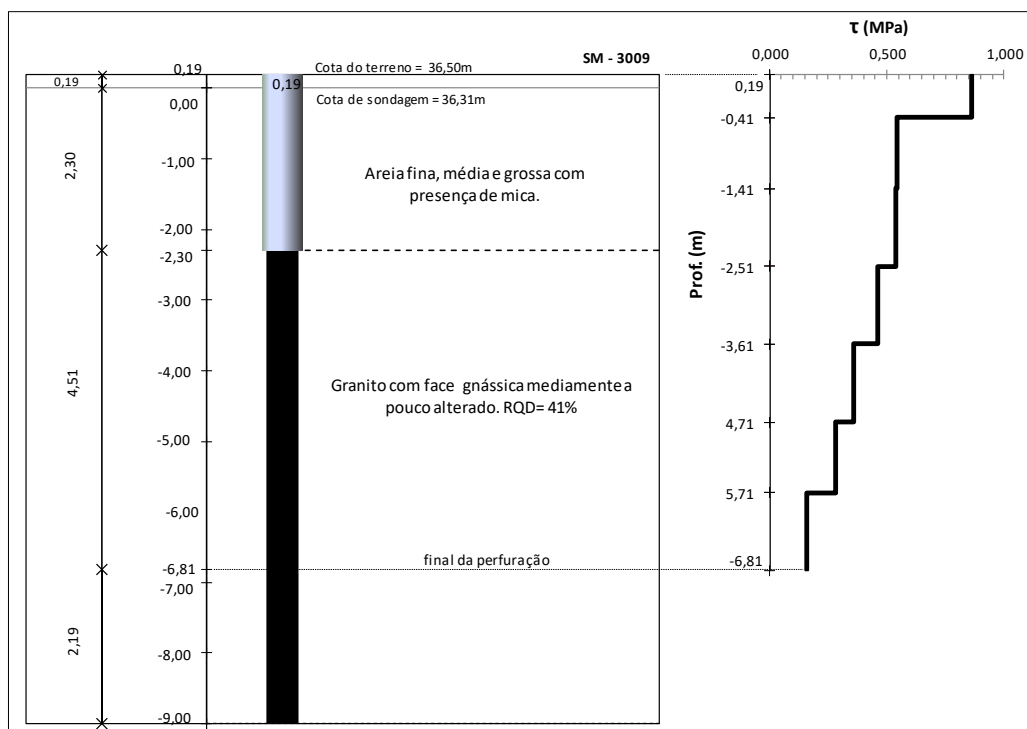


Figura 95 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2114

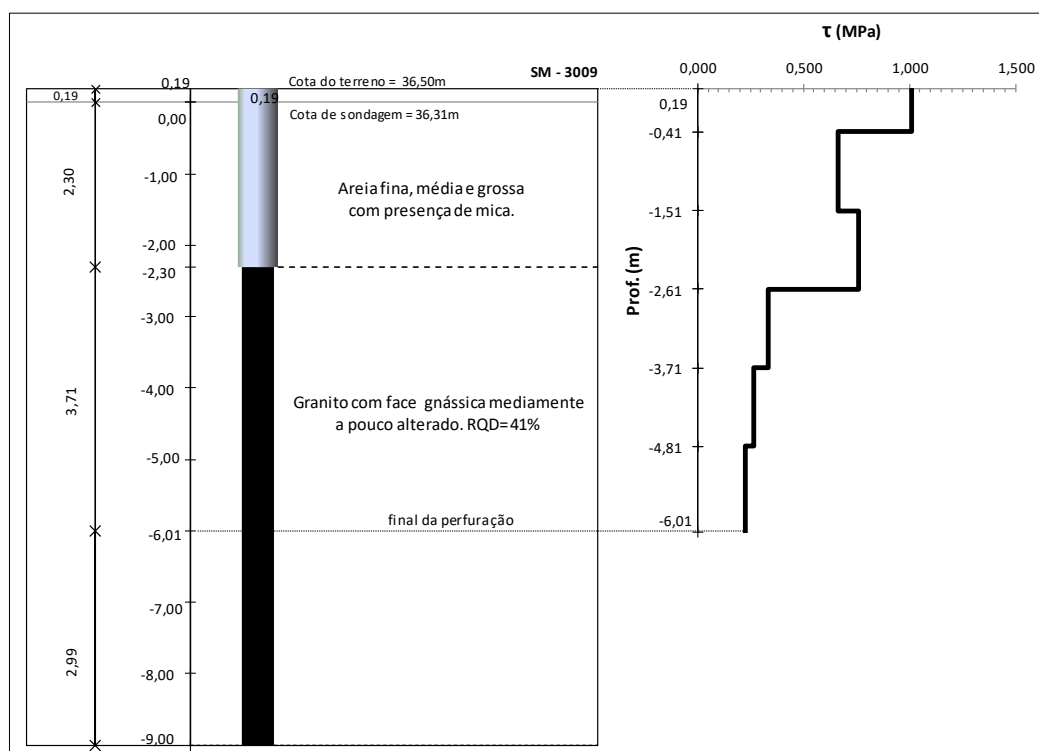


Figura 96 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2104

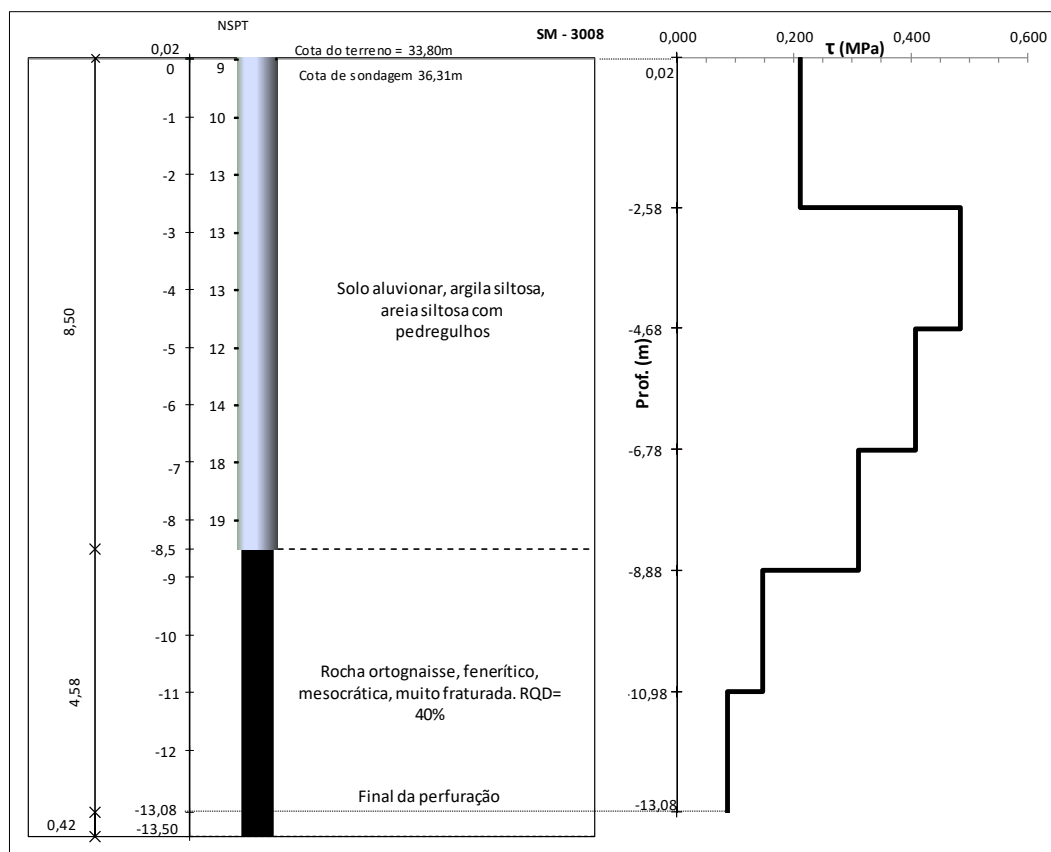


Figura 97 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E3105A

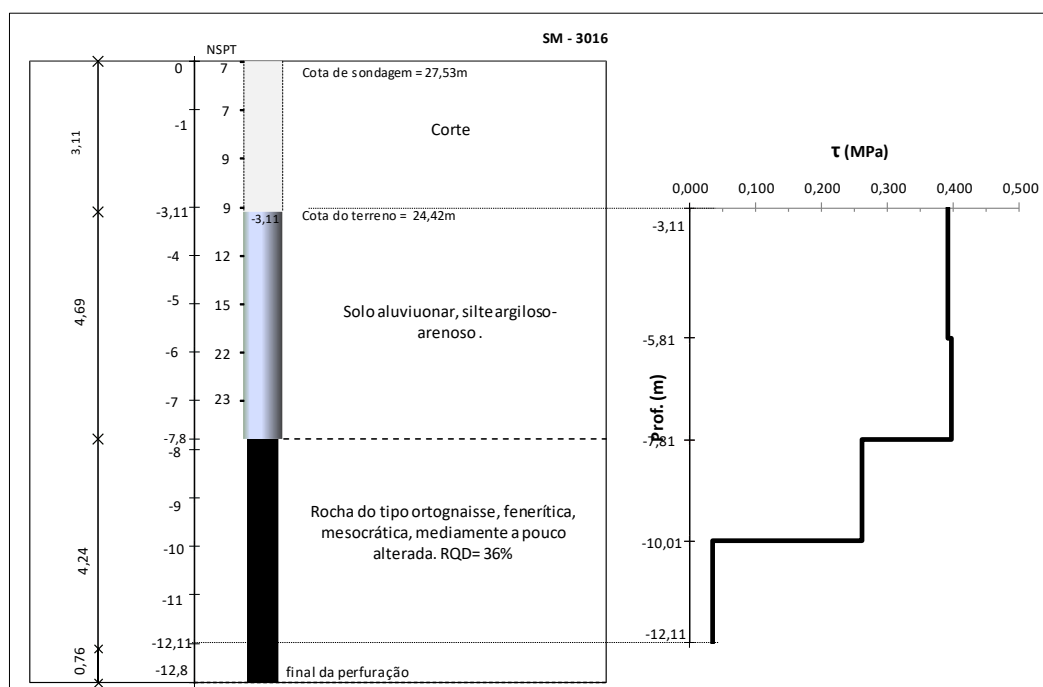


Figura 98 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E7058

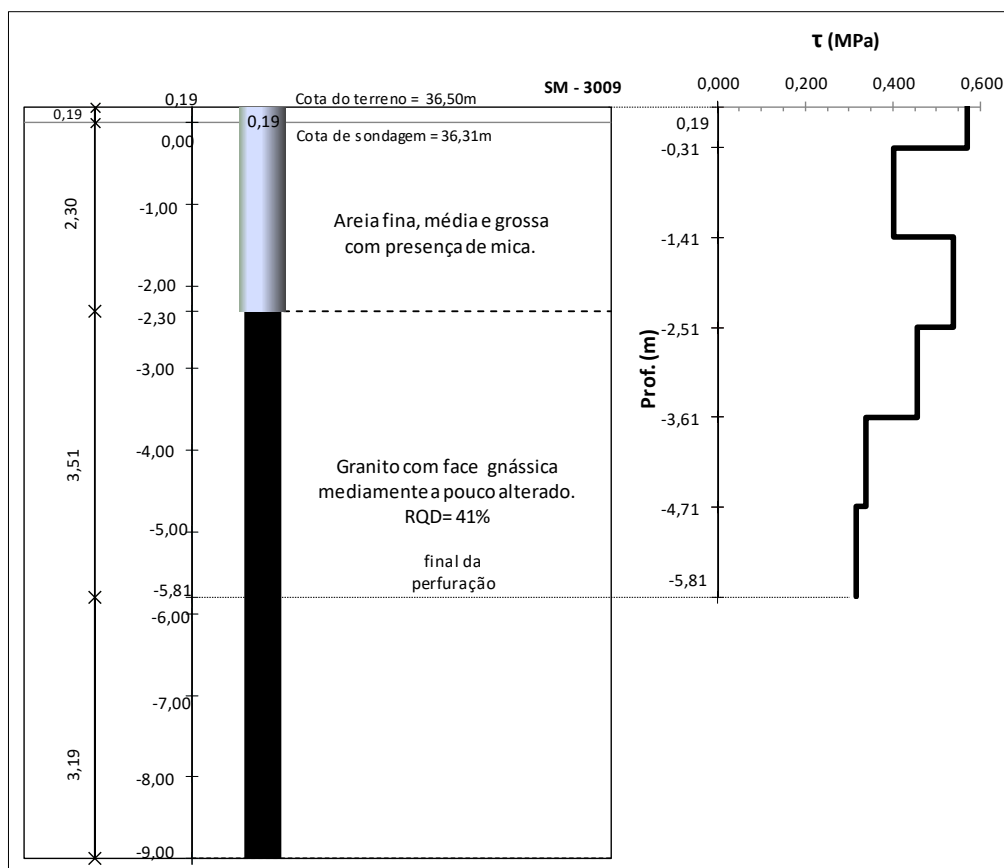


Figura 99 - Distribuição de tensão cisalhante mobilizada no fuste – Estaca E2116

APÊNDICE D – EXTRAPOLAÇÃO DAS PROVAS DE CARGAS ESTÁTICAS

Neste item são apresentadas as extrapolações das provas de carga através dos métodos: Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Chin (1970;1971); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019)

Figura 1 - Curva carga recalque da estaca E 7043 – Ensaio Lento.

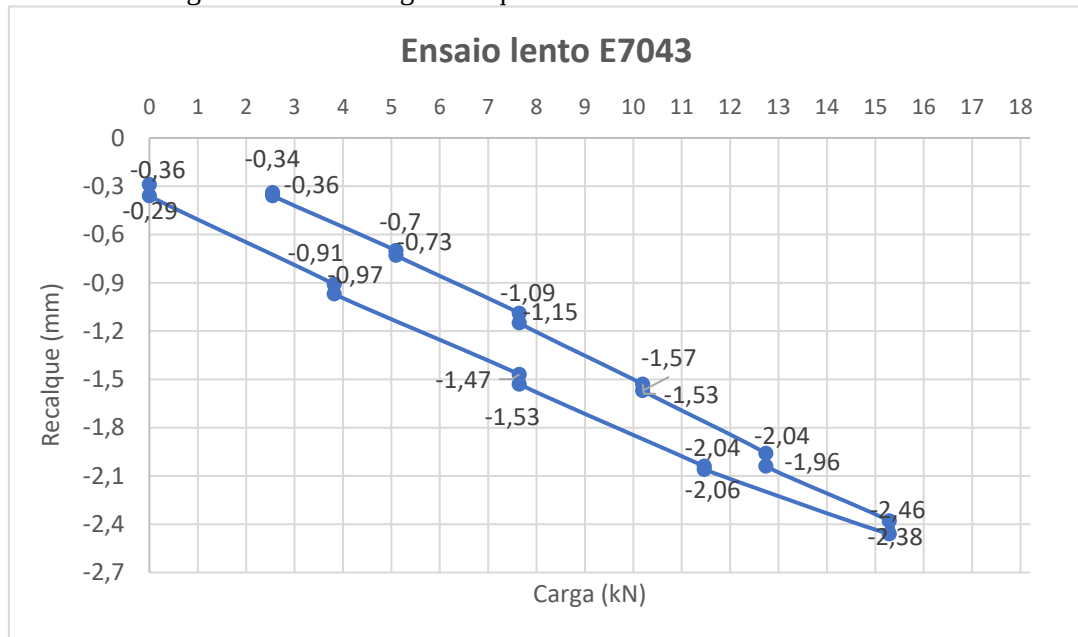


Figura 2 - Curva carga recalque da estaca E 7043 – Ensaio Rápido.

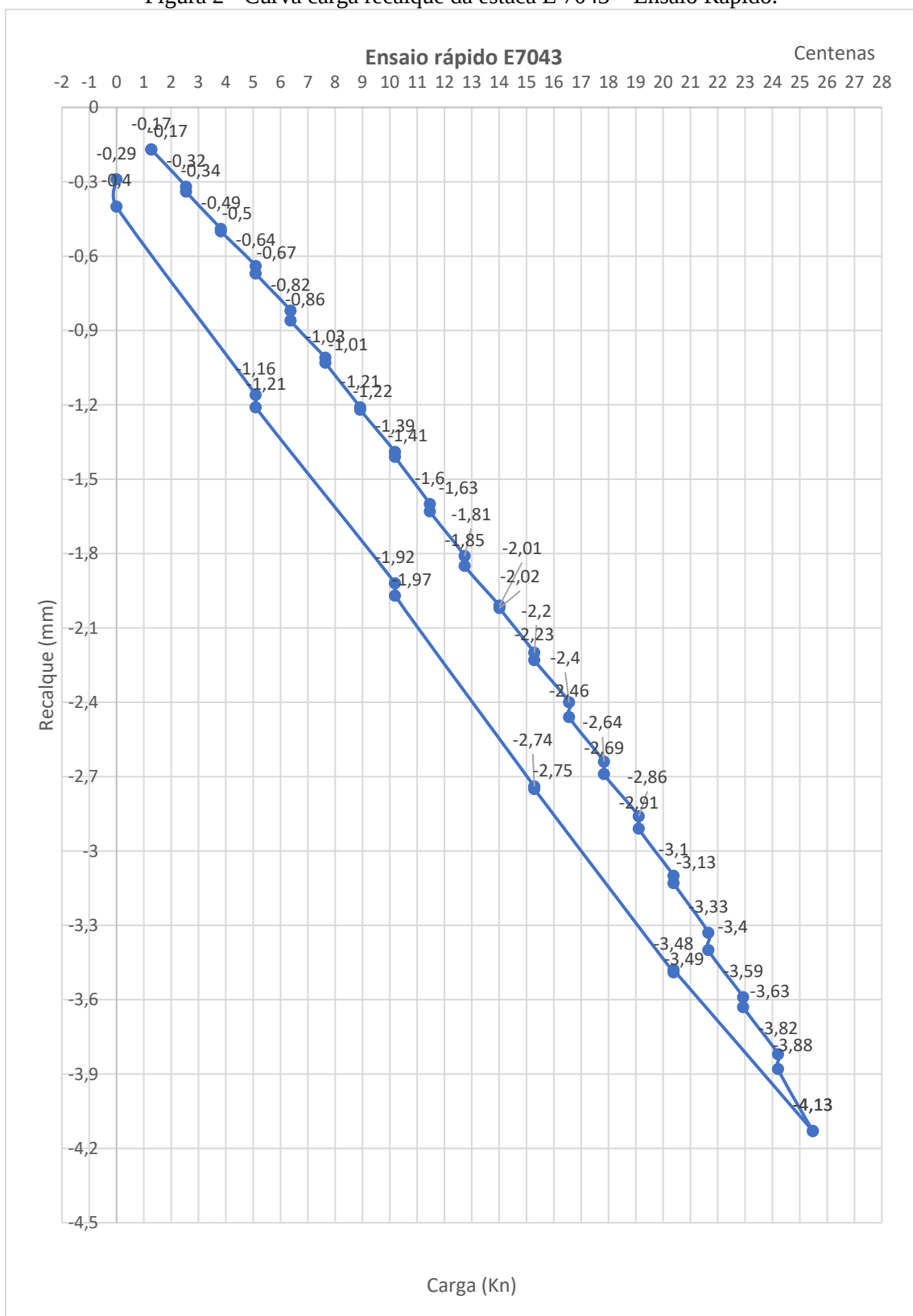


Figura 3 - Curva carga recalque da estaca E 7043 – Ensaio Lento + Rápido.

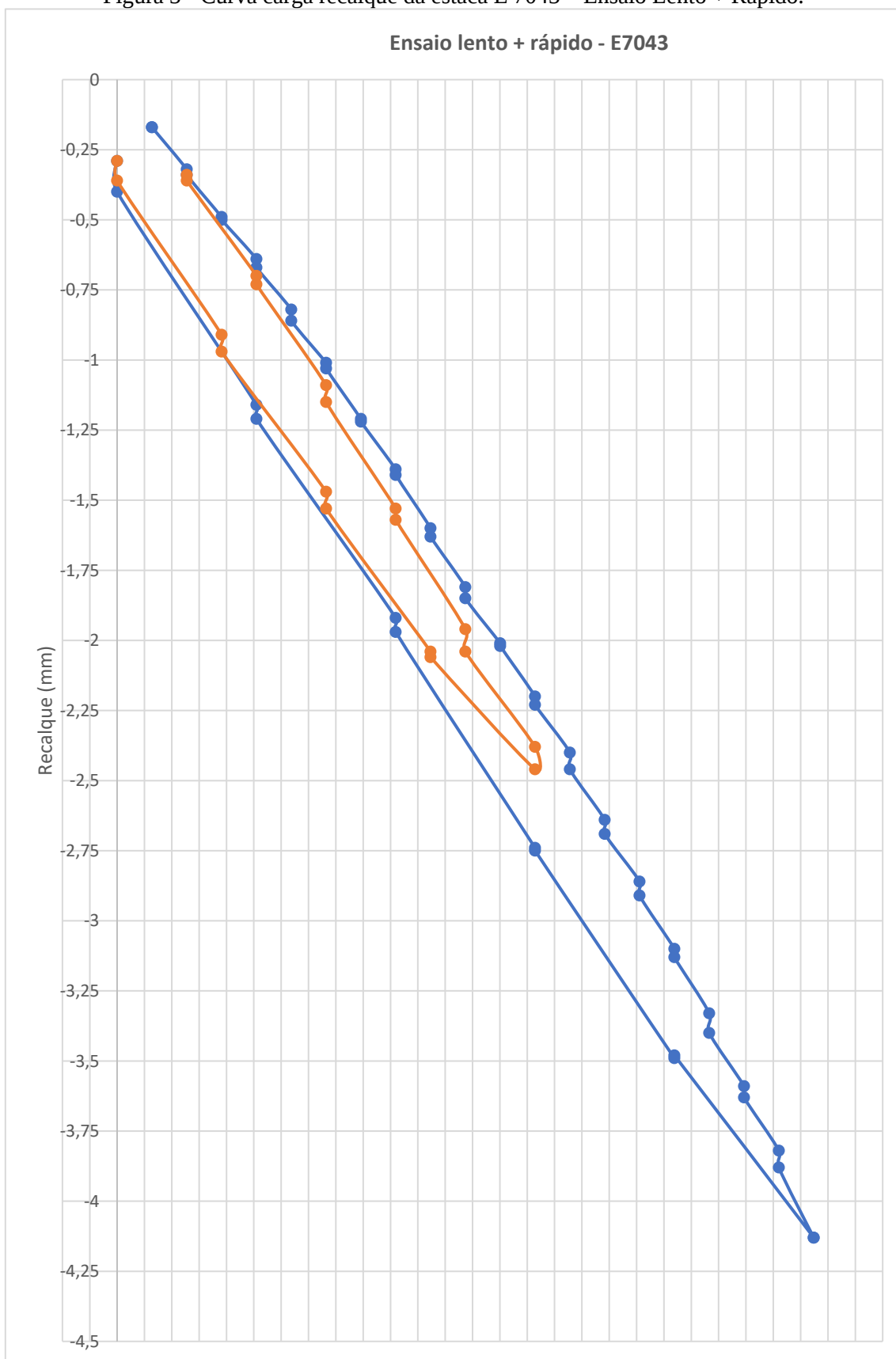


Figura 4 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E7043, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio lento.

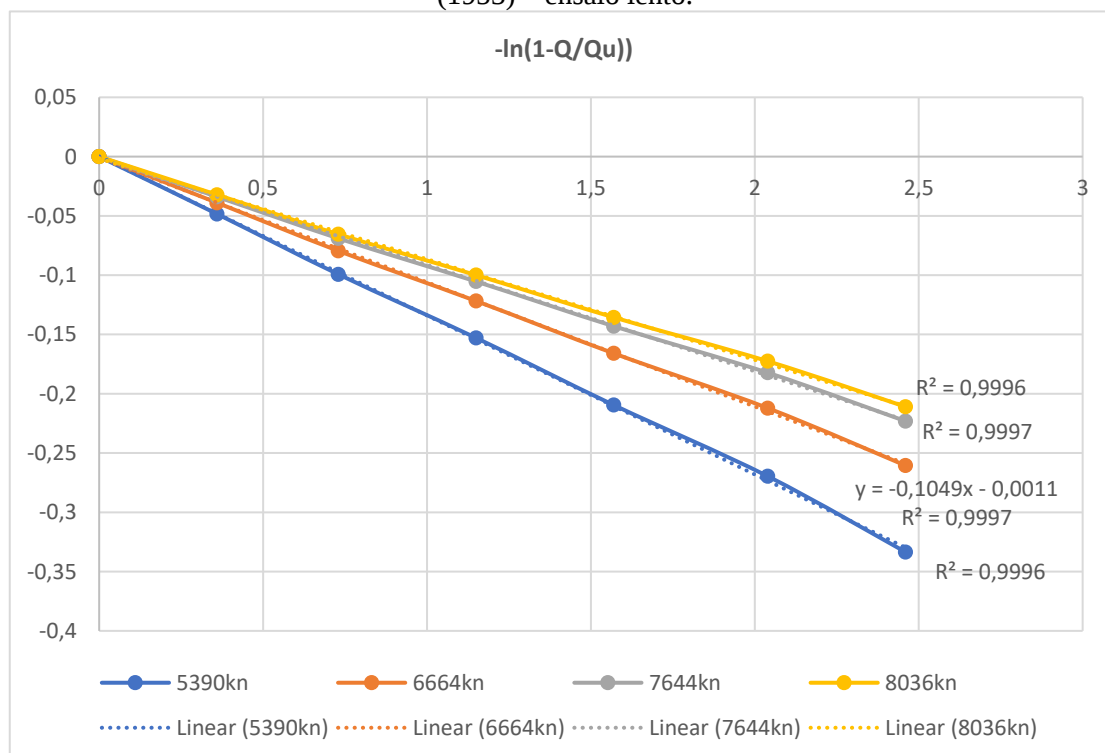


Figura 5 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E7043, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio rápido.

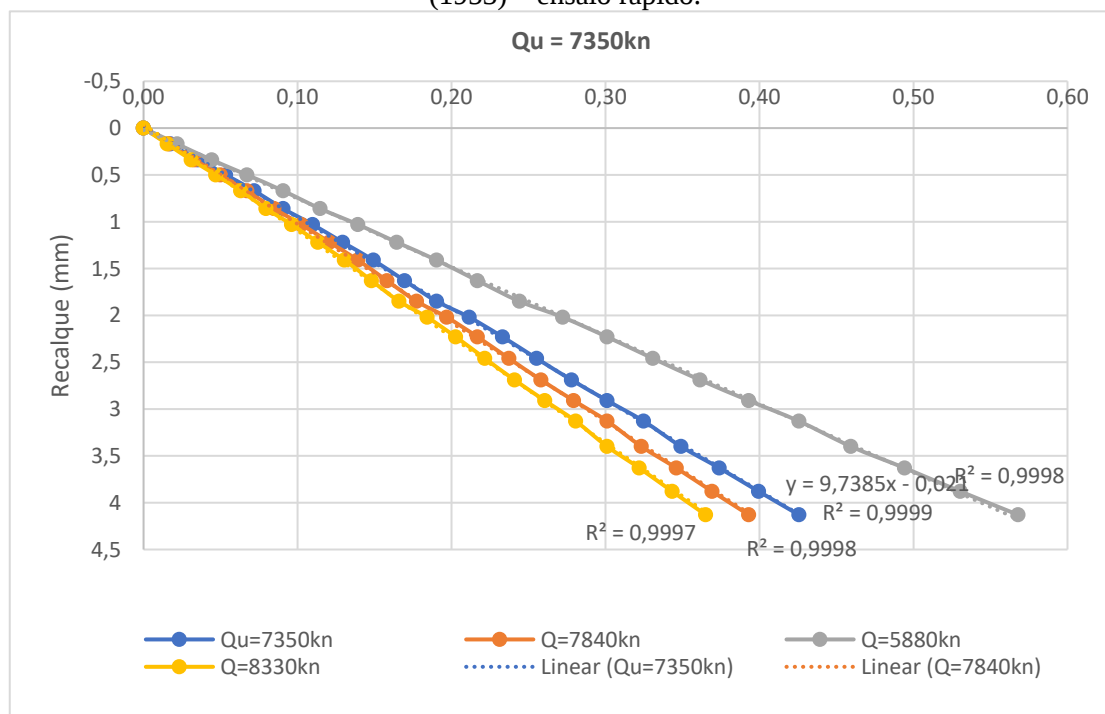


Figura 6 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio Lento.

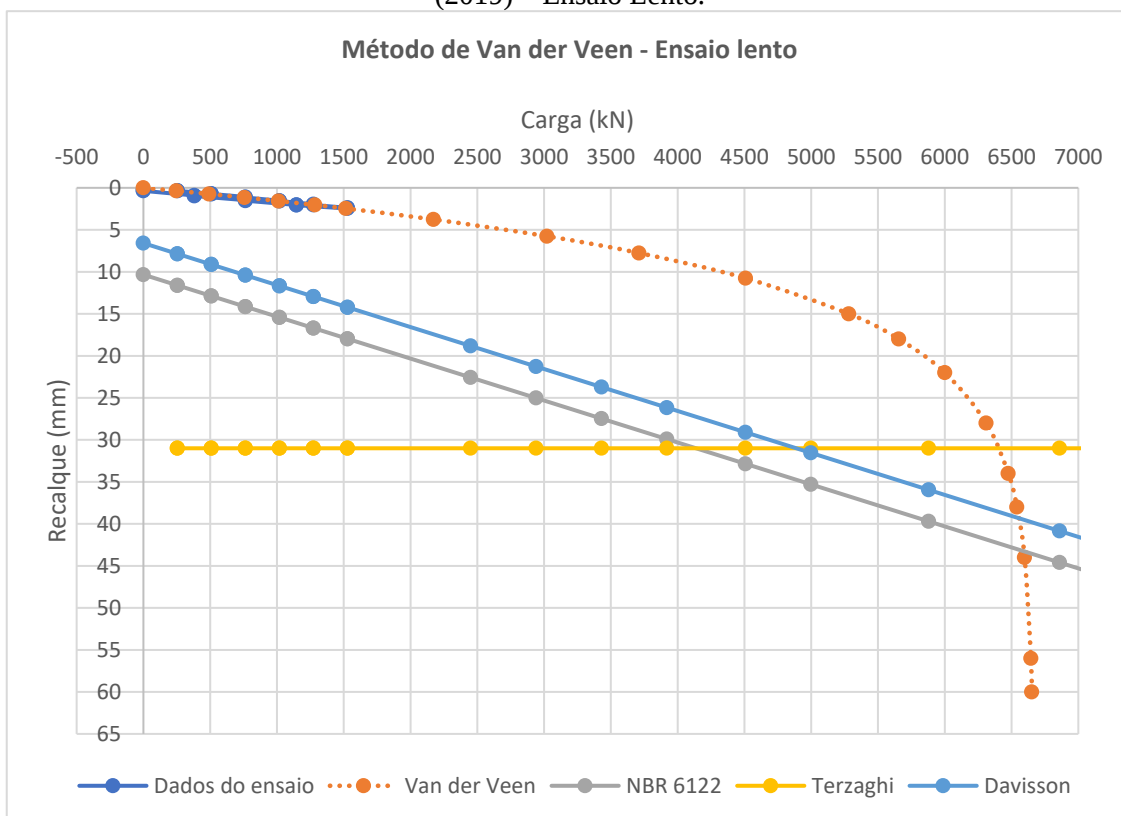


Figura 7 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio rápido.

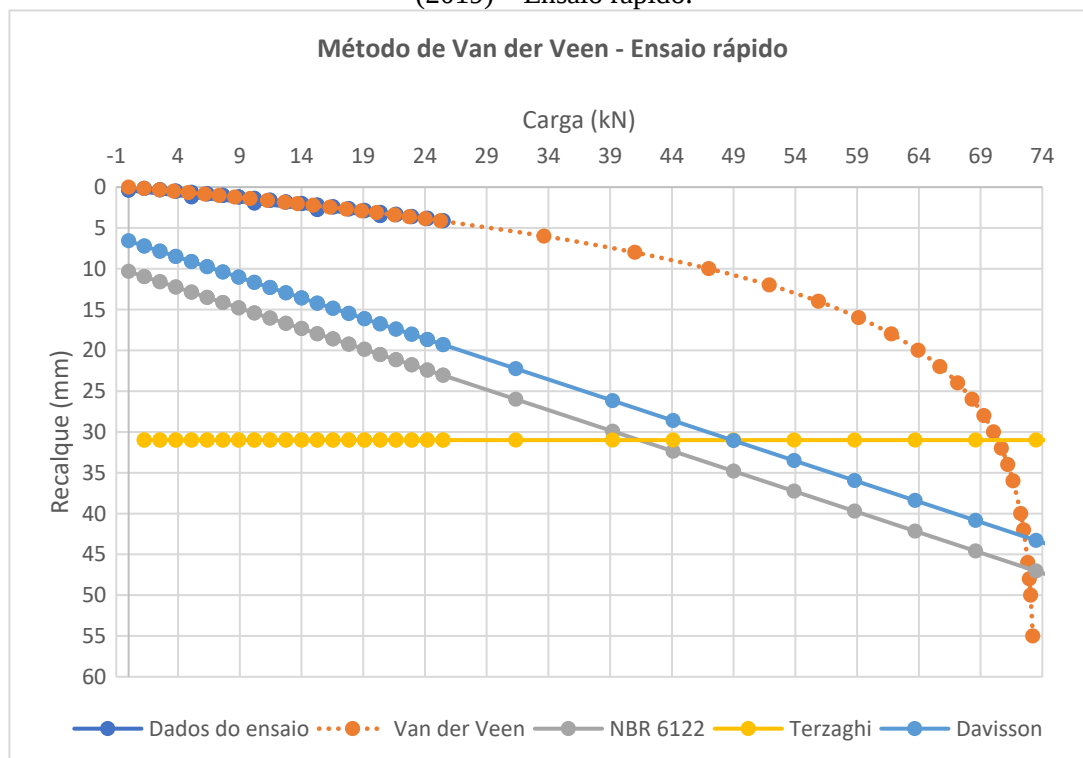


Figura 8 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação do método de Chin (1970;1971) – Ensaio Lento.

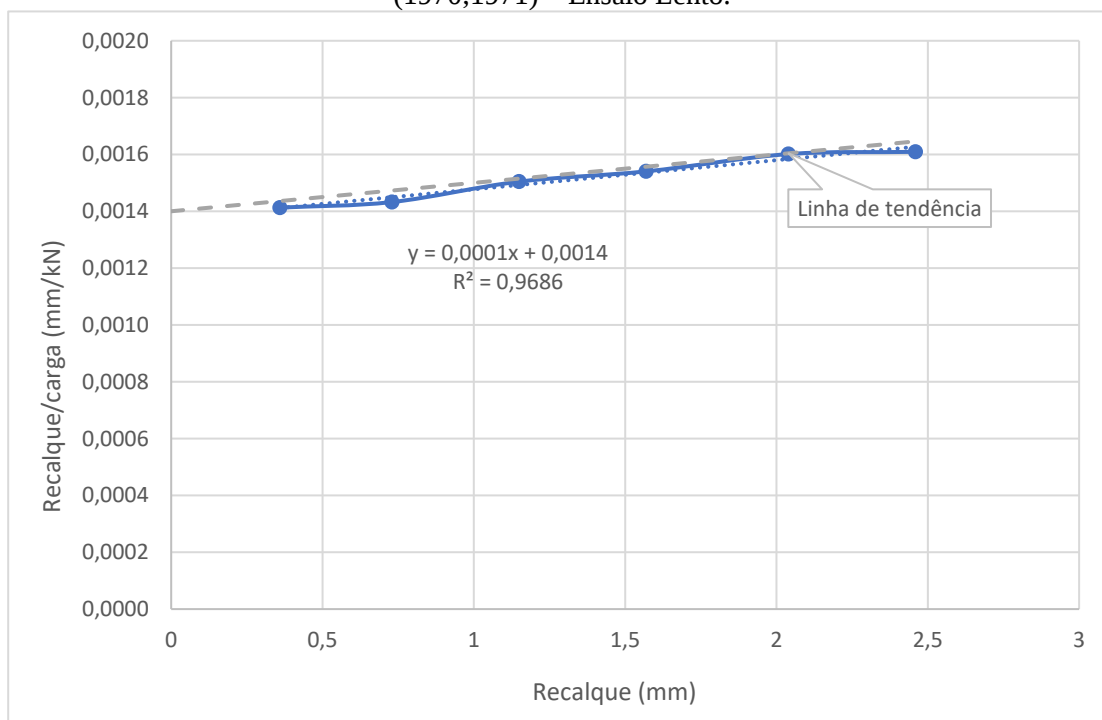


Figura 9 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação do método de Chin (1970;1971) – Ensaio Rápido.

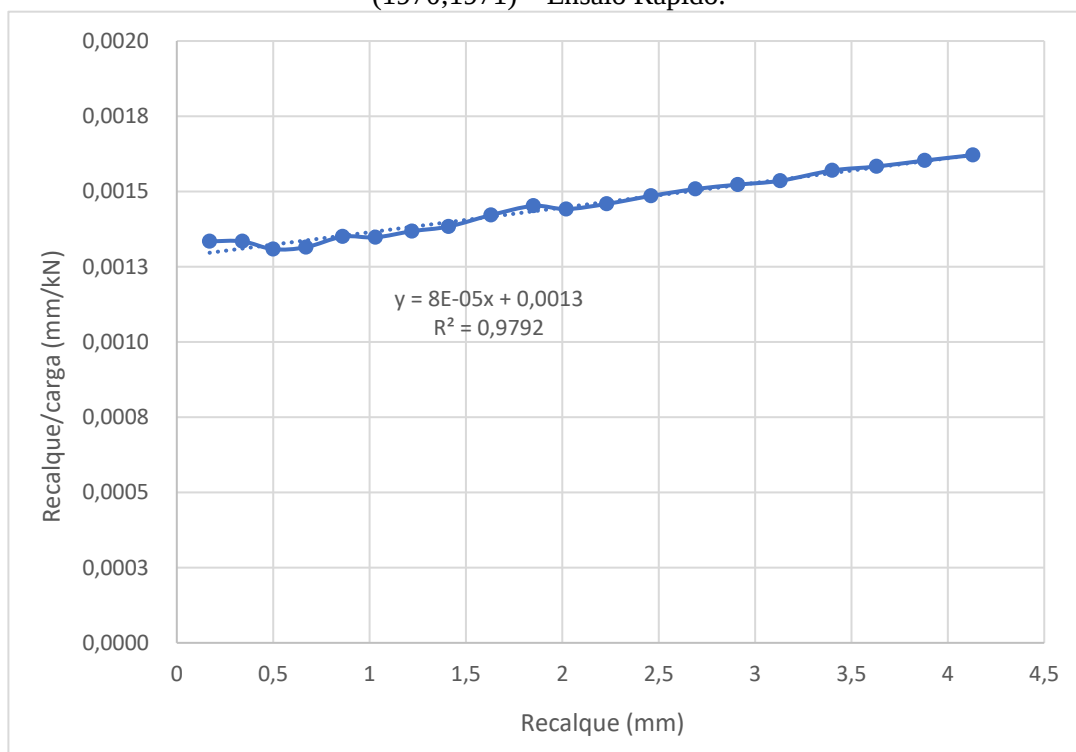


Figura 10 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação do método de Décourt (1996) – Ensaio Lento.

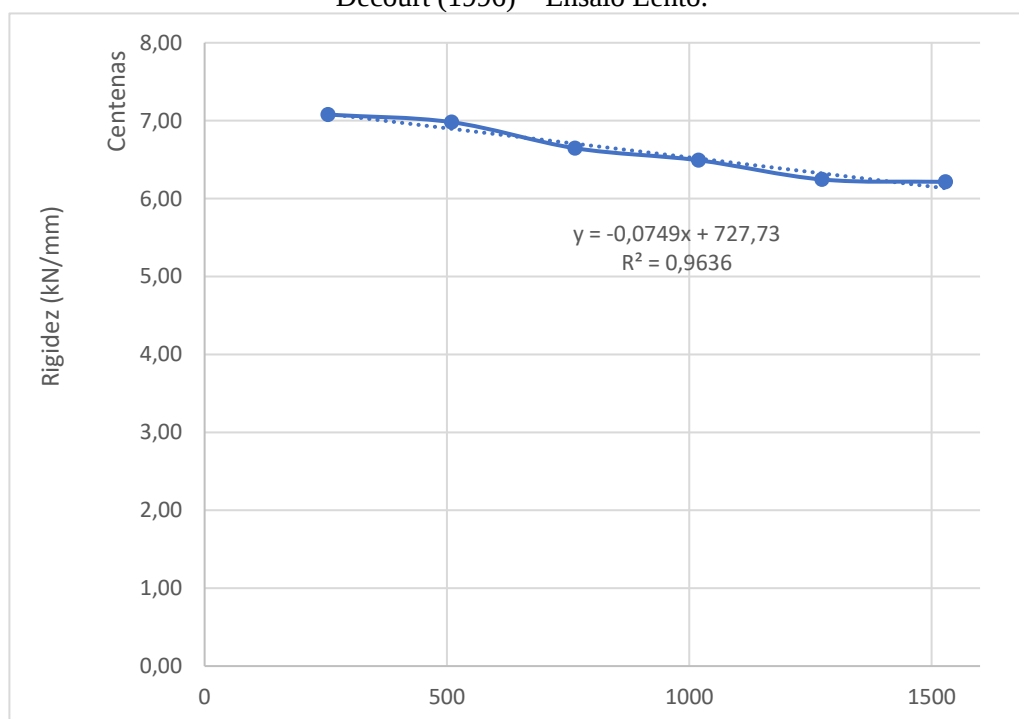


Figura 11 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E7043, pela aplicação do método de Décourt (1996) – Ensaio rápido.

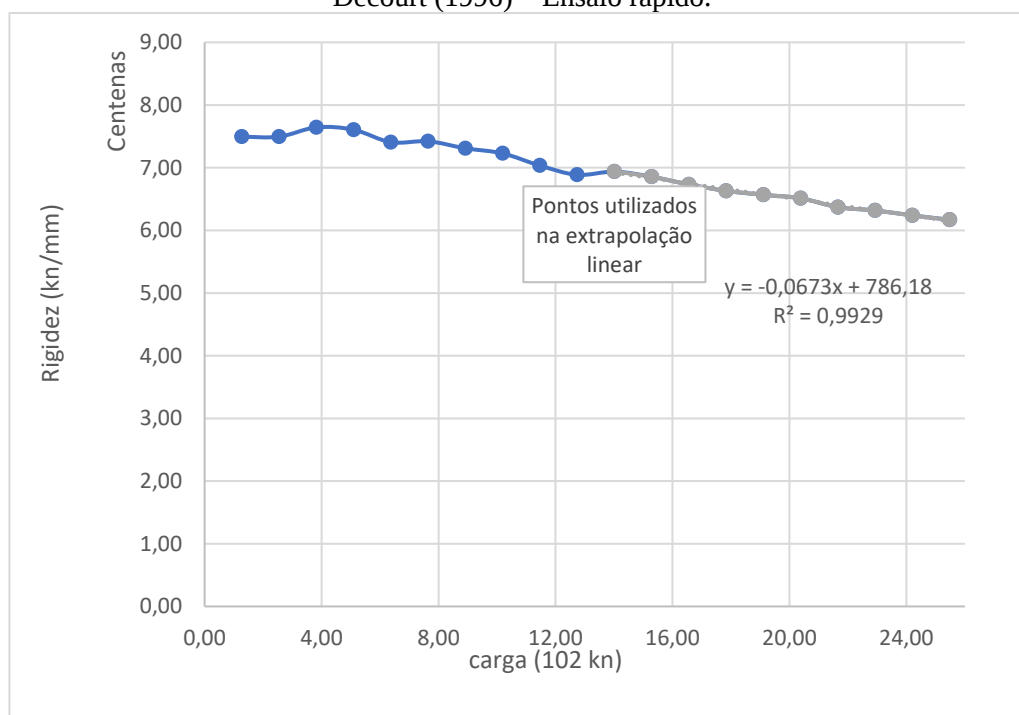


Figura 12 - Curva carga recalque da estaca E 5043 – Ensaio Lento.

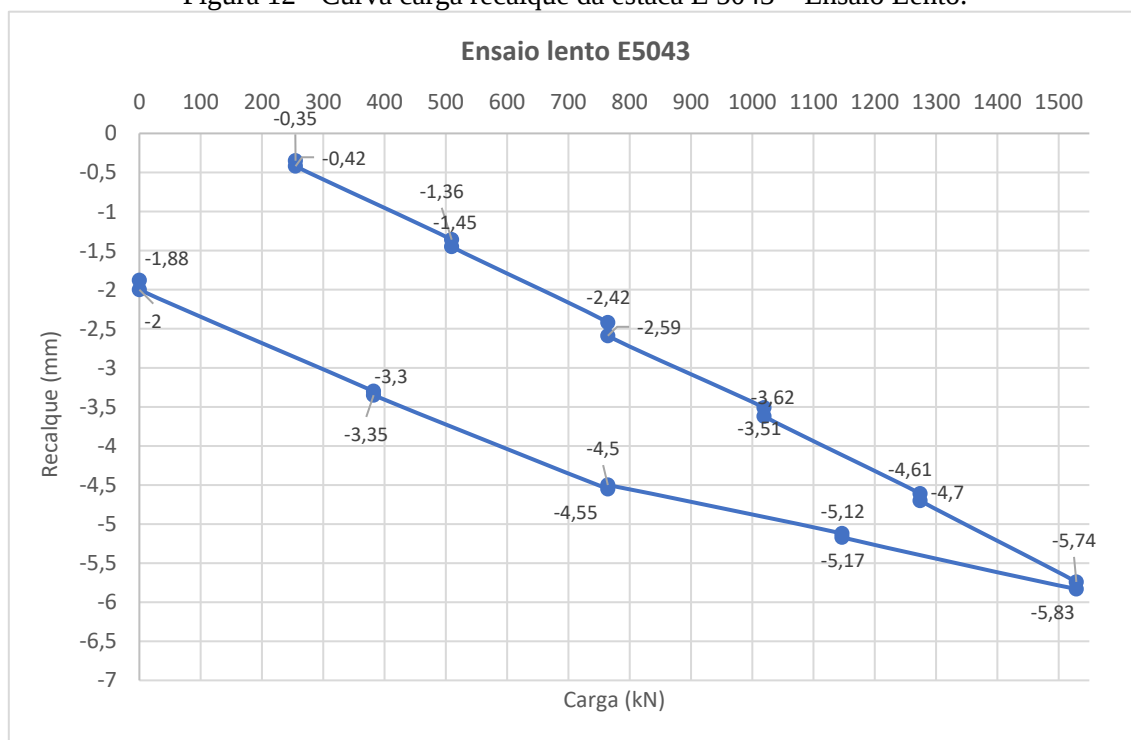


Figura 13 - Curva carga recalque da estaca E 5043 – Ensaio Rápido.

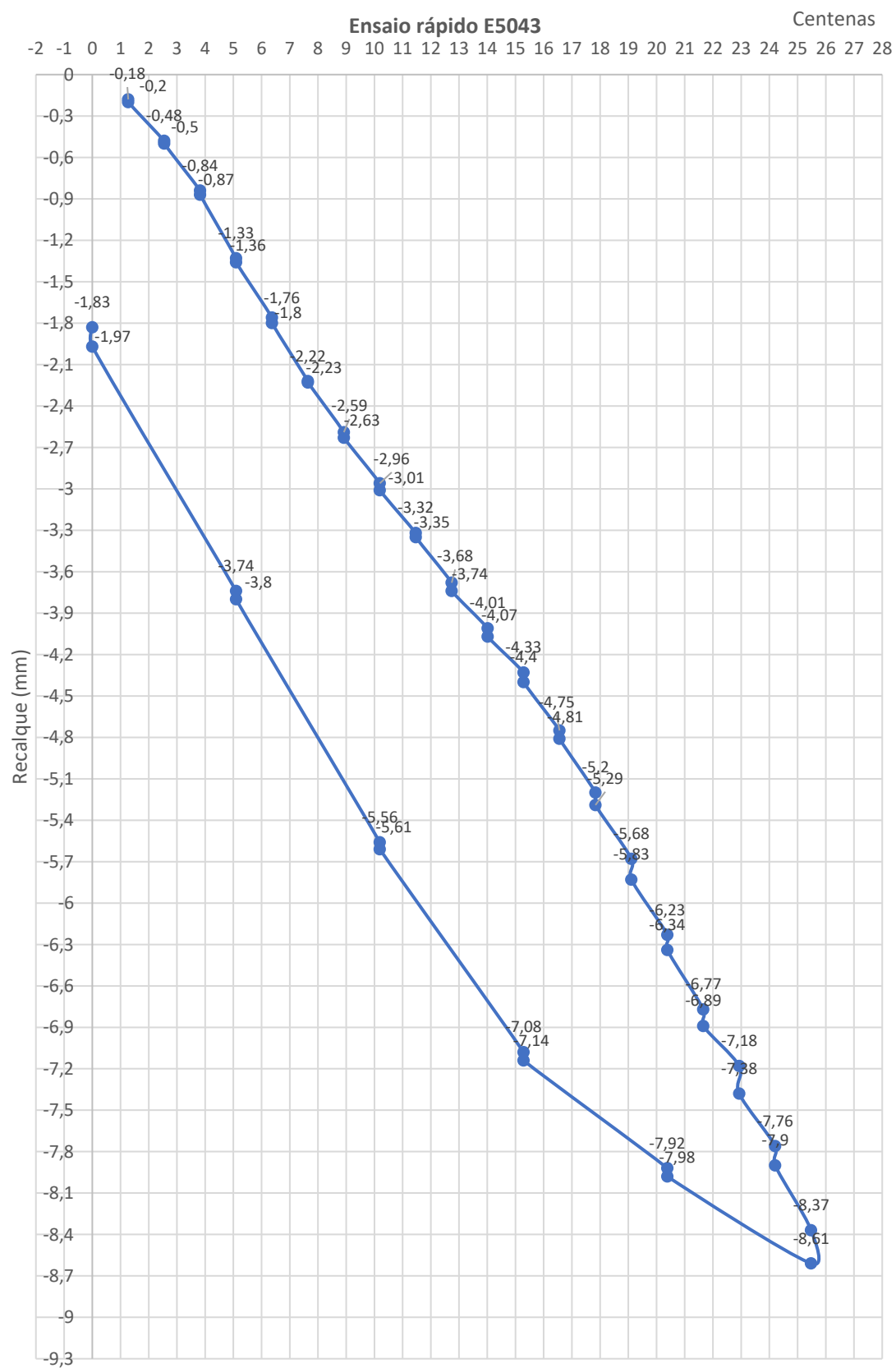


Figura 14 - Curva carga recalque da estaca E 5043 – Ensaio Lento + Rápido.

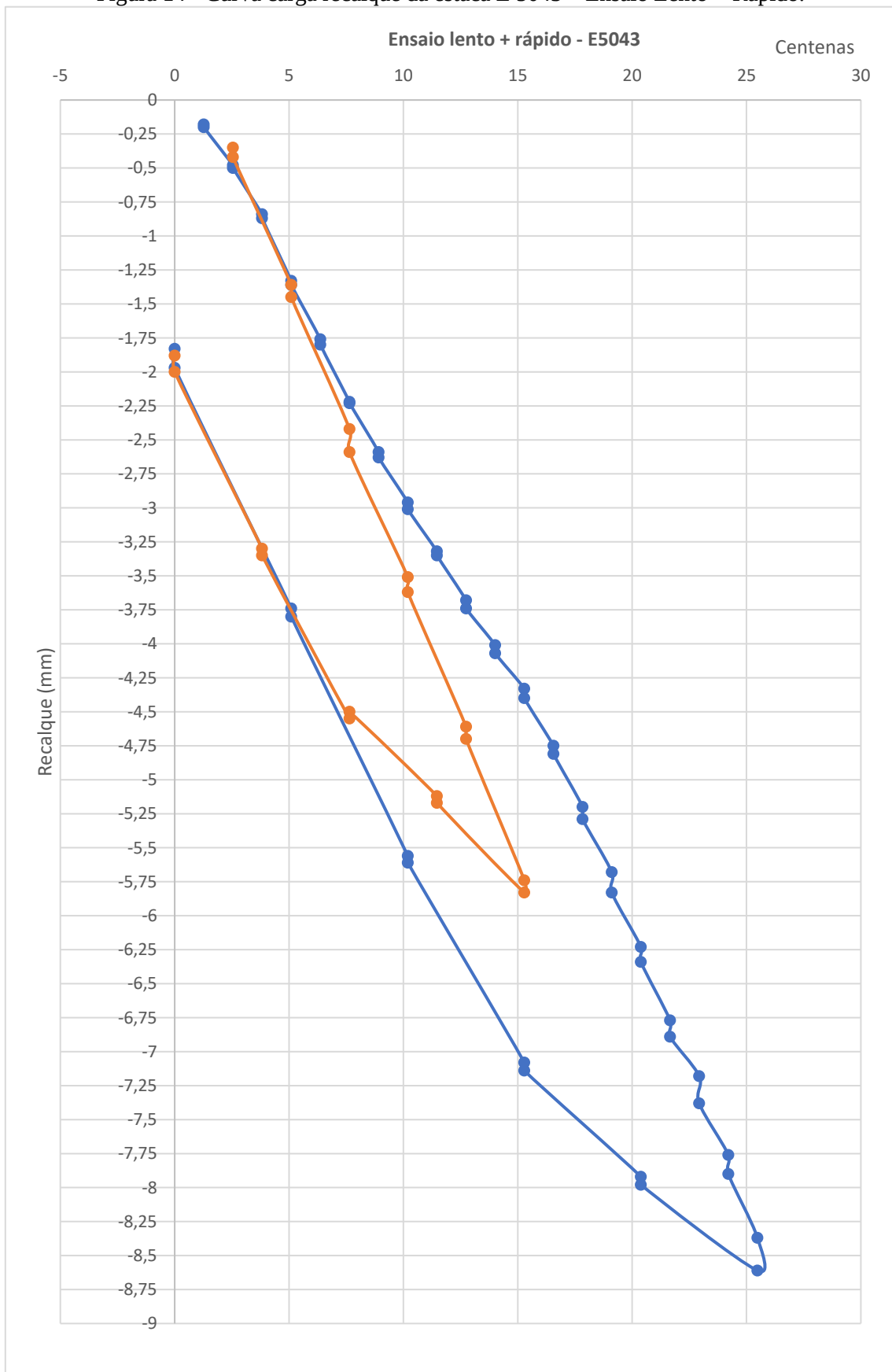


Figura 15 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E5043, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio lento.

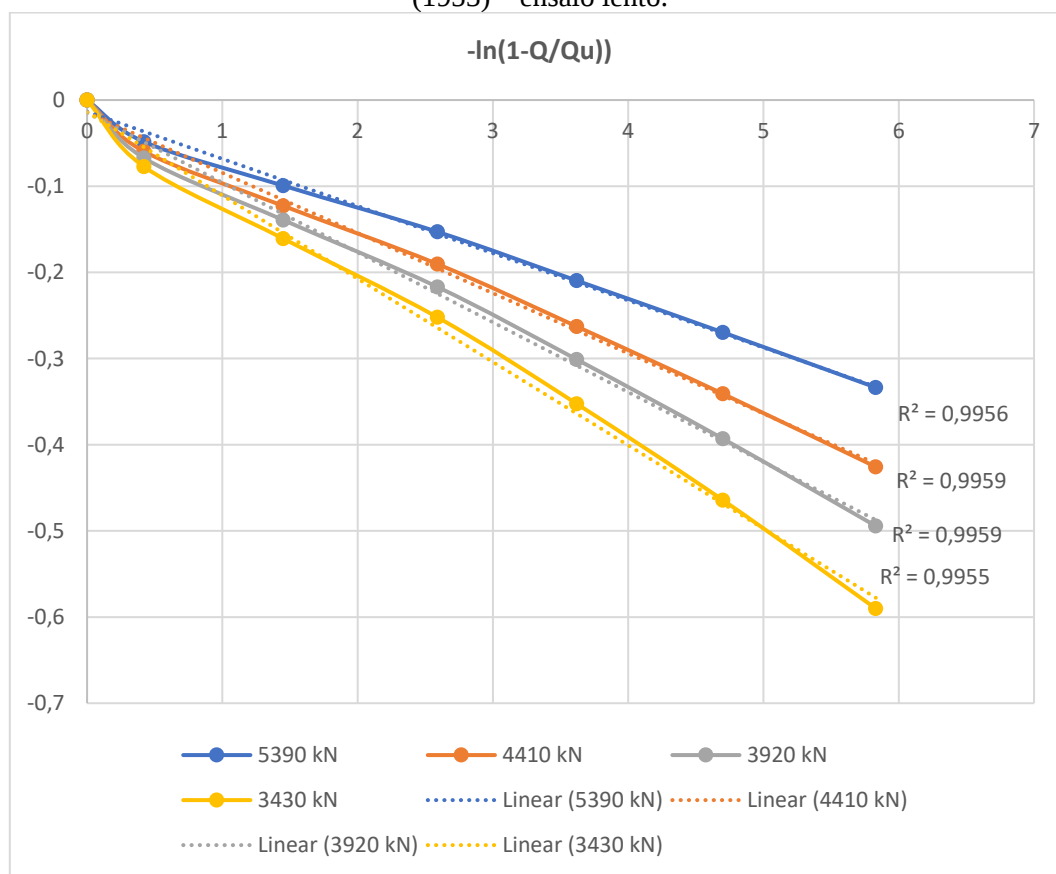


Figura 16 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E5043, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio rápido.

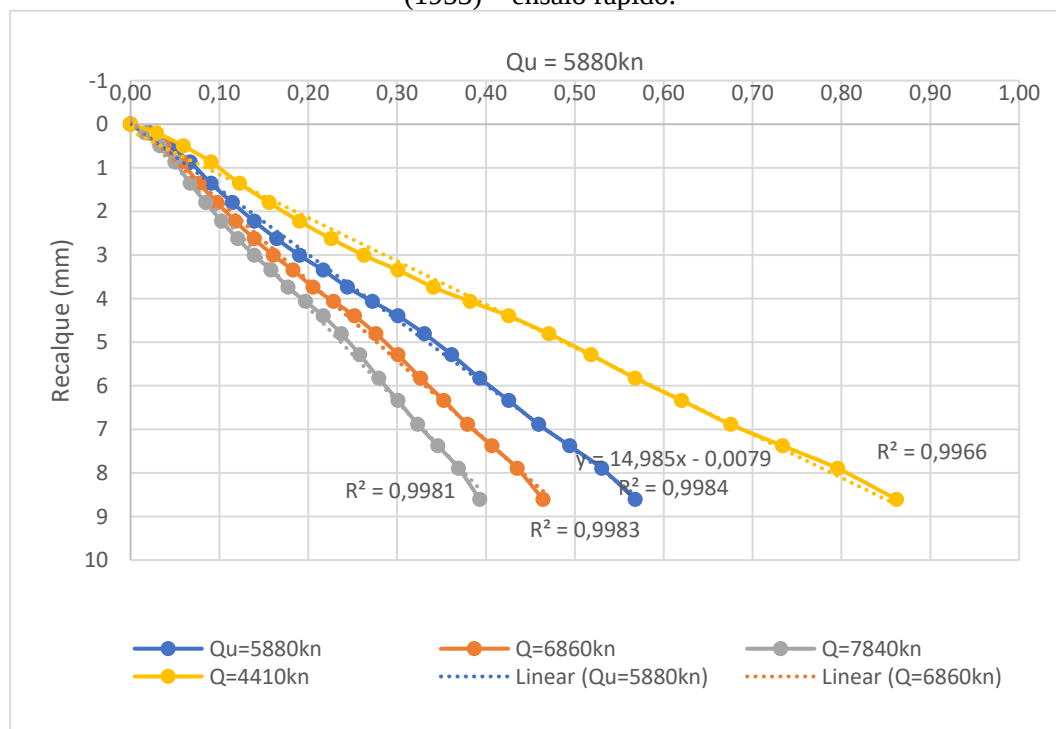


Figura 17 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio Lento.

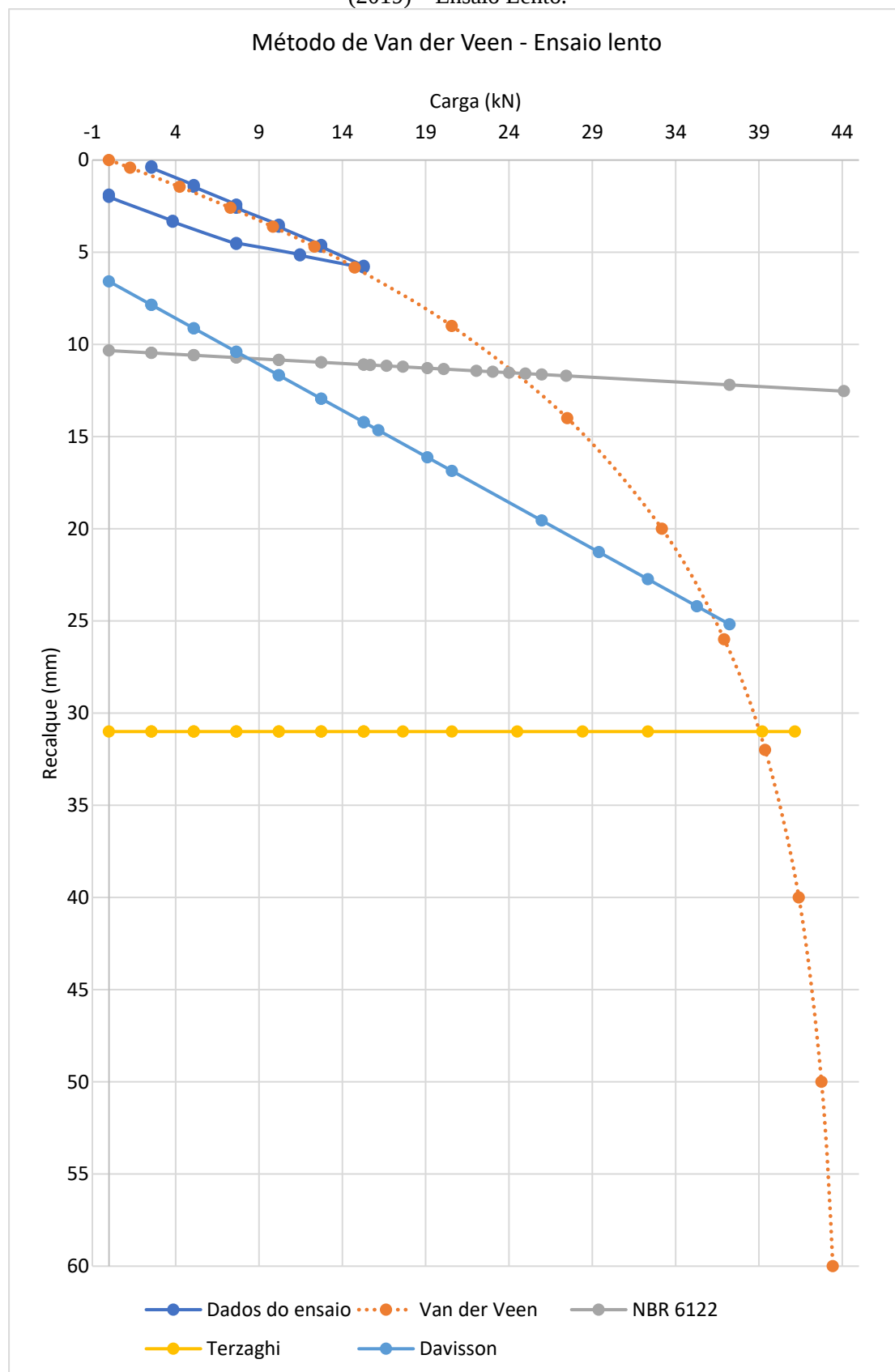


Figura 18 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio rápido.

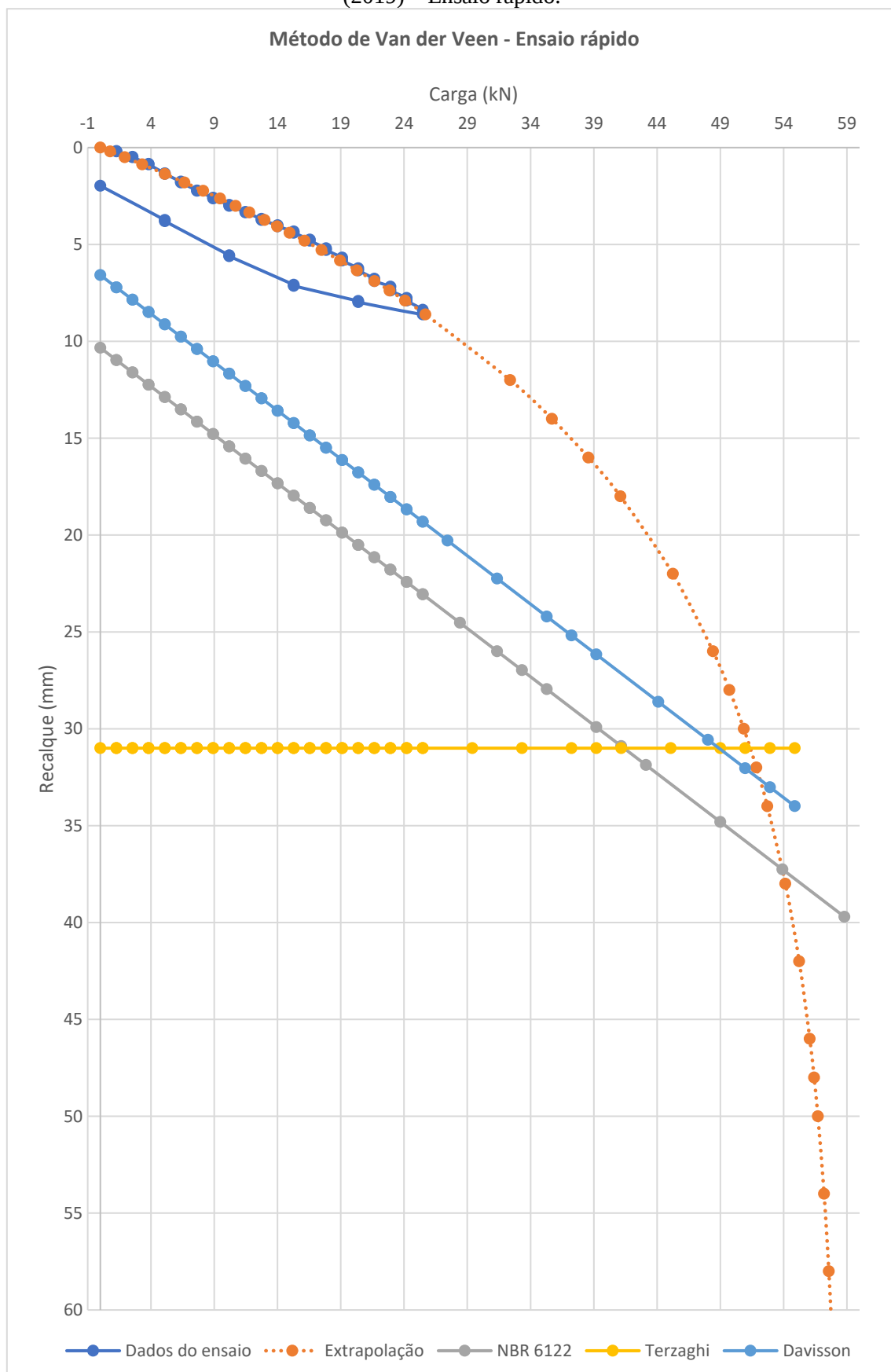


Figura 19 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação do método de Chin (1970;1971) – Ensaio Lento.

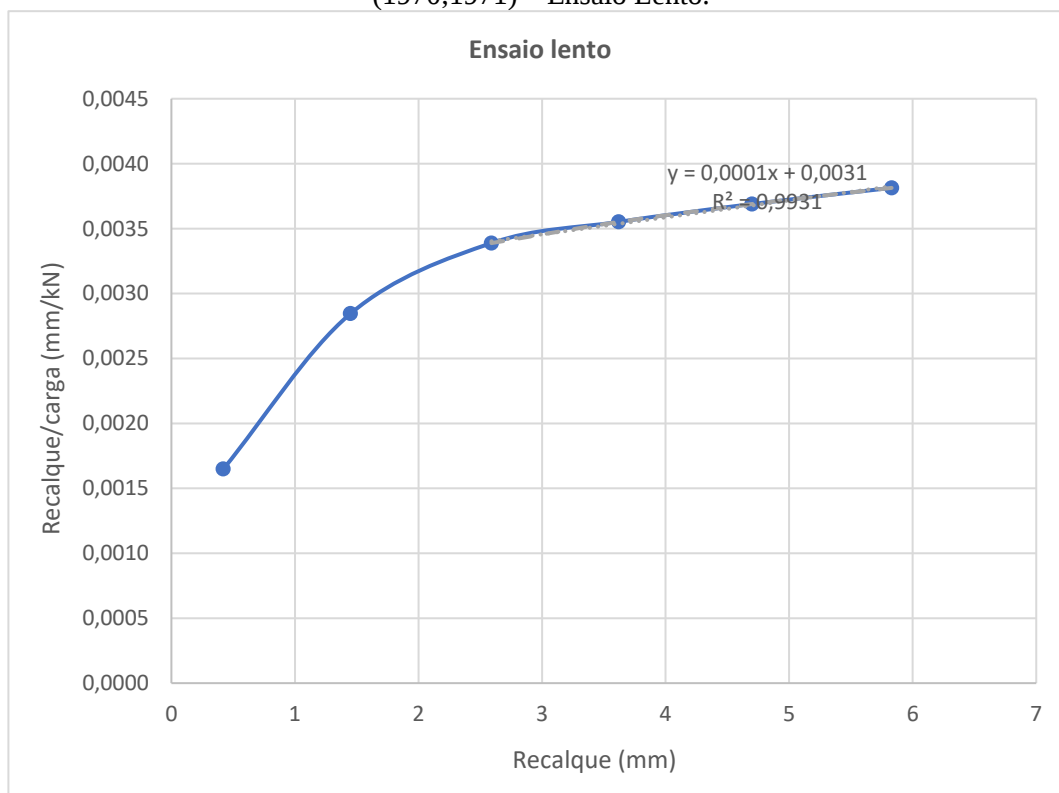


Figura 20 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação do método de Chin (1970;1971) – Ensaio Rápido.

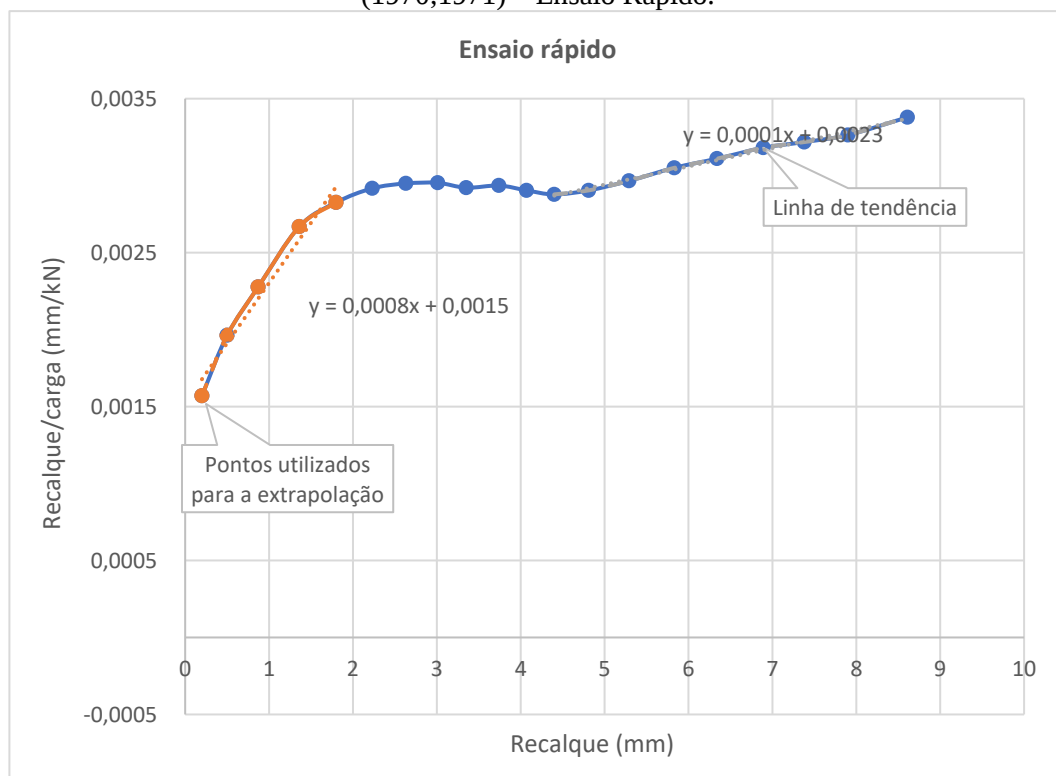


Figura 21 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação do método de Décourt (1996) – Ensaio Lento.

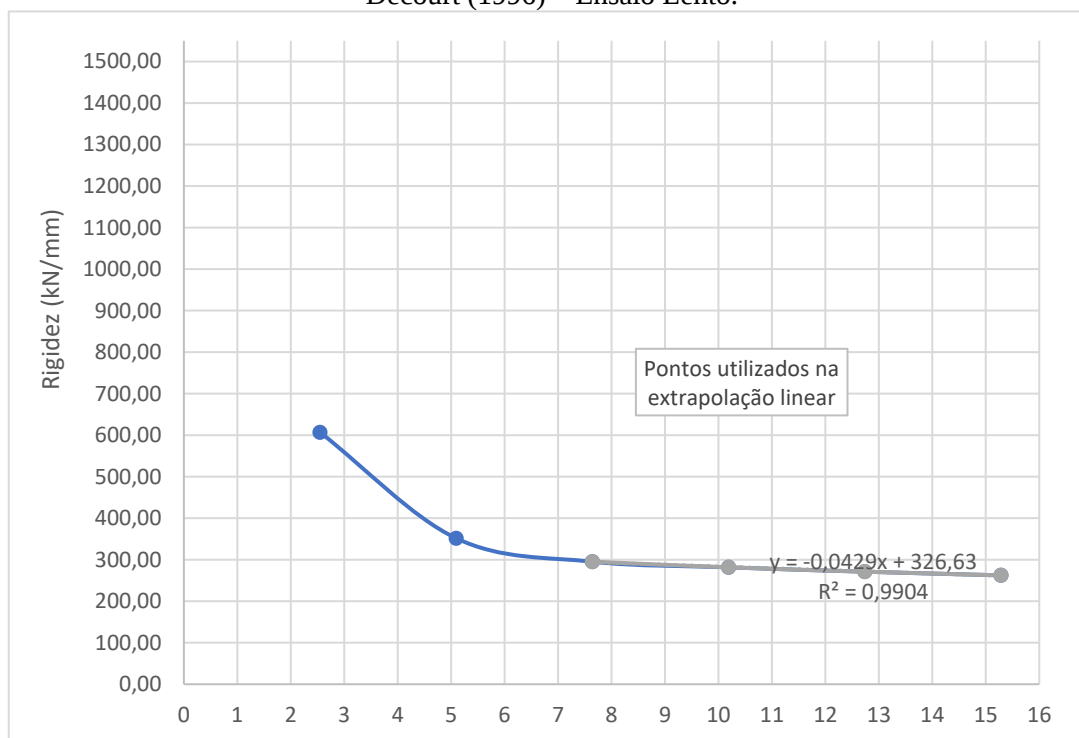


Figura 22 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5043, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio rápido.

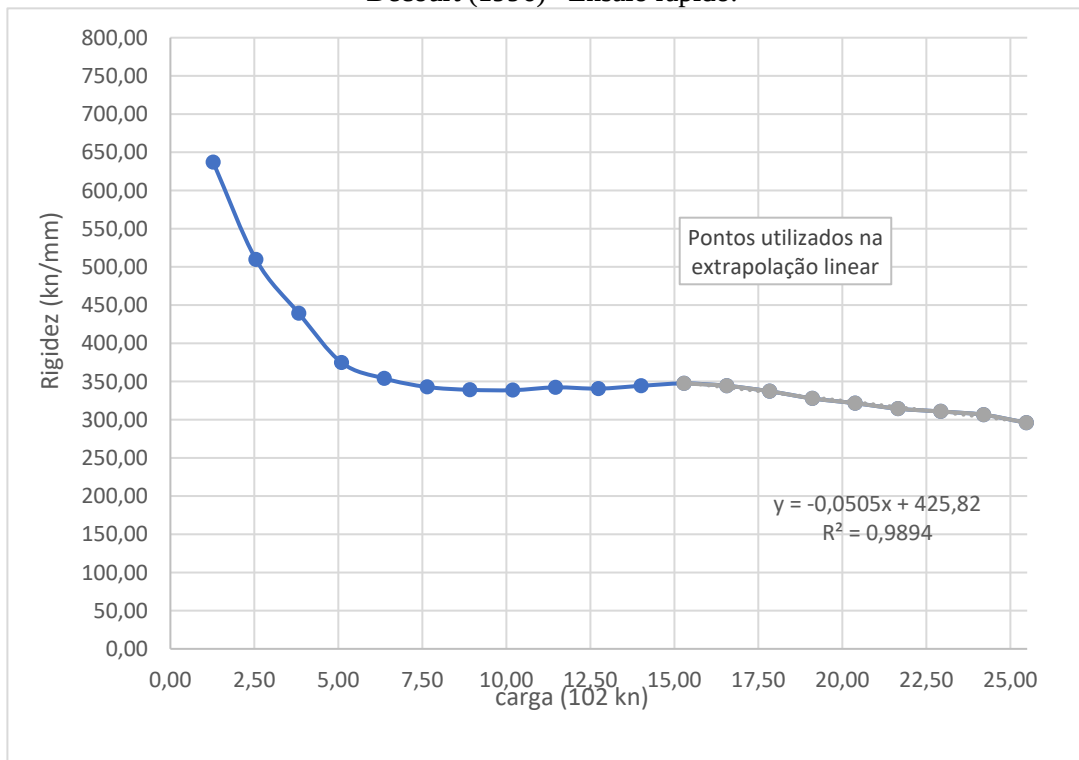


Figura 23 - Curva carga recalque da estaca E 5103 – Ensaio Lento.

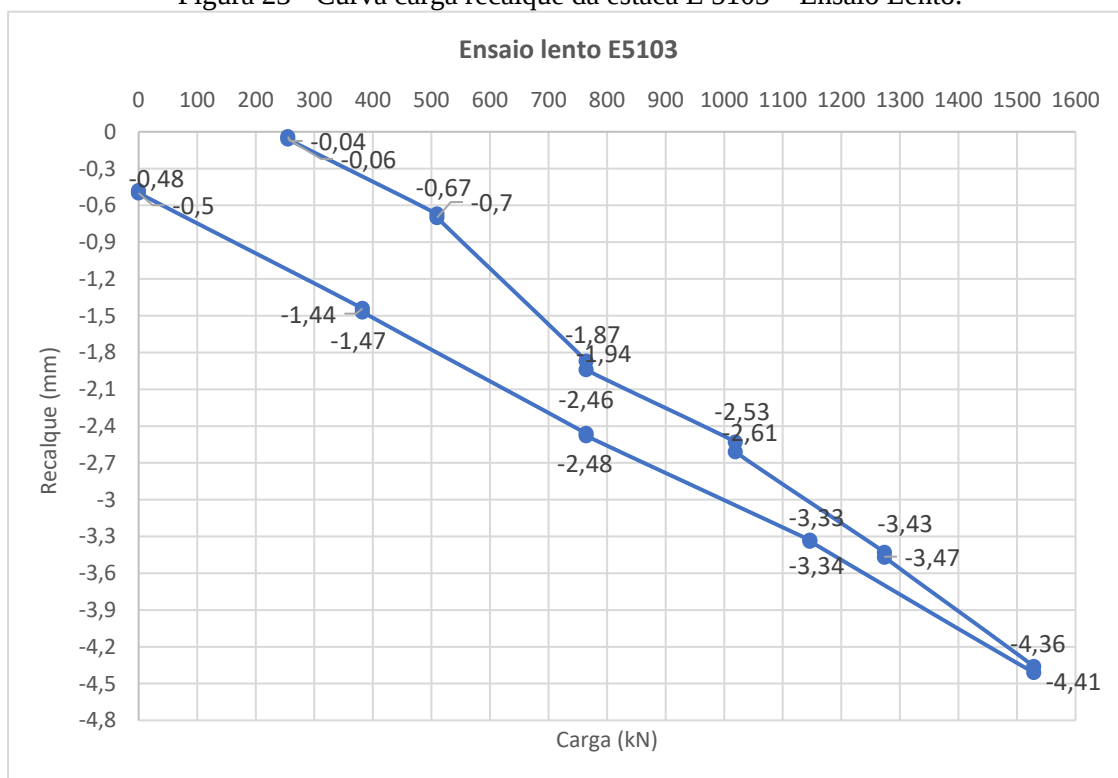


Figura 24 - Curva carga recalque da estaca E 5043 – Ensaio Rápido.

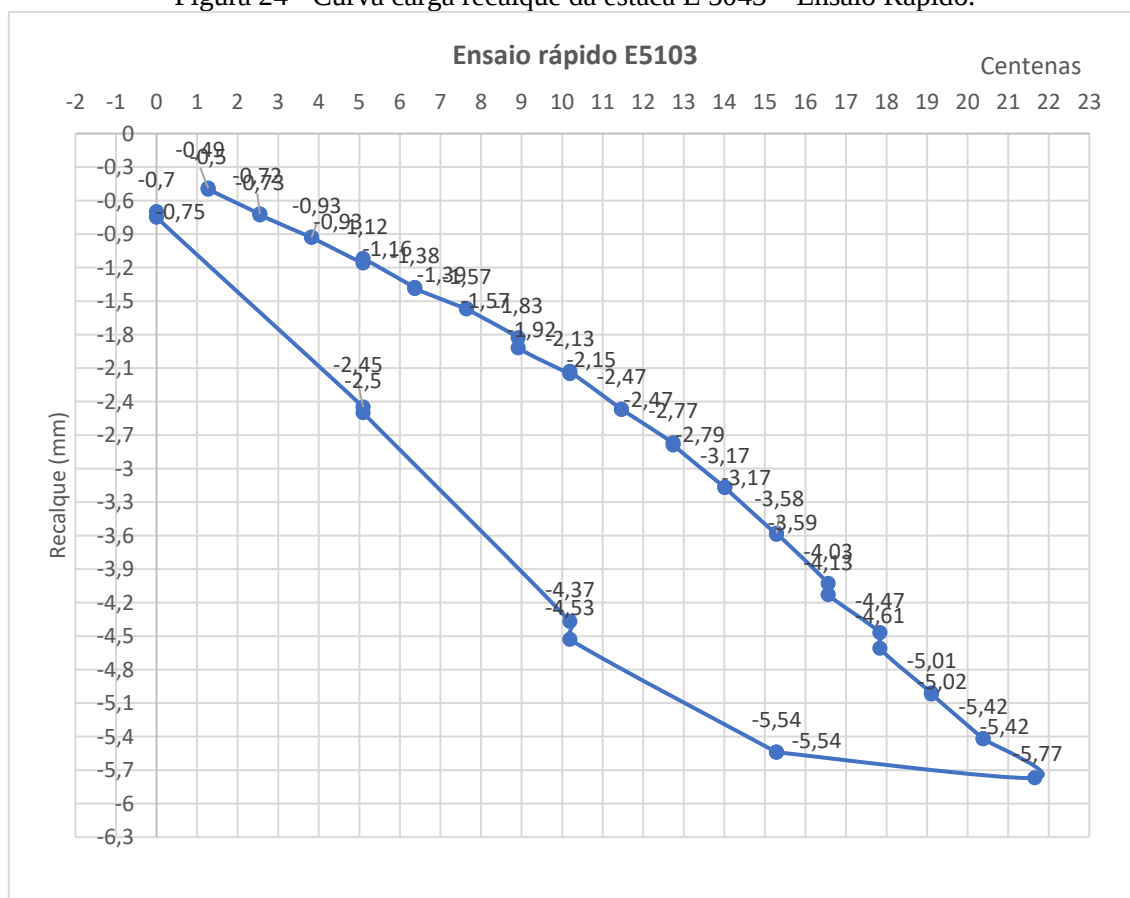


Figura 25 - Curva carga recalque da estaca E 5103 – Ensaio Lento + Rápido.

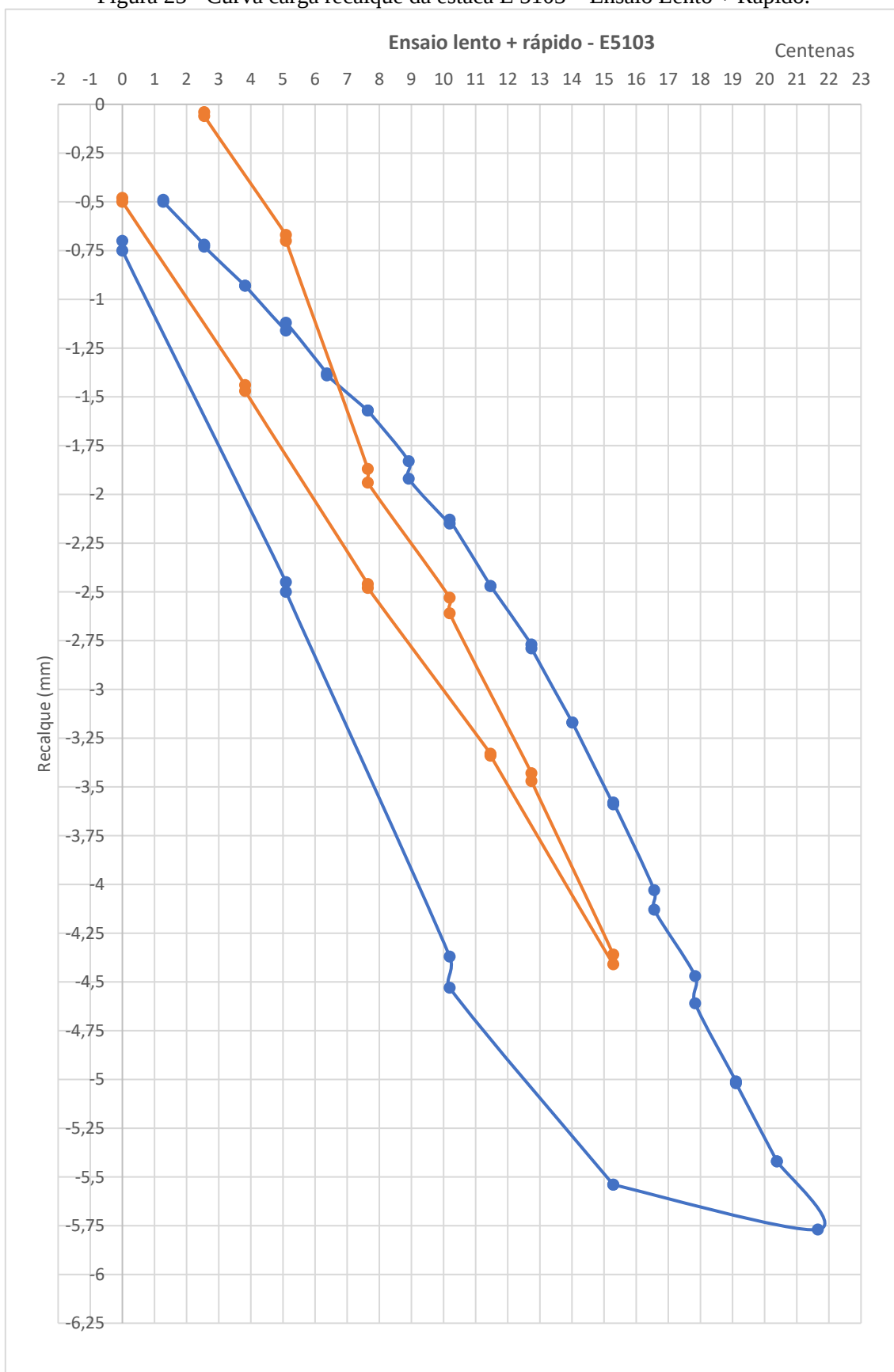


Figura 26 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E5103, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio lento.

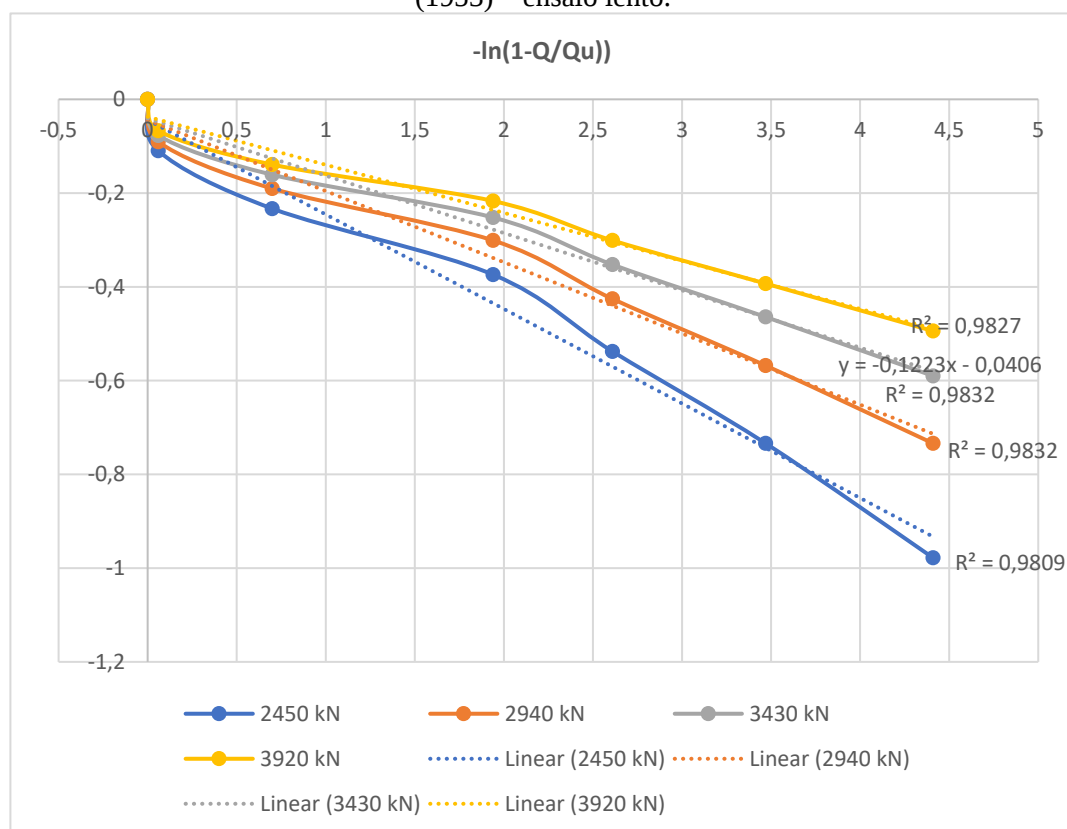


Figura 27 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E5103, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio rápido.

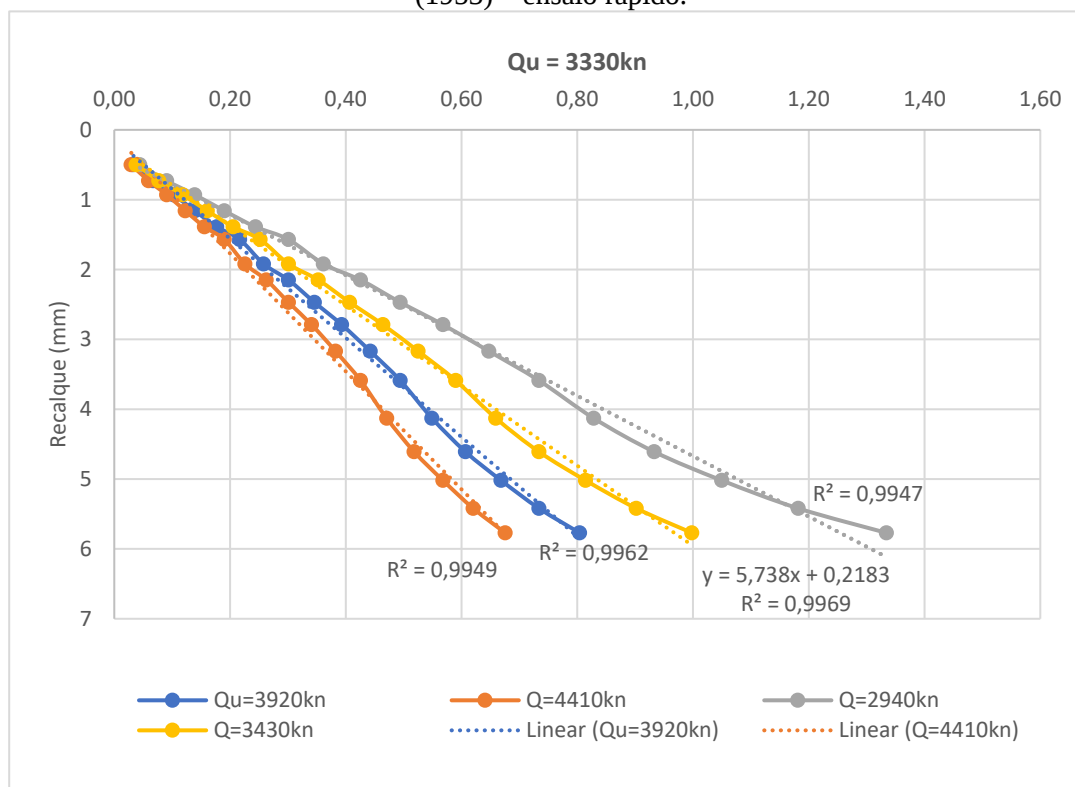


Figura 28 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio Lento.

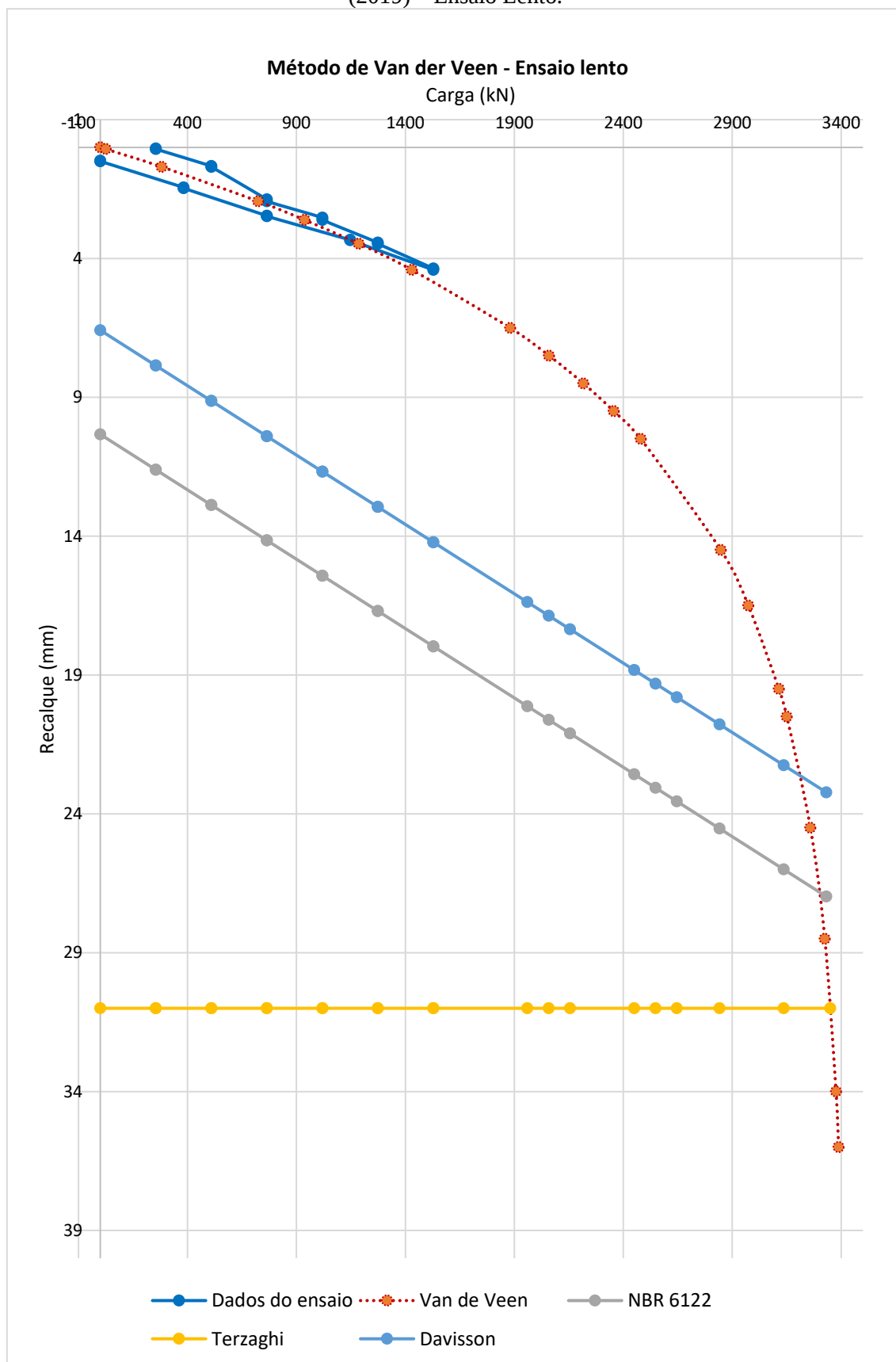


Figura 29 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio rápido.

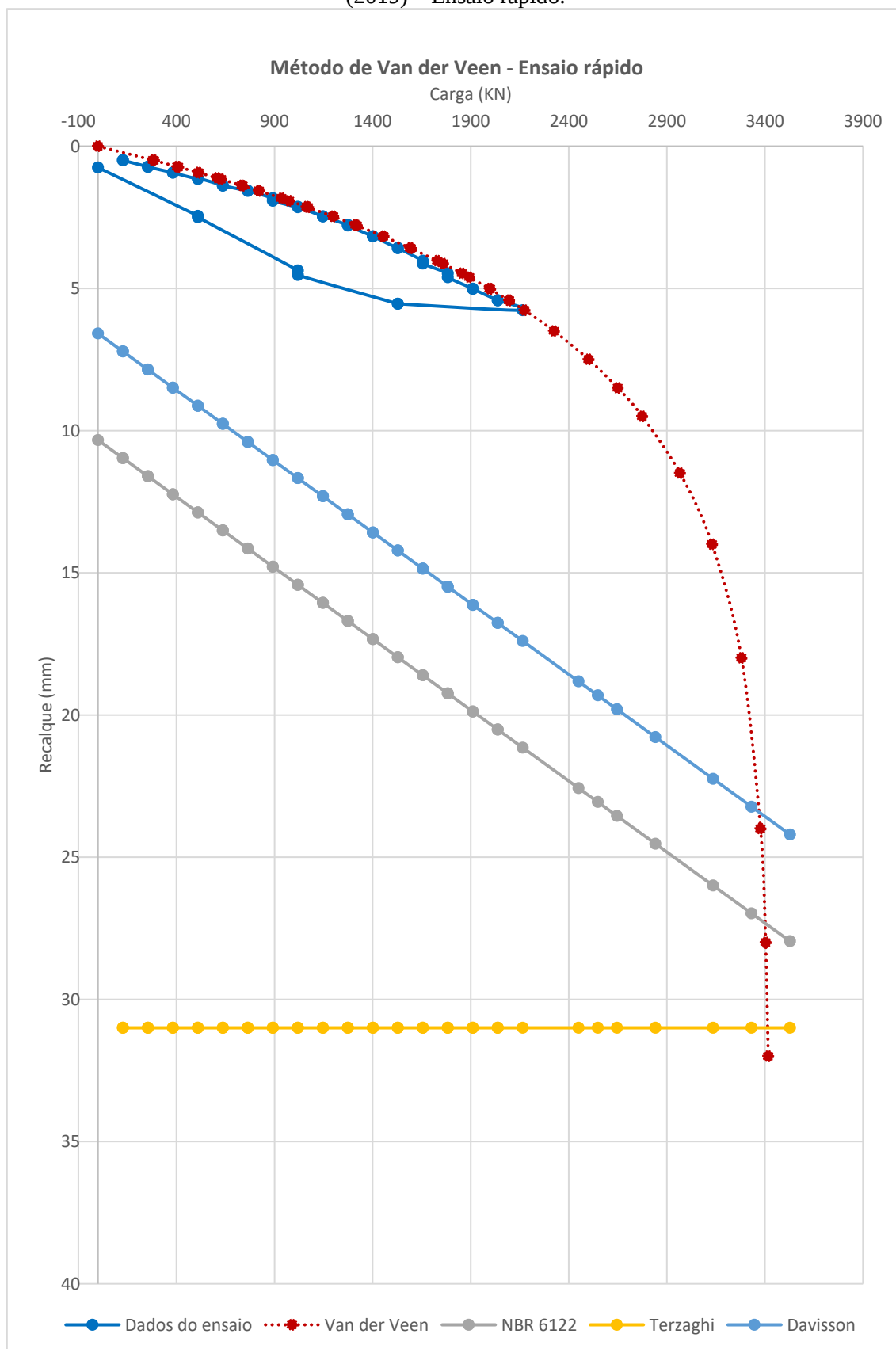


Figura 30 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Lento.

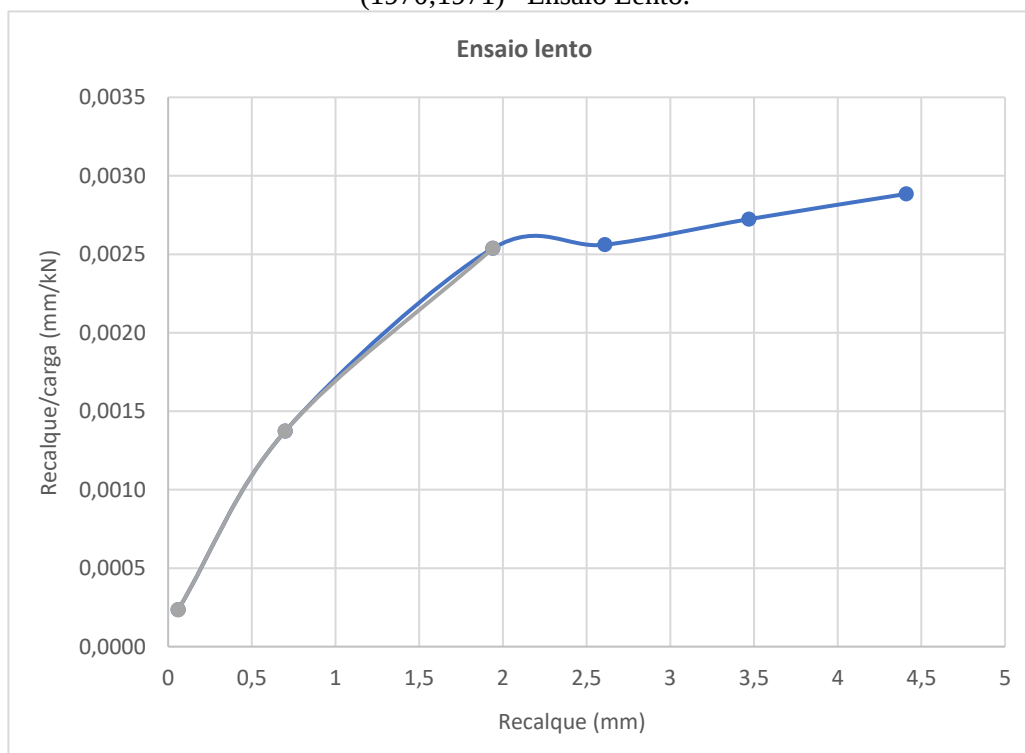


Figura 31 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Rápido.

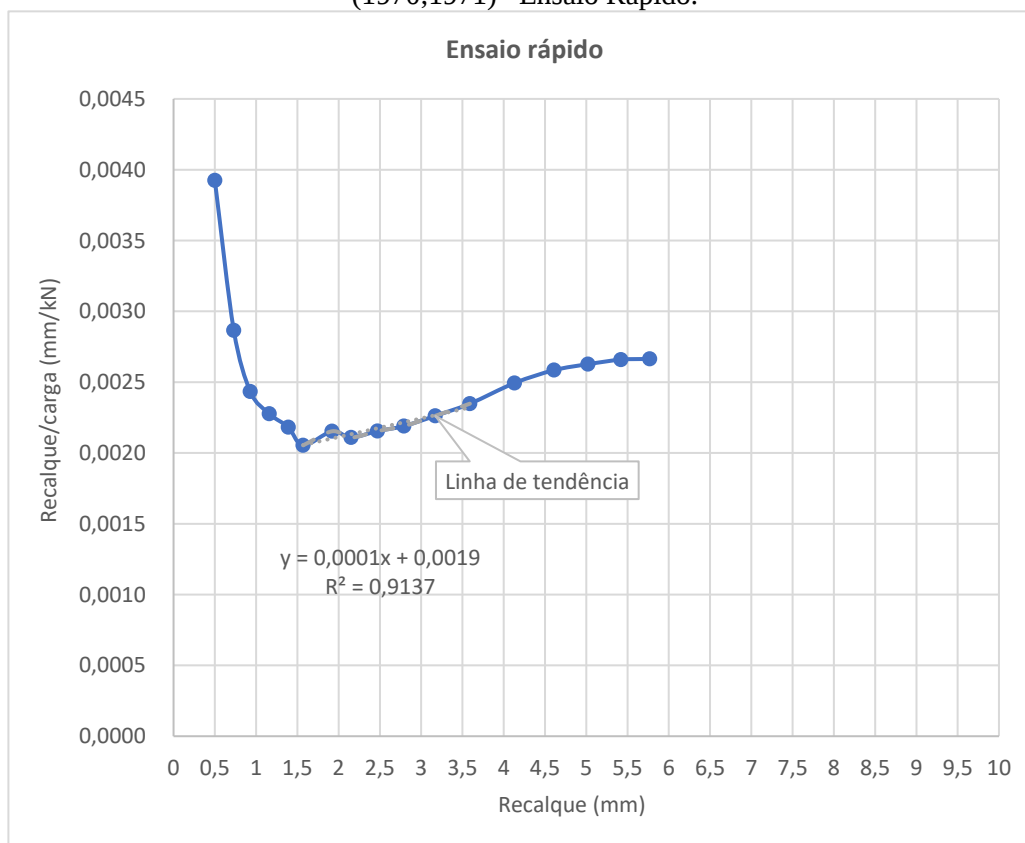


Figura 32 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio Lento.

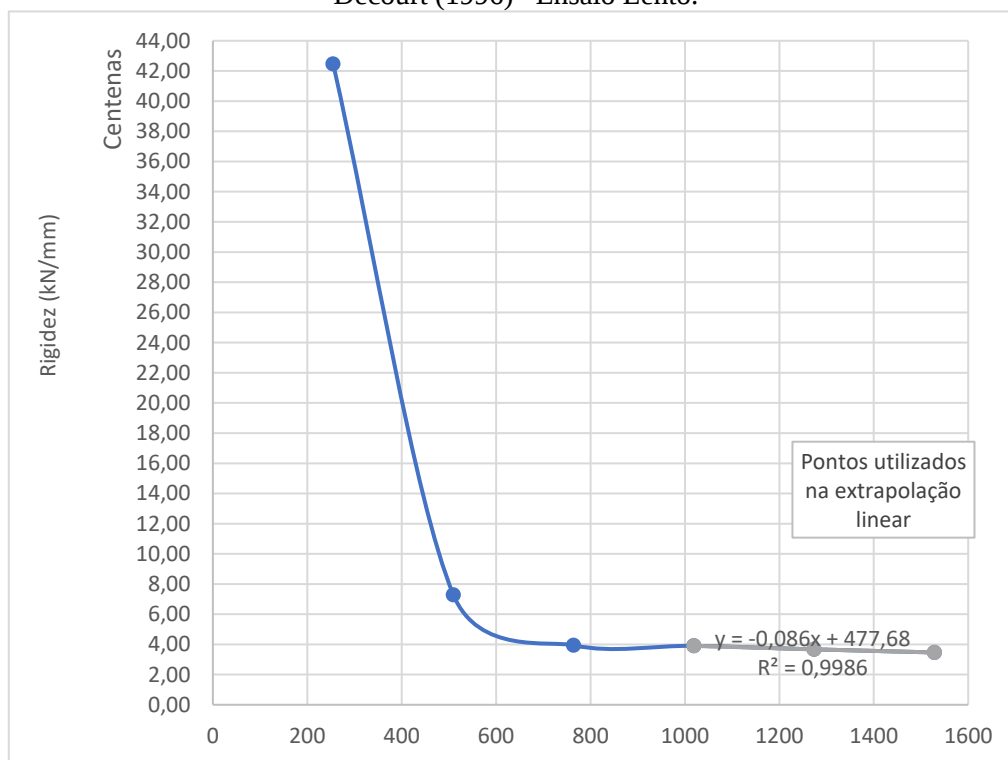


Figura 33 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E5103, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio rápido.

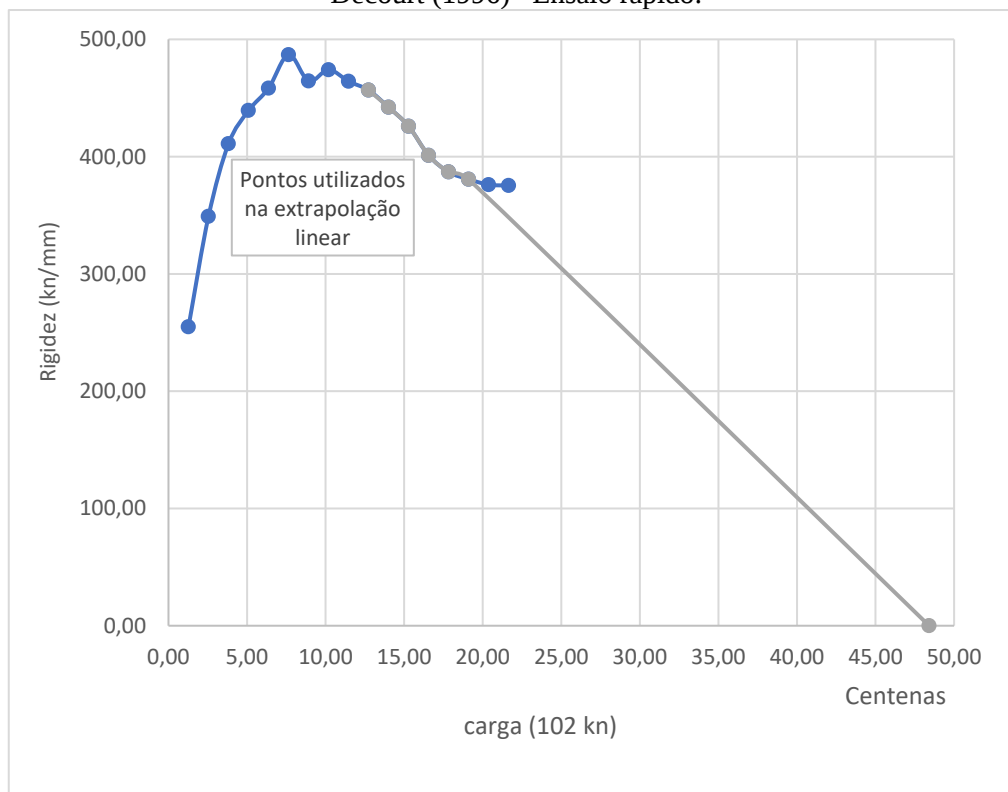


Figura 34 - Curva carga recalque da estaca E 184 – Ensaio Lento.

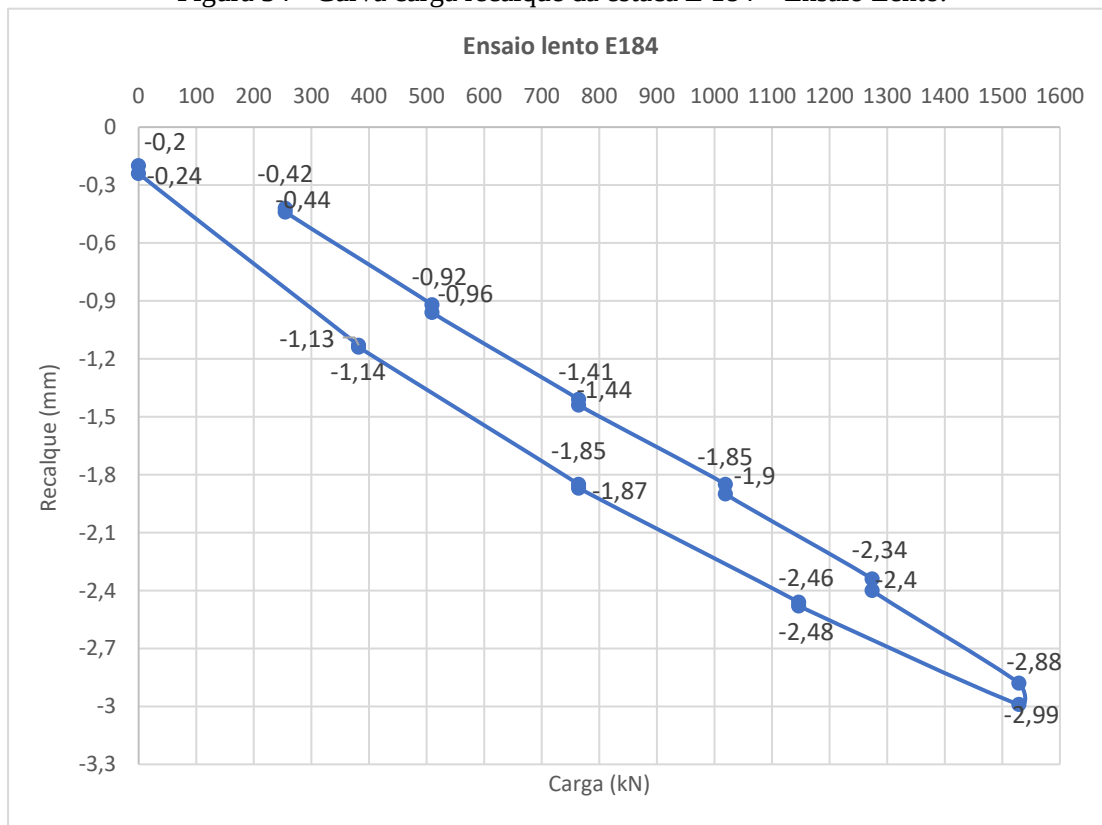


Figura 35 - Curva carga recalque da estaca E 184 – Ensaio Rápido.

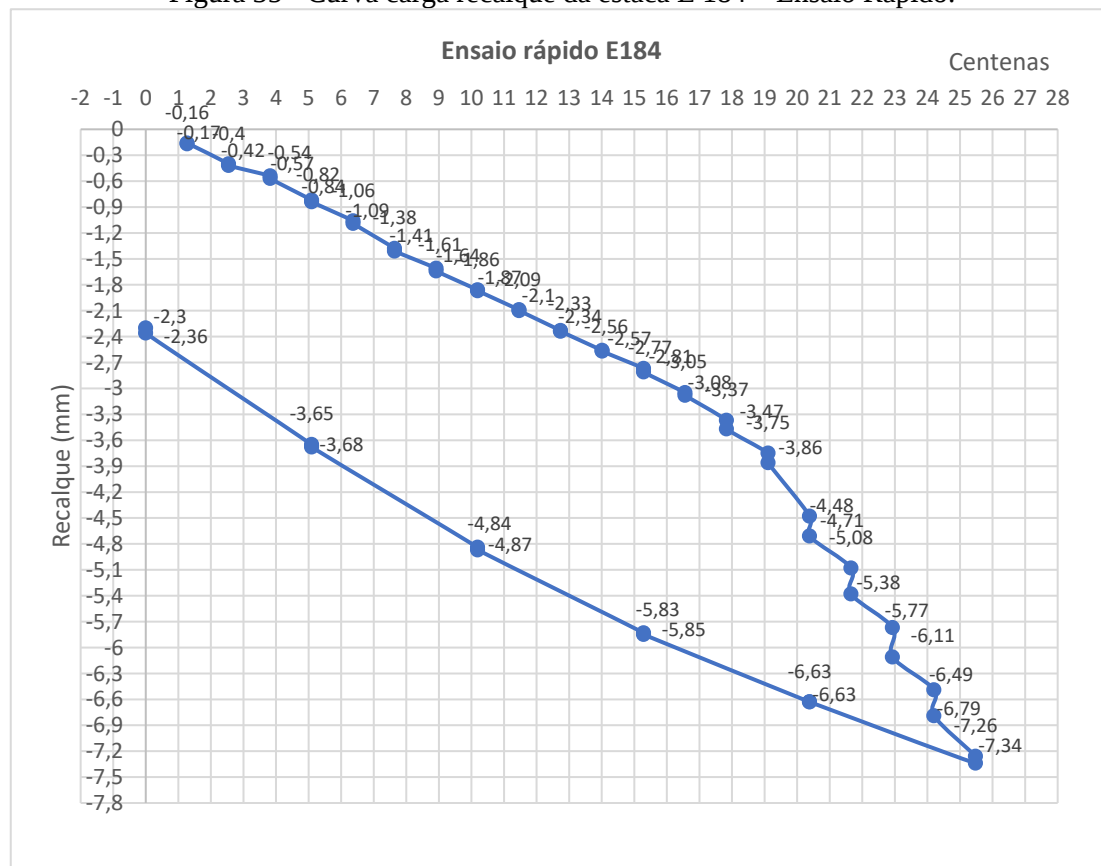


Figura 36 - Curva carga recalque da estaca E 184 – Ensaio Lento + Rápido.

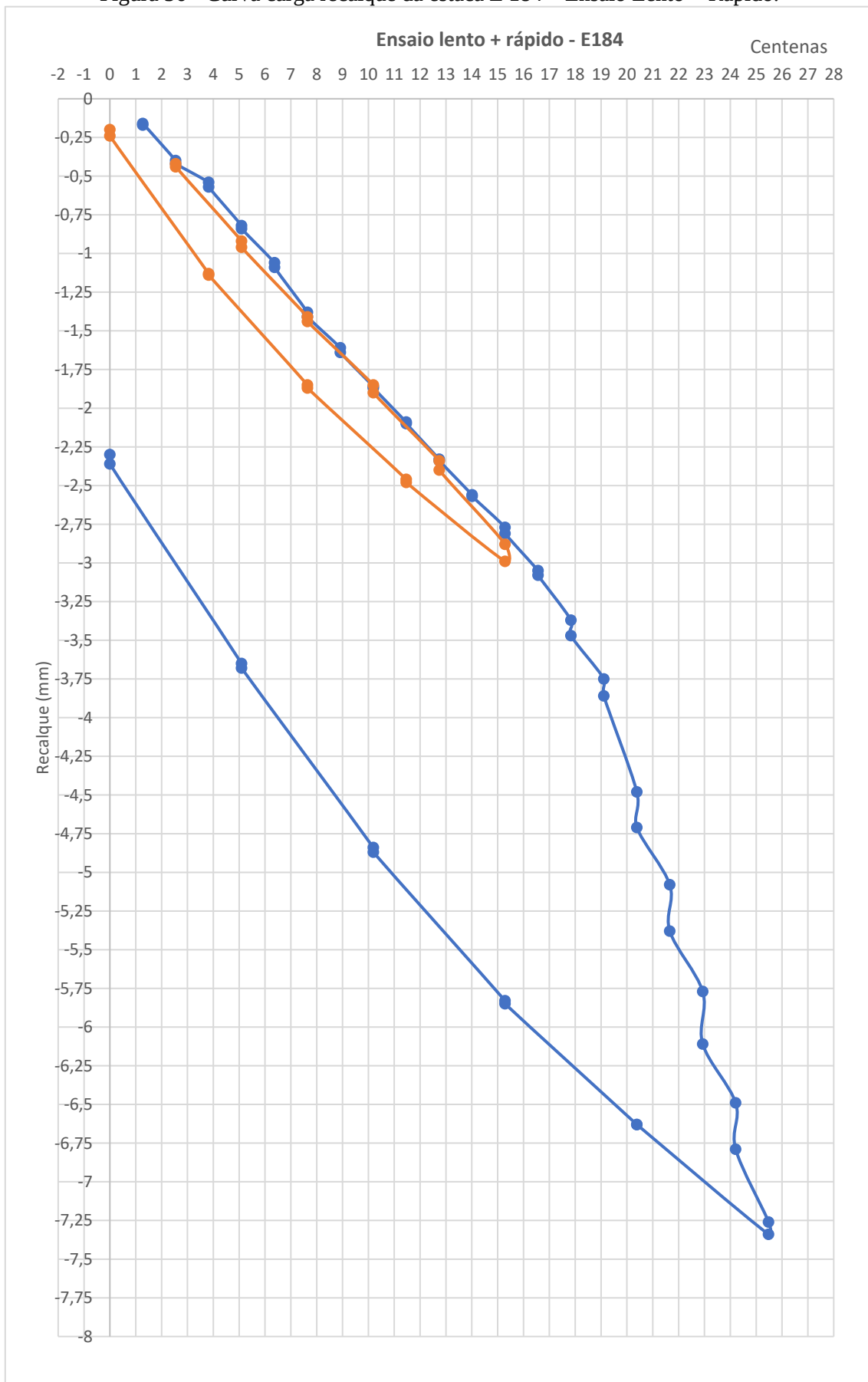


Figura 37 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E 184, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio lento.

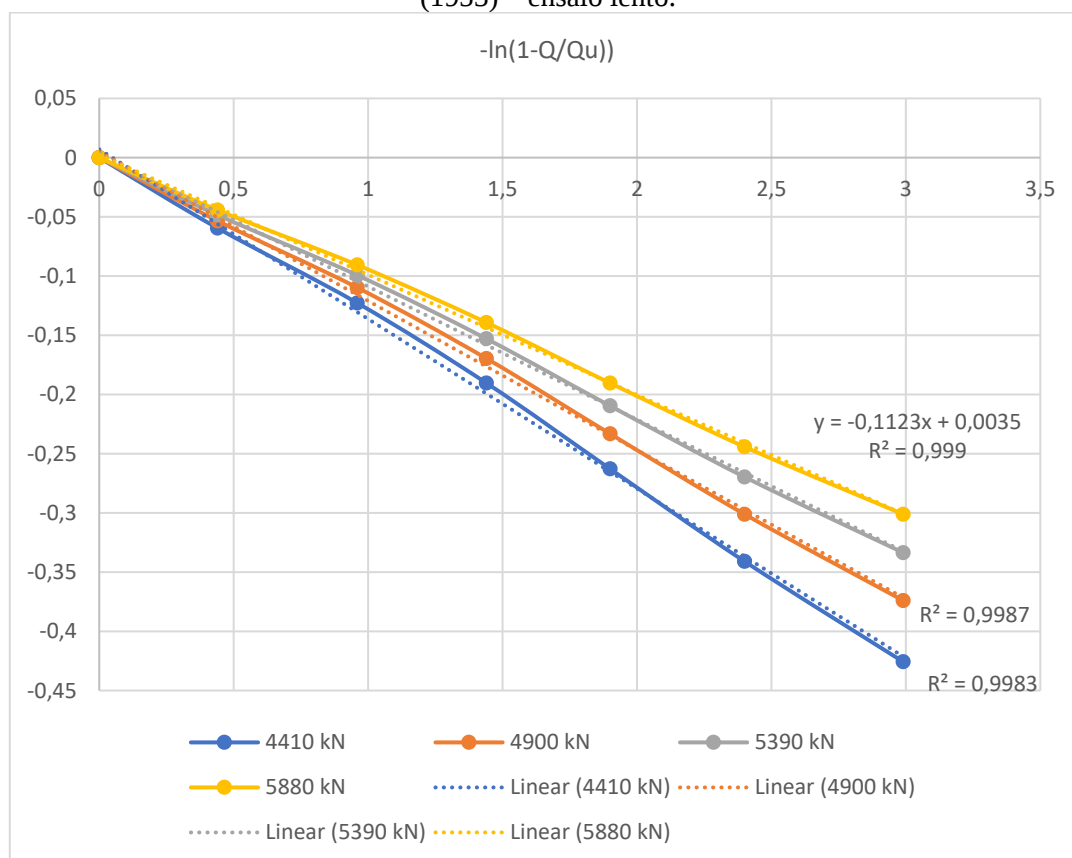


Figura 38 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E 184, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio rápido.

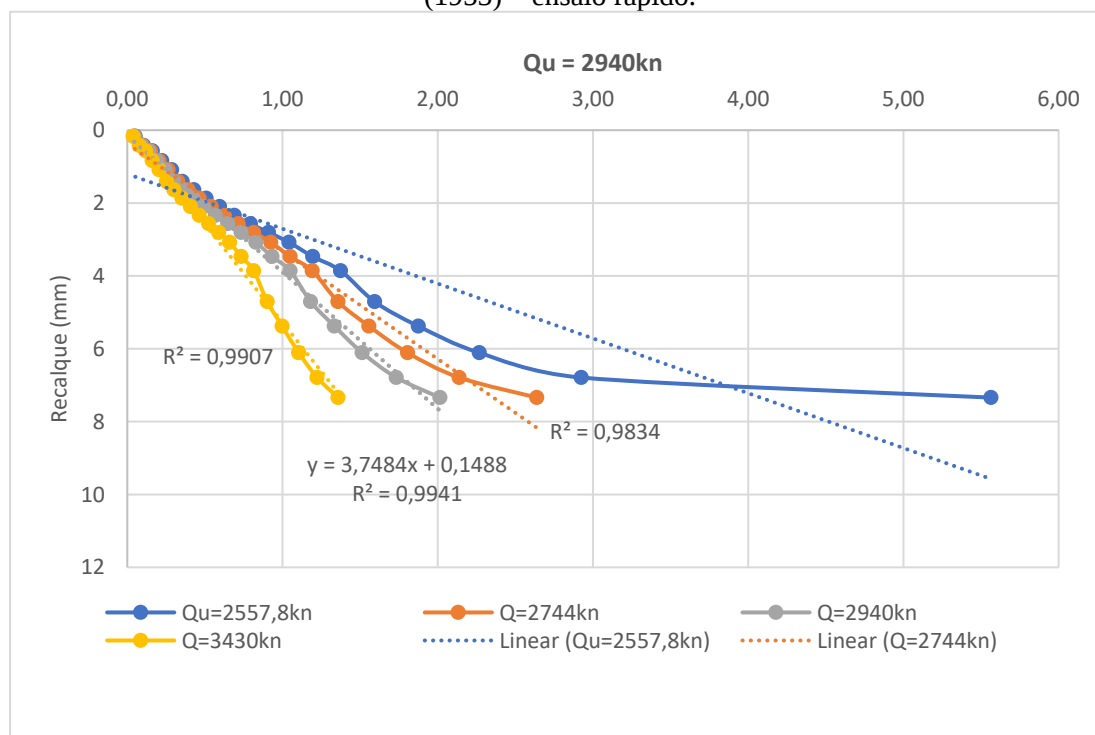


Figura 39 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E 184, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio Lento.

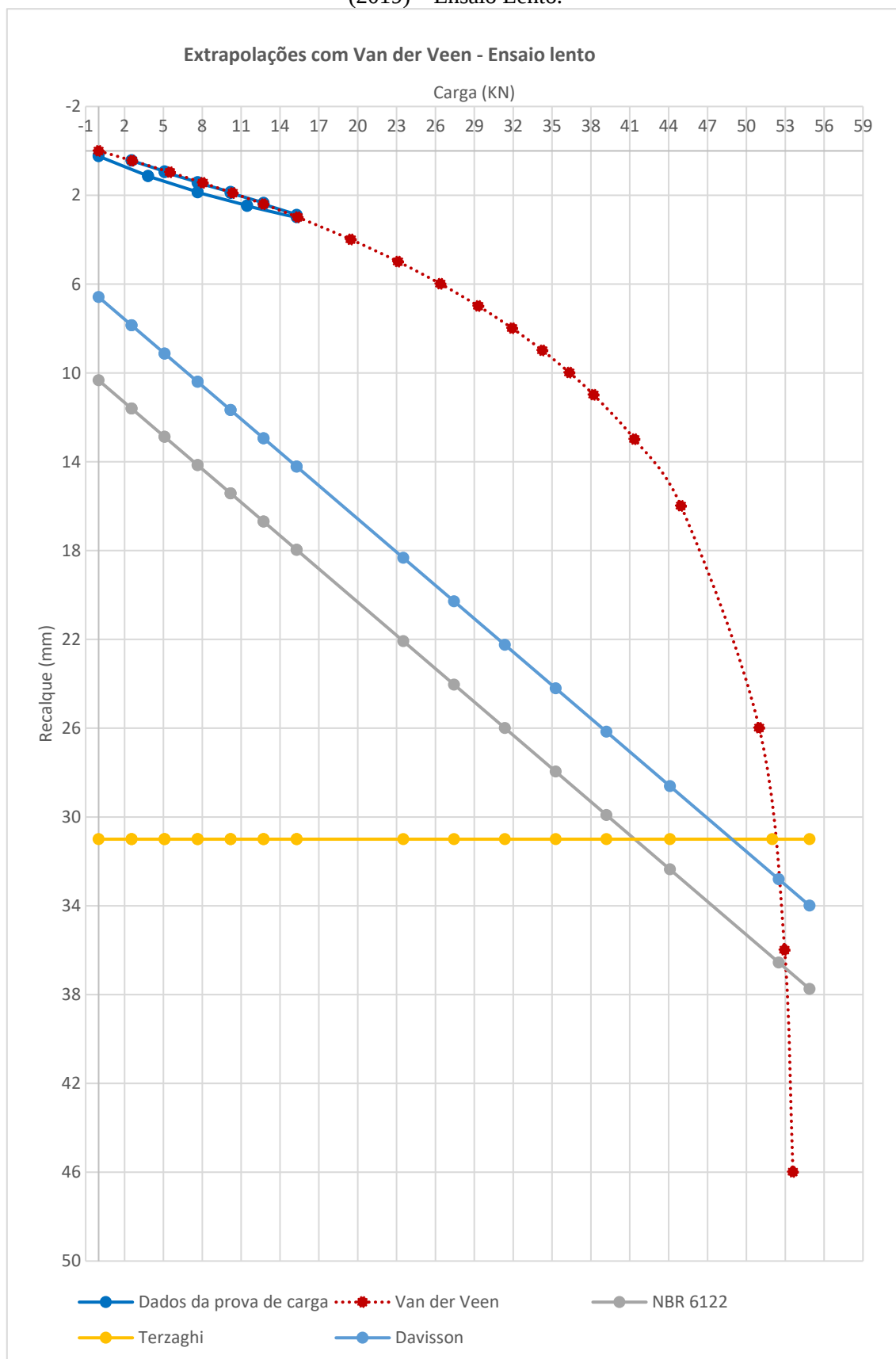


Figura 40 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E184, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio rápido.

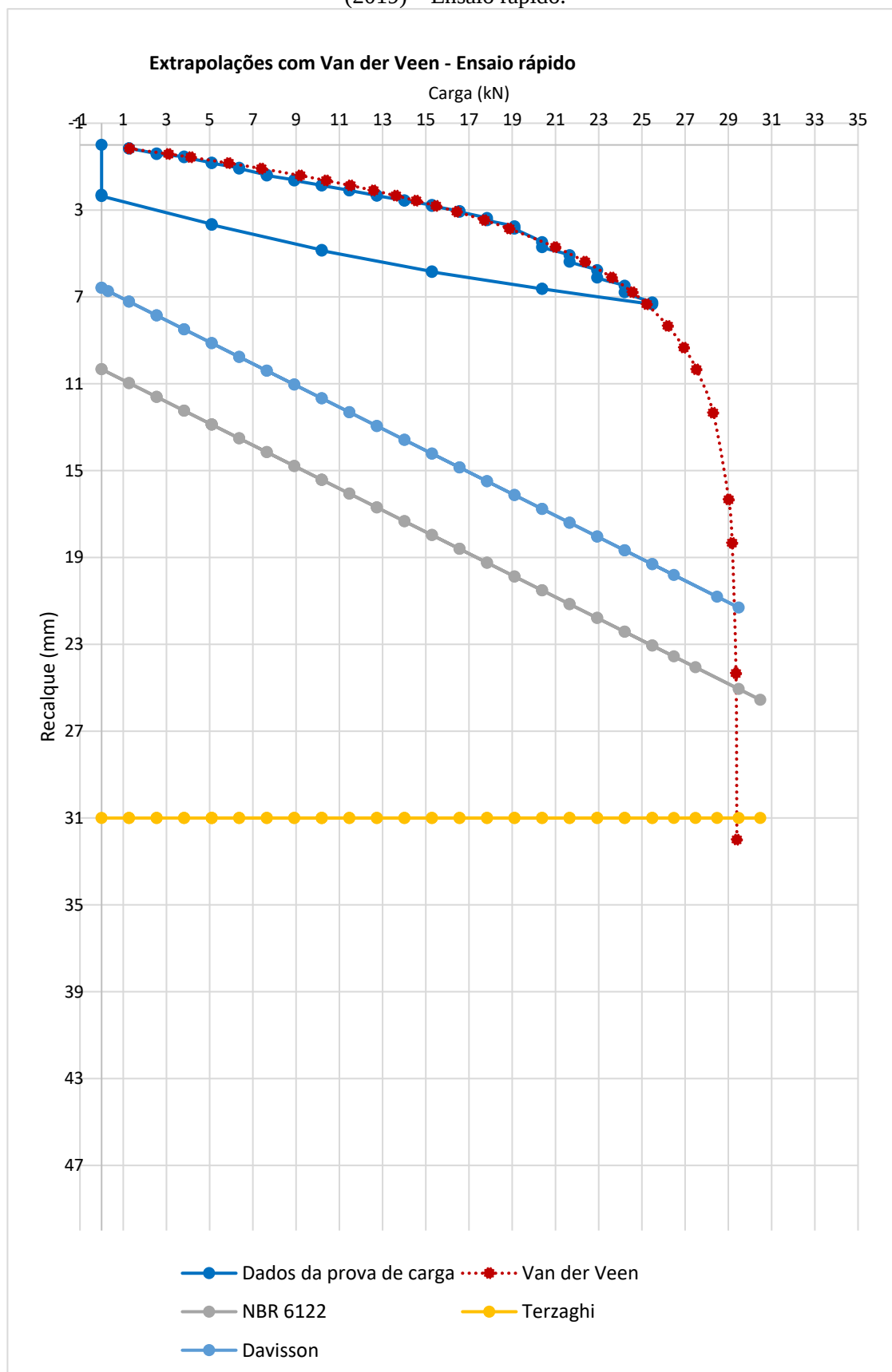


Figura 41 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E184, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Lento.

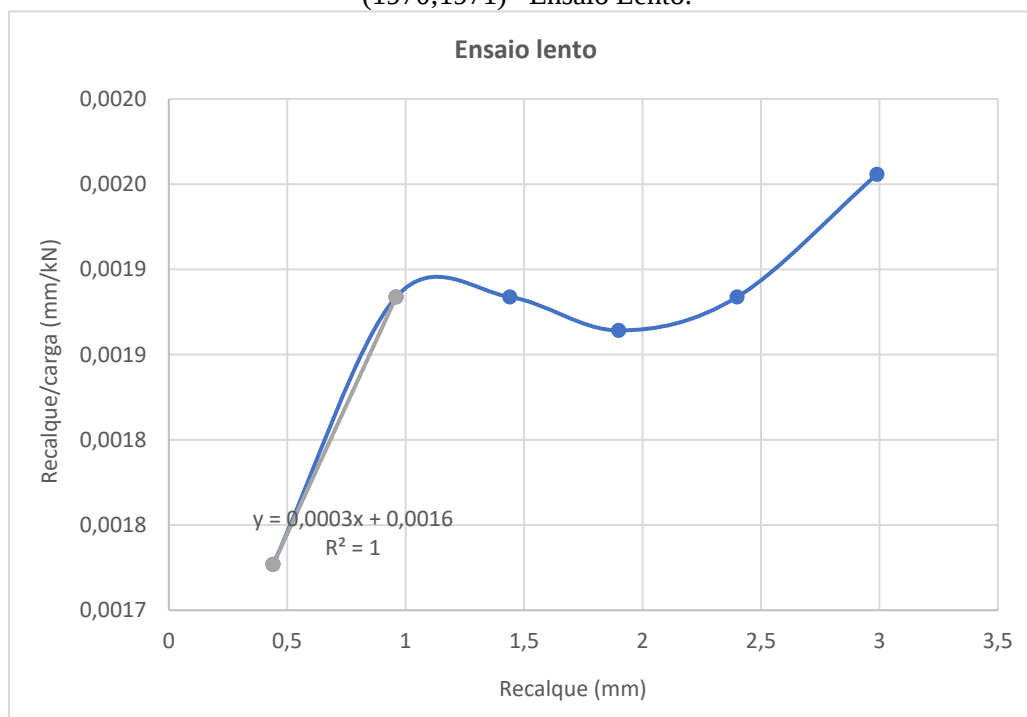


Figura 42 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E184, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Rápido.

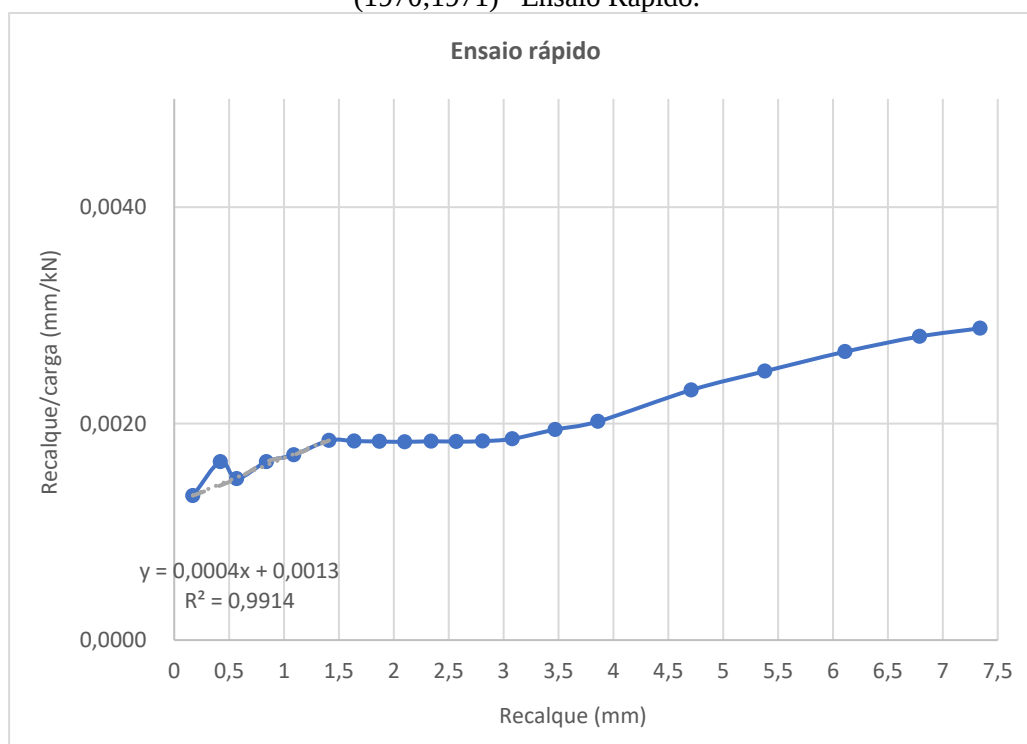


Figura 43 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E184, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio Lento.

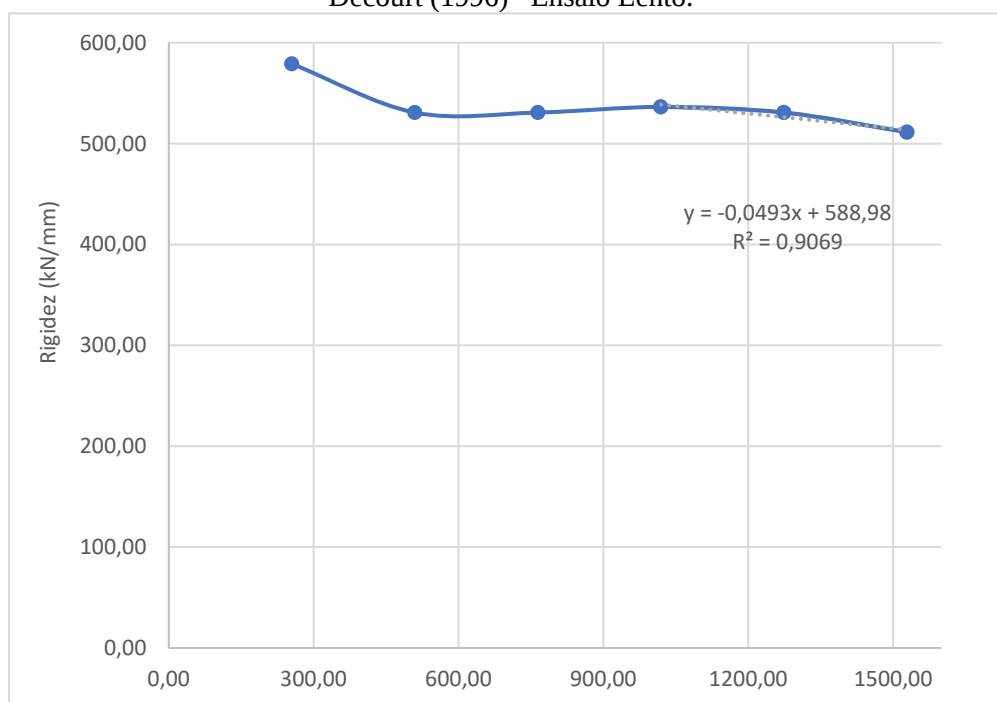


Figura 44 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E184, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio rápido.

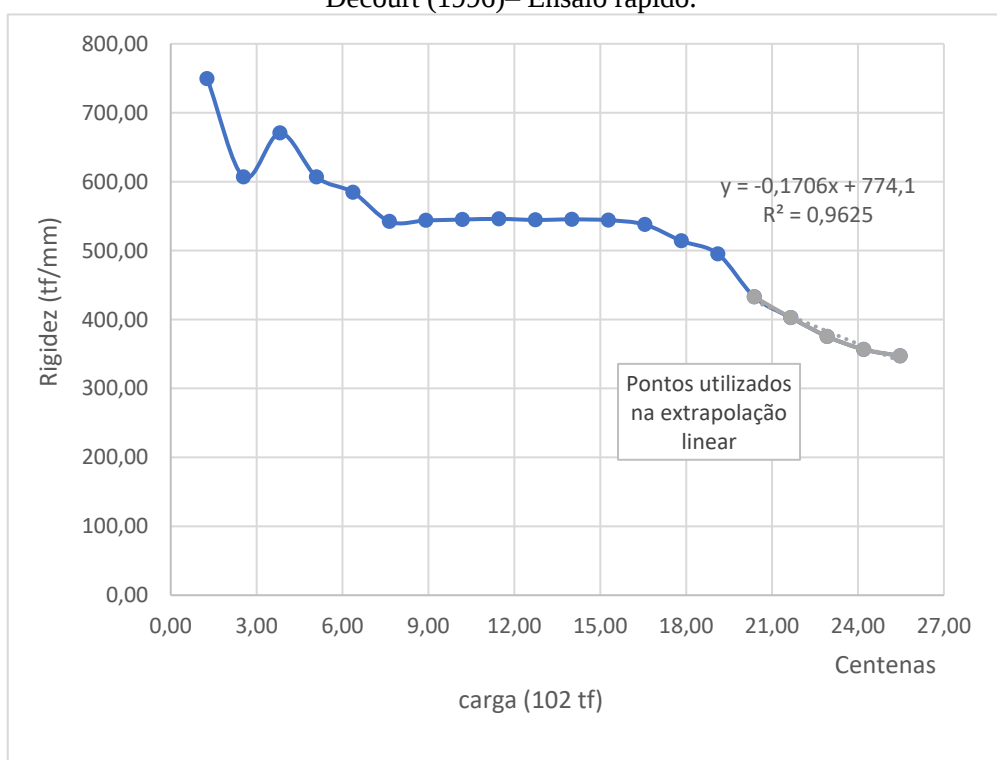


Figura 45 - Curva carga recalque da estaca E 122 – Ensaio Lento .

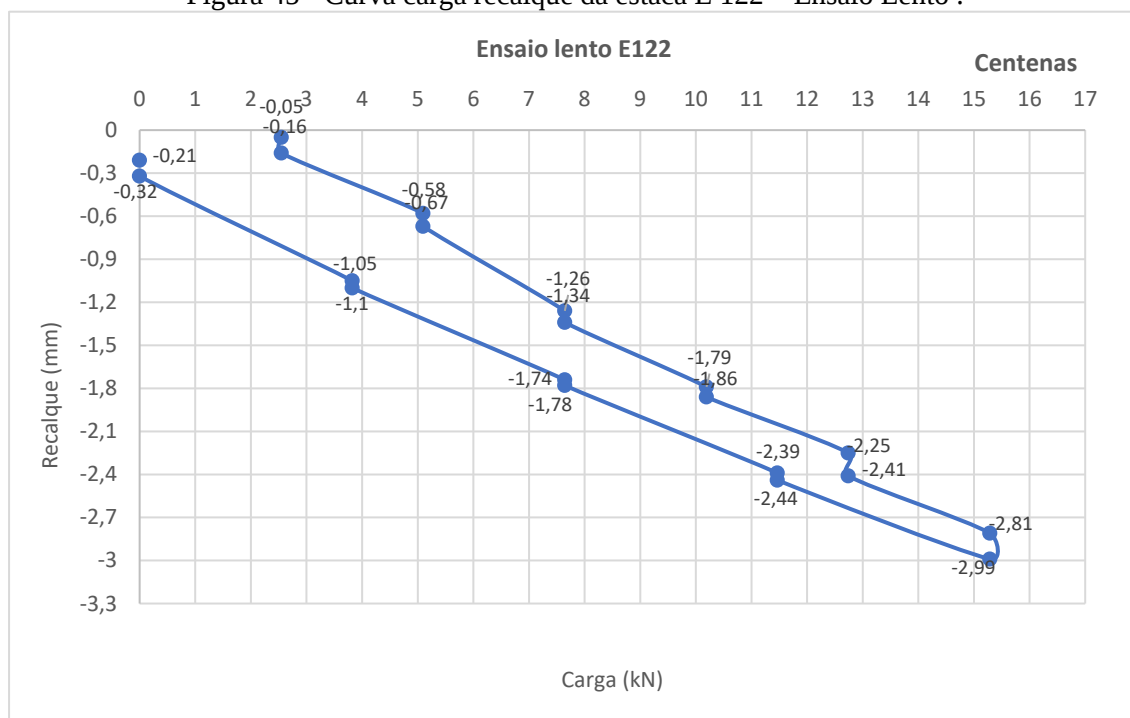


Figura 46 - Curva carga recalque da estaca E 122 – Ensaio Rápido.

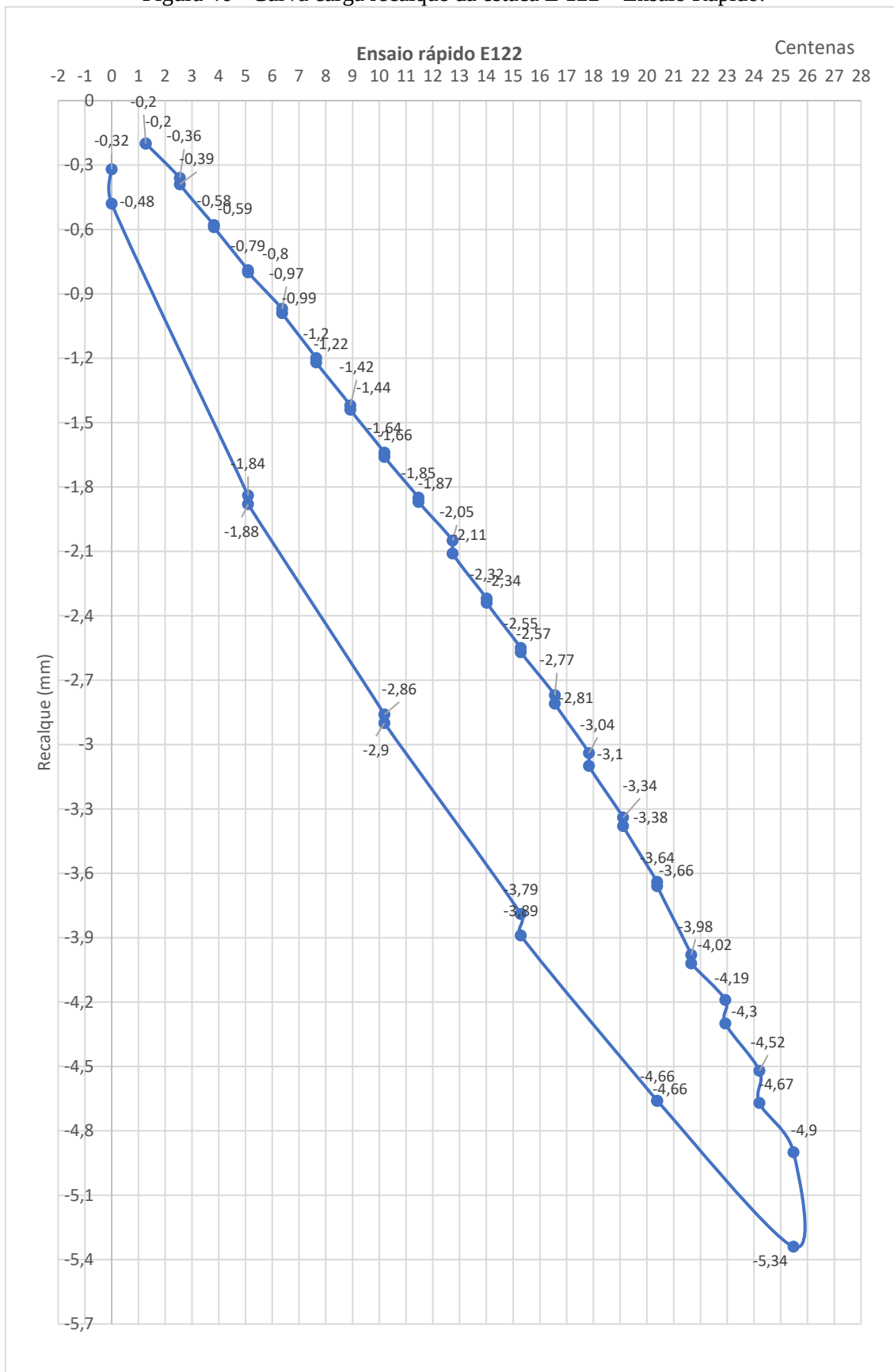


Figura 47 - Curva carga recalque da estaca E 122 – Ensaio Lento + Rápido.

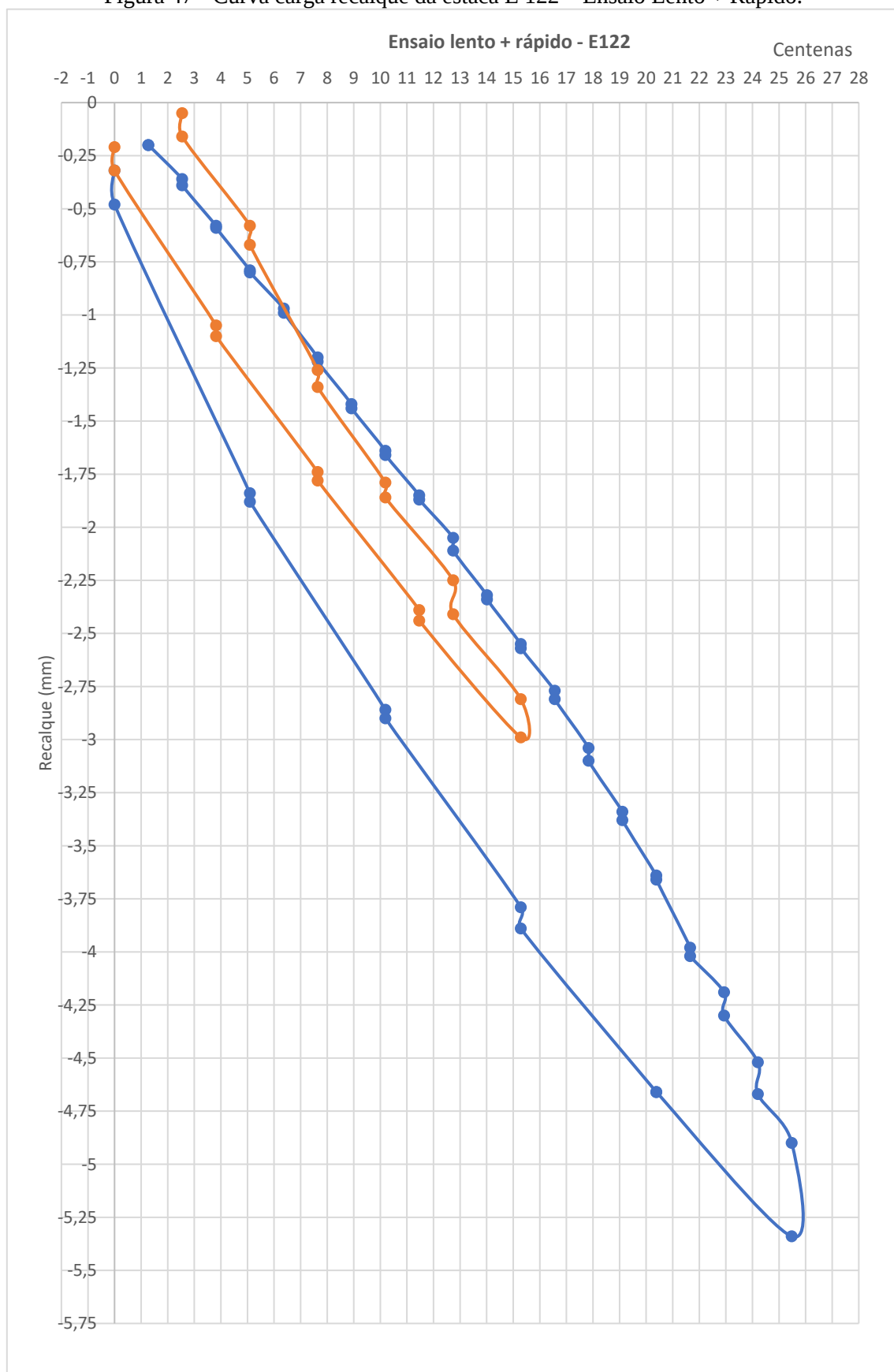


Figura 48 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E 122, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio lento.

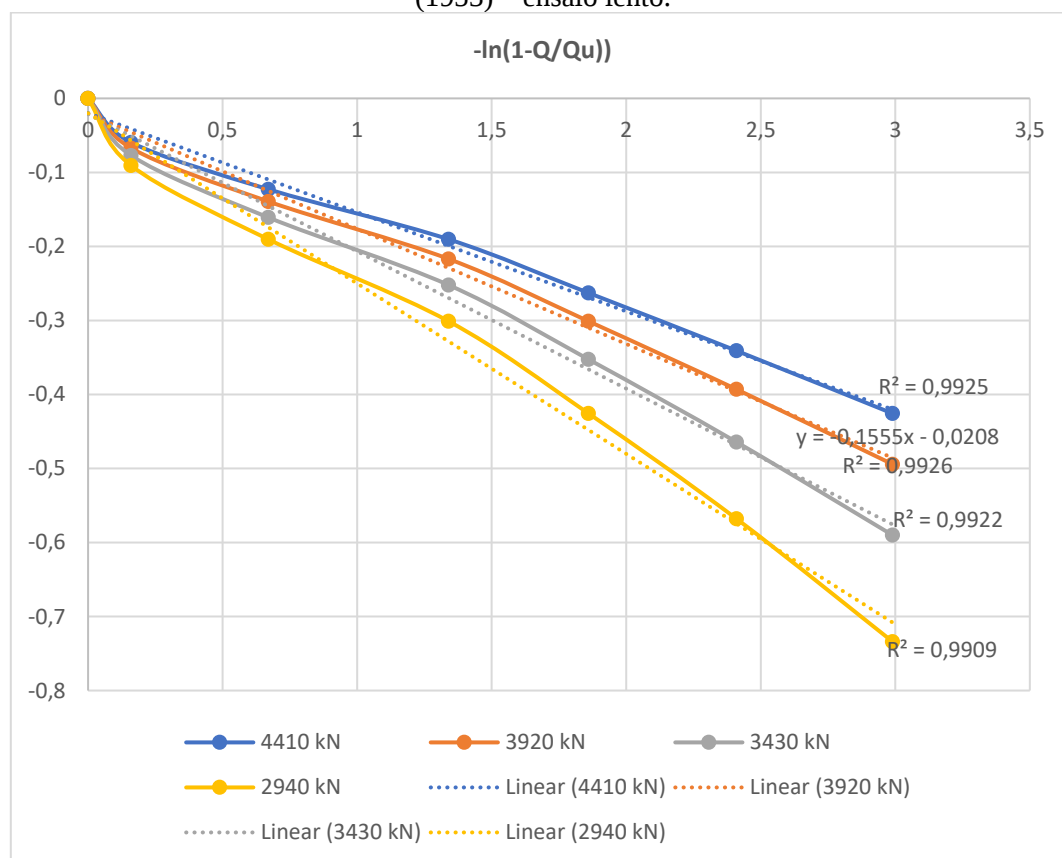


Figura 49 - Determinação da Carga de ruptura da estaca E 122, pelo método Van der Veen (1953) – ensaio rápido.

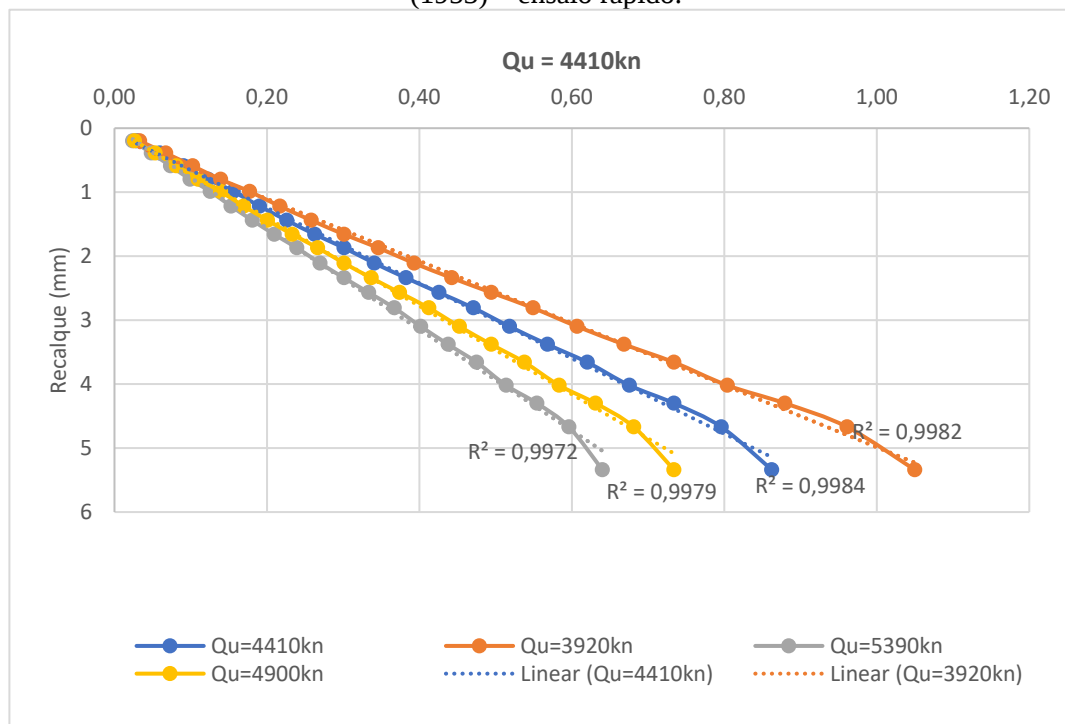


Figura 50 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E 122, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio Lento.

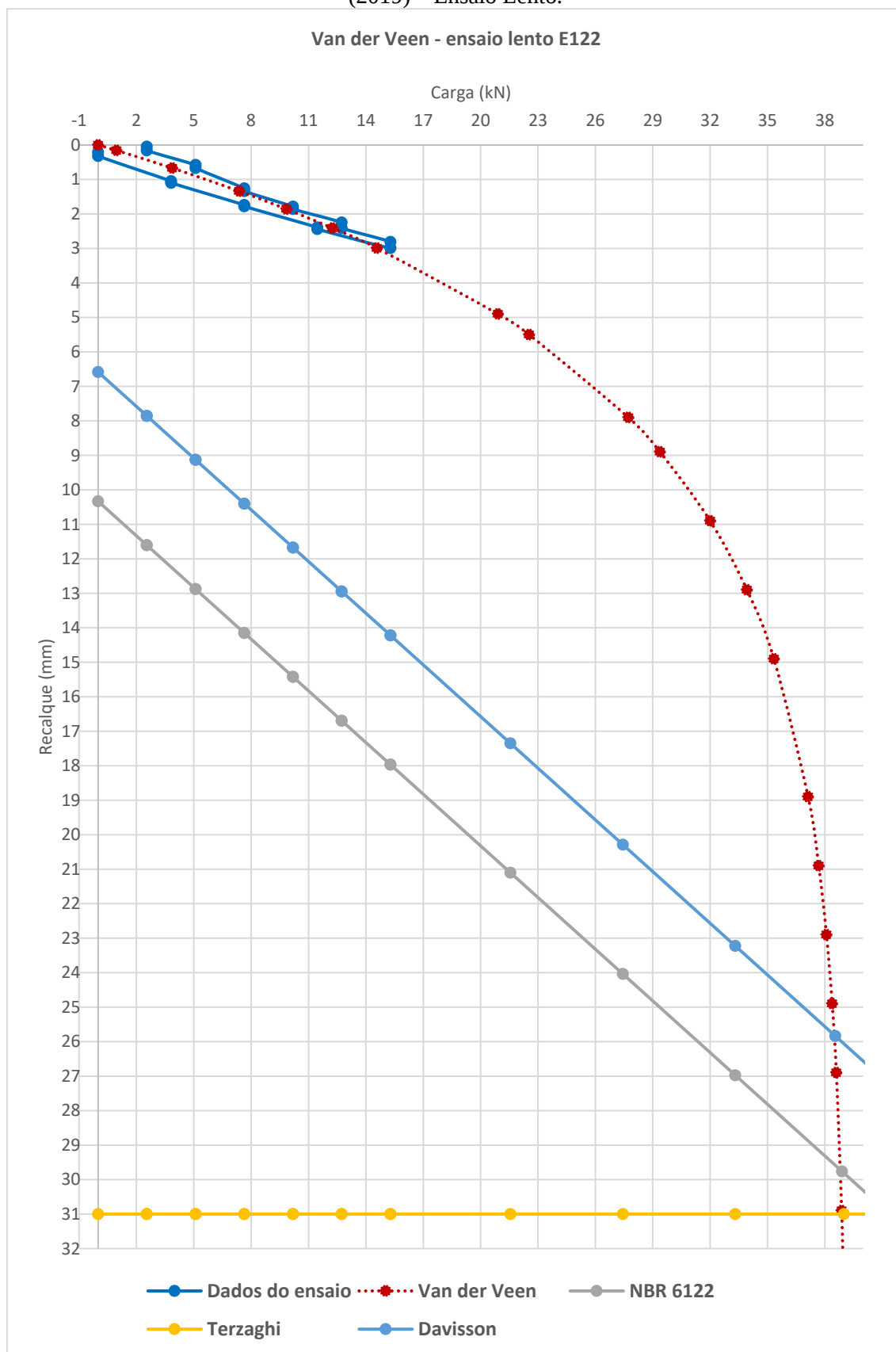


Figura 51 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E122, pela aplicação dos métodos de Terzaghi (1943); Van Der Veen (1953); Davisson (1972); Décourt (1996); NBR 6122 ABNT (2019) – Ensaio rápido.

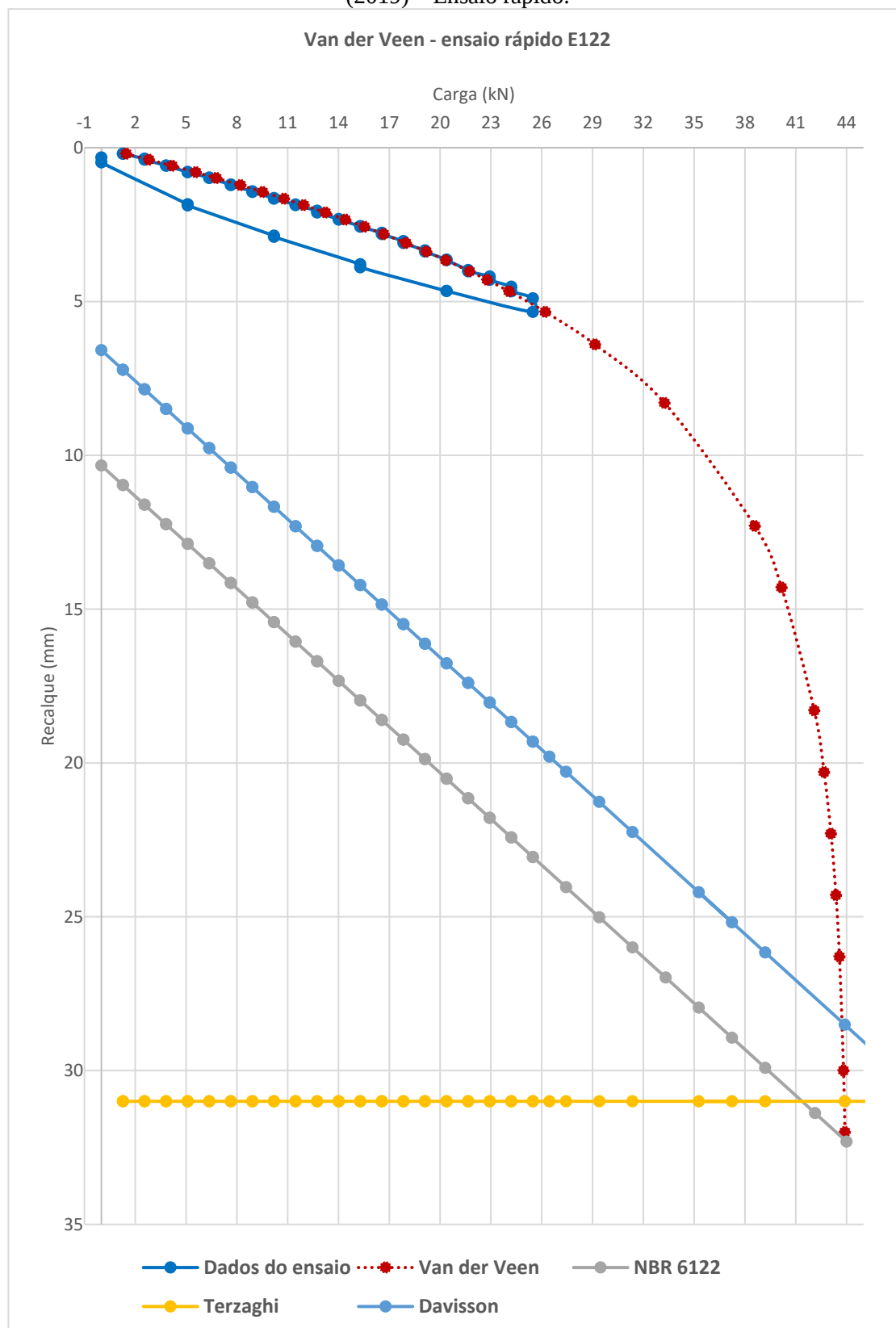


Figura 52 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E122, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Lento.

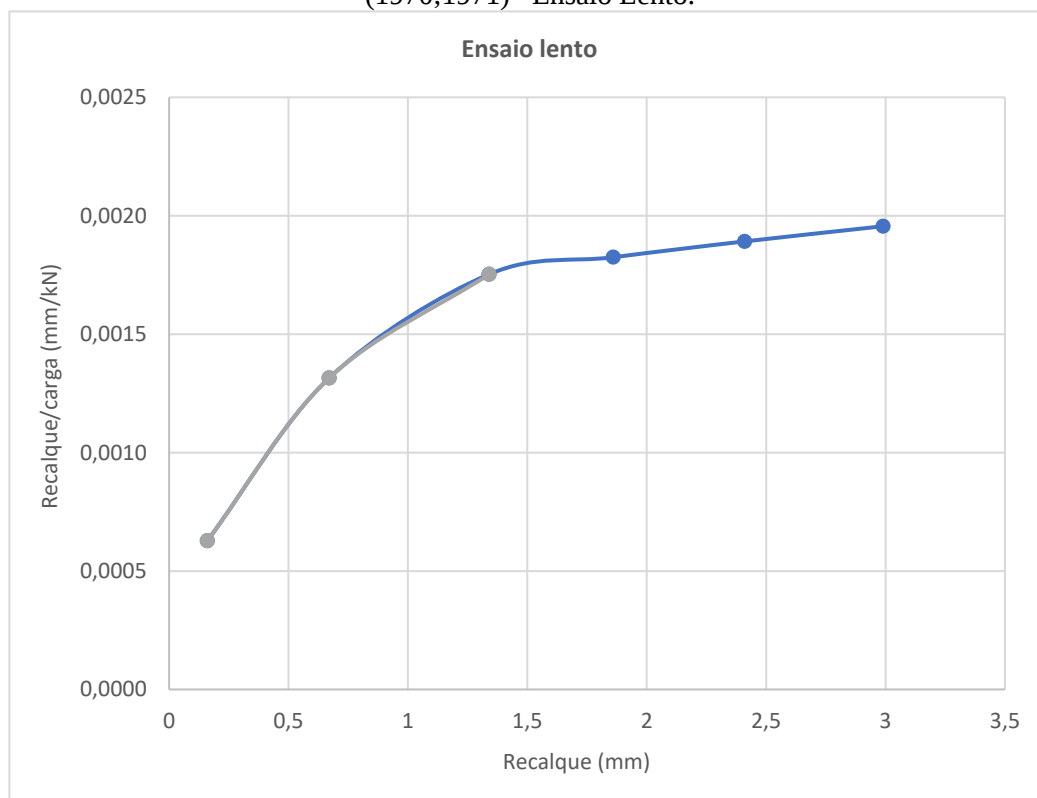


Figura 53 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E122, pela aplicação do método de Chin (1970;1971)– Ensaio Rápido.

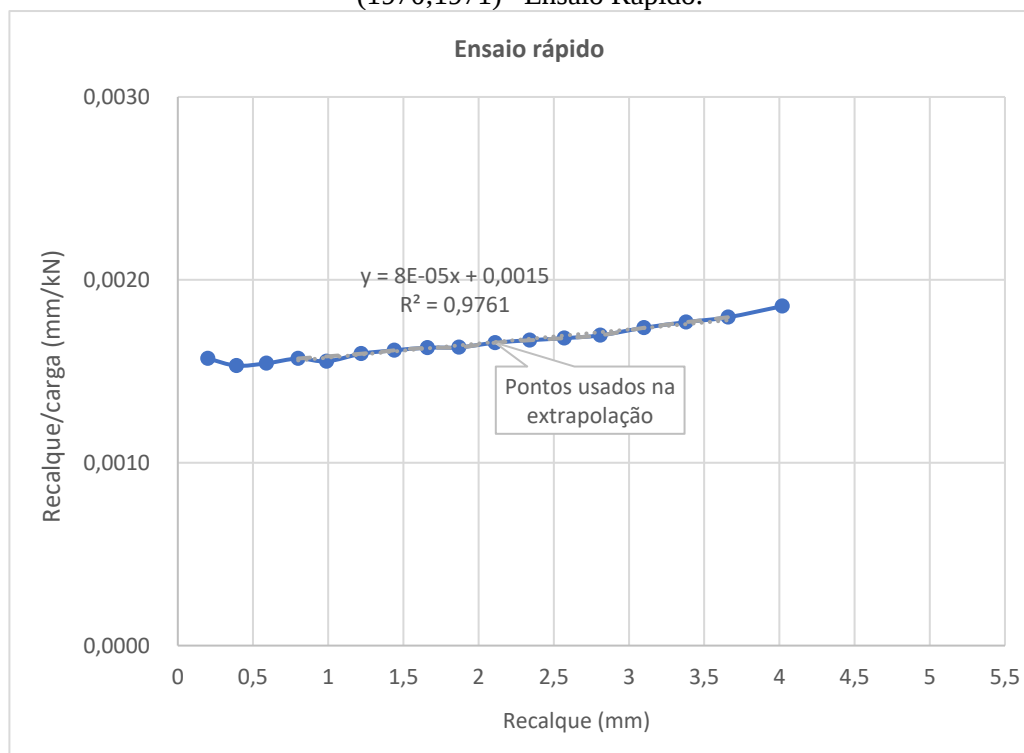


Figura 54 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E122, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio Lento.

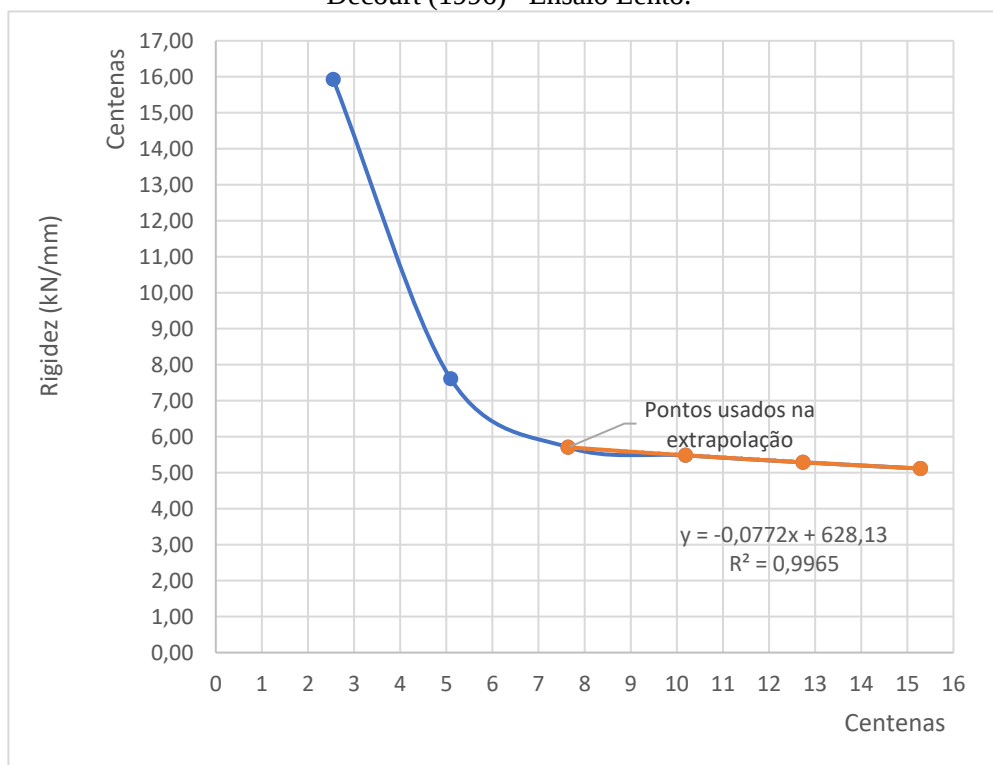
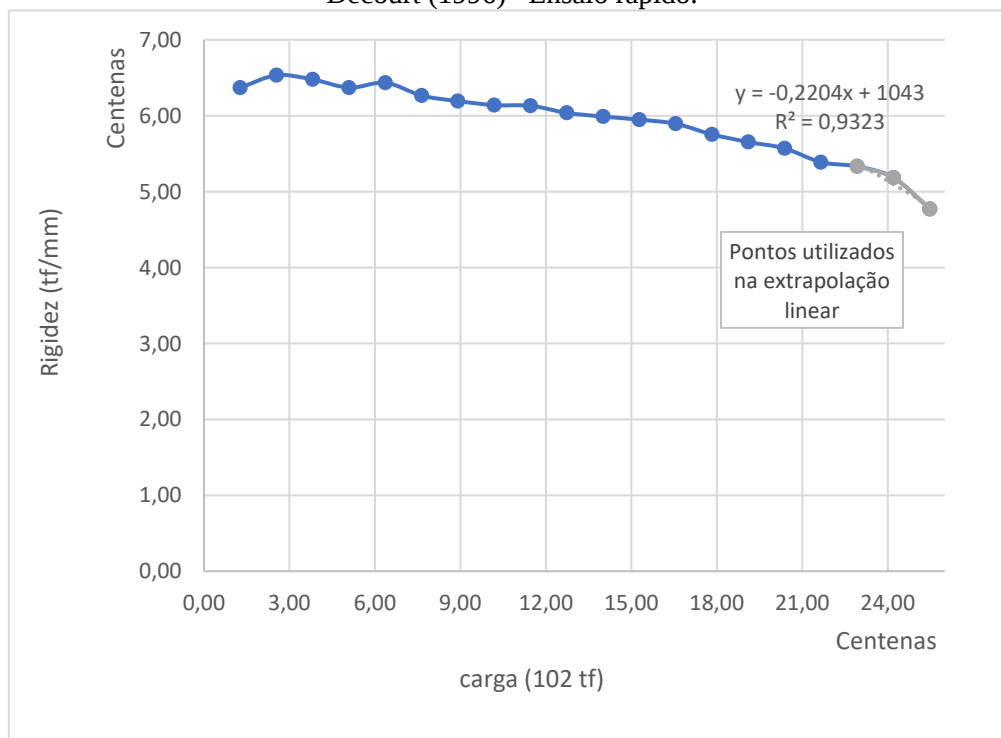


Figura 55 - Estimativa da Carga de ruptura da estaca E122, pela aplicação do método de Décourt (1996)– Ensaio rápido.



APÊNDICE E - INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS ESTÁTICOS (PCE) PELO MÉTODO DE MASSAD



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARILIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO			
Estaca PCE E5043			
Dados			
L _{solo} (m)	4,42	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			
Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.548,00		
Alr(kN)=	688,35	27,02%	
P ₁ (kN)=	1686,23	66,18%	
P _p (kN)=	173,42	6,81%	
AS=	0,00	100,00%	2548,00
f _{s,rocha} (MPa)=	0,35		
f _{s,solo} (MPa)=	0,12		
E=	93,41		

Carregamento rápido		
Carga (tf)	Carga (kn)	Recalque
13	127,4	0,2
26	254,8	0,5
39	382,2	0,87
52	509,6	1,36
65	637	1,8
78	764,4	2,23
91	891,8	2,63
104	1019,2	3,01
117	1146,6	3,35
130	1274	3,74
143	1401,4	4,07
156	1528,8	4,4
169	1656,2	4,81
182	1783,6	5,29
195	1911	5,83
208	2038,4	6,34
221	2165,8	6,89
234	2293,2	7,38
247	2420,6	7,9
260	2548	8,61

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	1401,4	1911
x2	1911	2548
y1	4,07	5,83
y2	5,83	8,61
m	0,0035	0,0044
n	-0,8349	-2,5784

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	1.401,4	4,07
	1.911,0	5,83
Reta Vermelha	1.911,0	5,83
	2.548,0	8,61

Isolando a variável X		
y=0,0035x - 0,835		
x=238,54+285,71y		
C ₁ =	238,54	
C ₂ =	285,71	

Calculando o Ponto em comum das retas		
y=	5,95	
x=	1.937,22	

Sabendo que $Po = \mu \cdot Alr \cdot (\beta / z) \cdot (Y_o / \mu \cdot Y_0) + A \cdot S \cdot W_2$ e que $Po = C_1 + C_2 \cdot Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C1 = A \cdot S \cdot W2$ e $C2 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta / z) \cdot (Y_o / \mu \cdot Y1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{Po - (\mu \cdot Alr + A \cdot S)}{2 \cdot Kr} = \frac{1}{\frac{1}{R \cdot S} + \frac{1}{R \cdot Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 \cdot Y_0 = a \cdot Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

Req5= 323,46

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

z * Kr * β = 285,71

E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,42
β=	0,90
Z1=	0,42
Lambda=	1,01
β=	1,01
Z2=	0,37
Lambda=	1,14
β=	1,06
Z3=	0,35
Lambda=	1,20
β=	1,10
Z4=	0,34
Lambda=	1,24
β=	1,12
Z5=	0,34
Lambda=	1,26
β=	1,13
Z6=	0,33
Lambda=	1,27
β=	1,13
Z7=	0,33
Lambda=	1,28

Calculando o Kr1 com os dados de entrada

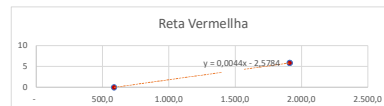
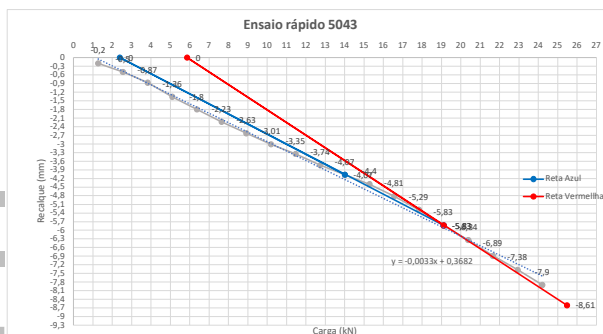
$Kr_1 = ES / L_{2010} = [E \cdot (\pi \cdot r^2)] / 4 \cdot L_{solo}$

Kr₁ (KN/mm) 764,28

Ensaio rápido 5043

Reta Azul

Reta Vermelha



	$\beta =$	1,14			
	Z8=	0,33			
	Lambda=	1,29			
	$\beta =$	1,14			
	Z9=	0,33			
	Lambda=	1,29			
	$\beta =$	1,14			
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta' / z = z * Kr * \beta$					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	82,24			
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta' / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
	b=	0,012			
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
	$P_0 =$	1911			
	$Y_0 =$	5,83			
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
	$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	286,87			
E	$\beta' / z =$	3,47			
Dessa forma tem-se					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	82,57			
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	82,24			
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
	$P_0 =$	1.911,00			
	$Y_0 =$	5,83			
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	286,87				
E	$\beta' / z =$	3,47			
Dessa forma tem-se					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	82,57			
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
	$P_0 =$	1.911,00			
	$Y_0 =$	5,83			
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S) + \frac{Y_0 * 1}{2 * Kr}}{1 / ReqS + 1 / Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2			
$\mu * Alr + A * S =$	688,35				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	1.911,00				
$Y_0 =$	5,83				
$C_2 =$	227,27	$C_2 * Y_0 =$	1.325,00		
$Kr =$	764,28	$2 * Kr / C_2 =$	6,73		
$A * S =$	0,00				
$\mu * Alr + A * S =$	688,35				
$\mu * Alr =$	688,35				
$ReqS =$	323,46				
$f_{s_{solo}}$ (KPa)	120,97				
$f_{s_{solo}}$ (MPa)	0,12				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	8,34	Como $\mu * Alr =$	688,35	e	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$
					82,57
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	2.548,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	8,61				
$P_{rocha} =$	1859,65				
Deslocamento no topo=	5,75				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	2.548,00				
L=	4,42				
$P_{rocha} =$	1859,65				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.203,83				
ΔL (mm)=	2,88				
	8,63	8,61	-	0,02	Ok
Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_0 = W_1 = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	2.548,00				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				

Como $W_p = W_c = W$
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = Alr * qsi / 2 * 3,14 * L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L
 $P_p / P_L = 0,1028$
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$
Temos que $1,1 * PL = Procha$

$P_L =$	1,10
$P_p =$	1.686,23
$P_p =$	173,42

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	346,46
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,35

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a constantes
 $r_o / [2 * (1 + 0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$
Depois $2 * 3,14 * L / qsi * r_o = 48,62$

Q/w	3,46
-------	------

Temos então que $Req5 = 3,46 * E$

E (MPa) =	93,41
-------------	-------

Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS) = 2.548,00

$L_{solo} =$	4,42
$L_{rocha} =$	5,00
$P_{rocha} =$	1859,65
$P_p =$	173,42

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média) =	2.203,83
ΔL_{solo} (mm) =	2,88

N (Média) =	1.016,54
ΔL_{rocha} (mm) =	2,63

ΔL_{total} (mm) =	5,52
---------------------------	------

Consistente com valor medido no topo

O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 5,73

E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$Req5 =$	324,75
E (MPa) =	93,78

Muito próximo do obtido pelo modelo, logo E é da mesma ordem

Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa) =	93,41
$G_s =$	38.921,61
$P_{rocha} =$	1.859,65
$\text{Lambda} =$	657,73

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_b / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (qsi * r_o)])$
 $Q_b / Q = 0,0933$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_b / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / qsi * \text{lambda})$
 $\mu = 0,0023540$

Para z igual ao comprimento da rocha $z = 5,00$
 $w (z = L_{rocha}) = 0,0057$

Para z igual a 0 $z = 0,00$
 $w (z=0) = 0,0057$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca PCE E5103

Dados			
L _{solo} (m)	5,42	Fck (KN/m²)	20000
L _{estaca} (m)	4,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			

Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
$Kr_1 = ES / L_{estaca} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L \text{ solo})$	
Kr ₁ (KN/mm)	623,27

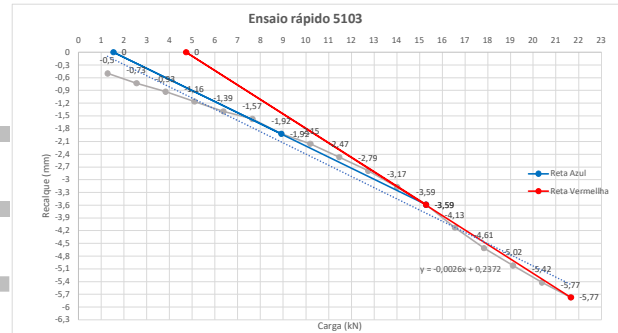
Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.165,80		
Alr(kN)=	618,95	28,58%	
P ₁ (kN)=	1379,06	63,67%	
P ₂ (kN)=	167,79	7,75%	
AS=	-0,02	100,00%	2165,80
f _{resolado} (MPa)=	0,35		
f _{solida} (MPa)=	0,09		
E=	187,08		

Carregamento rápido			
Carga (tf)	Carga (kn)	Recalque	
13	127,4	0,5	-0,5
26	254,8	0,73	-0,73
39	382,2	0,93	-0,93
52	509,6	1,16	-1,16
65	637	1,39	-1,39
78	764,4	1,57	-1,57
91	891,8	1,92	-1,92
104	1019,2	2,15	-2,15
117	1146,6	2,47	-2,47
130	1274	2,79	-2,79
143	1401,4	3,17	-3,17
156	1528,8	3,59	-3,59
169	1656,2	4,13	-4,13
182	1783,6	4,61	-4,61
195	1911	5,02	-5,02
208	2038,4	5,42	-5,42
221	2165,8	5,77	-5,77

Início da Reta Azul

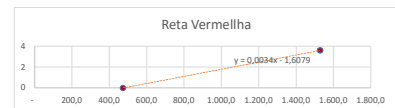
Ponto comum as duas retas

Termino da Reta Vermelha



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	891,8	1528,8	
x2	1529	2166	
y1	1,92	3,59	
y2	3,59	5,77	
m	0,0026	0,0034	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-0,3987	-1,6079	$n = y - mx$

Platagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	891,8	1,92
	153,3	0
	1528,8	3,59
Reta Vermelha	1528,8	3,59
	472,9	0
	1528,8	3,59



Isolando a variável X

$$y = 0,0026x - 0,399$$

$$x = 153,35 + 384,62y$$

C₁=

153,35

C₂=

384,62

$$y = 0,0034x - 1,608$$

$$x = 472,91 + 294,12y$$

C₁=

472,91

C₂=

294,12

Calculando o Ponto em comum das retas

$$y = 3,53$$

$$x = 1.511,50$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \mu * Alr + 2 * A * S} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

=

$$\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 556,93$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 384,62$$

E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,89$$

$$\beta = 0,98$$

$$Z1 = 0,63$$

$$\lambda = 1,43$$

$$\beta = 1,11$$

$$Z2 = 0,56$$

$$\lambda = 1,60$$

$$\beta = 1,16$$

$$Z3 = 0,53$$

$$\lambda = 1,69$$

$$\beta = 1,19$$

$$Z4 = 0,52$$

$$\lambda = 1,73$$

$$\beta = 1,21$$

$$Z5 = 0,51$$

$$\lambda = 1,75$$

$$\beta = 1,22$$

$$Z6 = 0,51$$

$$\lambda = 1,76$$

$$\beta = 1,22$$

$$Z7 = 0,50$$

$$\lambda = 1,77$$

	$\beta =$	1,23			
	Z8=	0,50			
	Lambda=	1,78			
	$\beta =$	1,23			
	Z9=	0,50			
	Lambda=	1,78			
	$\beta =$	1,23			
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	157,47			
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
	b=	0,006			
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
	$P_0 =$	1528,8			
	$Y_0 =$	3,59			
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
	$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	383,13			
E	$\beta / z =$	2,44			
Dessa forma tem-se					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	156,86			
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	157,46			
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
	$P_0 =$	1.528,80			
	$Y_0 =$	3,59			
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
	$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	383,13			
E	$\beta / z =$	2,44			
Dessa forma tem-se					
	$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	156,86			
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
	$P_0 =$	1.528,80			
	$Y_0 =$	3,59			
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S) + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
	$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2		
	$\mu * Alr + A * S =$	618,95			
Substituindo na equação, temos					
	$P_{0F} =$	1.528,80			
	$Y_{0F} =$	3,59			
	$C_2 =$	294,12	$C_2 * Y_{0F} =$	1.055,88	
	$Kr =$	623,27	$2 * Kr / C_2 =$	4,24	
	$A * S =$	-0,02			
	$\mu * Alr + A * S =$	618,95			
	$\mu * Alr =$	618,95			
	$ReqS =$	556,93			
	$f_{s_{solo}} (KPa) =$	88,70			
	$f_{s_{solo}} (MPa) =$	0,09			
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
	$\mu * Y_1 =$	3,95	Como $\mu * Alr =$	618,95	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$
					156,86
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
	Carga máxima mobilizada=	2.165,80			
	Recalque da carga máxima mobilizada=	5,77			
	$P_{rocha} =$	1546,85			
	Deslocamento no topo=	2,78			
	Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	2.165,80			
	L=	5,42			
	$P_{rocha} =$	1546,85			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
	N (Média)=	1.856,32			
	$\Delta L (mm) =$	2,98			
		5,76	5,77	0,01	Ok
Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_i = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
	Qu= Carga máxima mobilizada	2.165,80			
	$f_m =$	8,00			
	$f_o =$	0,16			
	$\zeta =$	3,94			

Como $W_p = W_c = W$
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot qsi / 2 \cdot 3,14 \cdot L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L
 $P_p / P_L = 0,1217$
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$
Temos que $1,12 \cdot P_L = P_{rocha}$

$P_L =$	1,12
$P_p =$	1379,06
$P_p =$	167,79

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	354,19
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,35

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a constantes
 $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / qsi \cdot r_o = 41,09$

Q/w	2,98
-------	------

Temos então que $Req5 = 2,98 \cdot E$

E (MPa) =	187,08
-------------	--------

Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS) = 2.165,80
 $L_{solo} = 5,42$
 $L_{rocha} = 4,00$
 $P_{rocha} = 1546,85$
 $P_p = 167,79$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média) =	1.856,32
ΔL_{solo} (mm) =	2,98

N (Média) =	857,32
ΔL_{rocha} (mm) =	1,78

ΔL_{total} (mm) =	4,75
---------------------------	------

Consistente com valor medido no topo

O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 2,79

E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$Req5 =$	554,10	Muito próximo do obtido pelo modelo, logo E é da mesma ordem
E (MPa) =	186,13	

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	3,94
E (MPa) =	187,08
$G_c =$	77.951,87
$P_{rocha} =$	1.546,85
$\text{Lambda} =$	328,41

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_b / Q = (4 / 0,8) / [(4 / 0,8) + (2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (qsi \cdot r_o)]$
 $Q_b / Q = 0,1085$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_b / (r_o \cdot G_c)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / qsi \cdot \text{lambda})$

$\mu =$	0,0049813
---------	-----------

Para z igual ao comprimento da rocha $z = 4,00$

w ($z = L_{rocha}$) =	0,0028
---------------------------	--------

Para z igual a 0

$z = 0,00$	
w ($z = 0$) =	0,0028

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca PCE 7043

Dados			
L _{solo} (m)	4,80	Fck (KN/m²)	20000
L _{estaca} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			

Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$	
Kr ₁ (KN/mm)	703,78

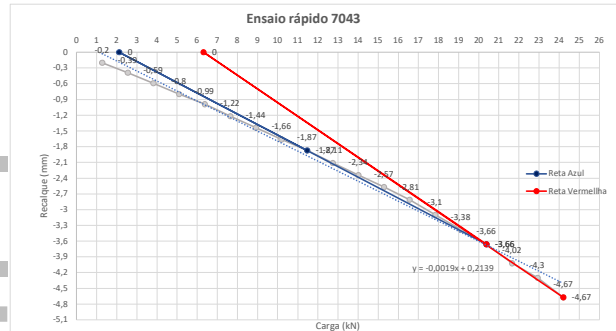
Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.420,60		
Alr(kN)=	867,83	35,85%	
P ₁ (kN)=	1407,97	58,17%	
P ₂ (kN)=	144,80	5,98%	
AS=	-0,06	100,00%	2420,60
f _{s,recalc} (MPa)=	0,29		
f _{s,soil} (MPa)=	0,14		
E=	244,93		

Carregamento rápido			
Carga (tf)	Carga (kn)	Recalque	
13	127,4	0,2	-0,2
26	254,8	0,39	-0,39
39	382,2	0,59	-0,59
52	509,6	0,8	-0,8
65	637	0,99	-0,99
78	764,4	1,22	-1,22
91	891,8	1,44	-1,44
104	1019,2	1,66	-1,66
117	1146,6	1,87	-1,87
130	1274	2,11	-2,11
143	1401,4	2,34	-2,34
156	1528,8	2,57	-2,57
169	1656,2	2,81	-2,81
182	1783,6	3,1	-3,1
195	1911	3,38	-3,38
208	2038,4	3,66	-3,66
221	2165,8	4,02	-4,02
234	2293,2	4,3	-4,3
247	2420,6	4,67	-4,67

Início da Reta Azul

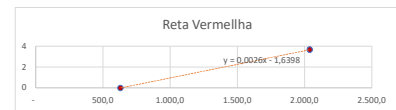
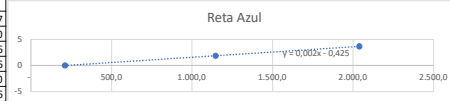
Ponto comum as duas retas

Termino da Reta Vermelha



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	1146,6	2038,4	
x2	2038	2421	
y1	1,87	3,66	
y2	3,66	4,67	
m	0,002	0,0026	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-0,4232	-1,6398	$n = y - mx$

Platagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	1.146,6	1,87
	211,6	0
	2.038,4	3,66
Reta Vermelha	2.038,4	3,66
	630,7	0
	2.038,4	3,66



Isolando a variável X

$$y = 0,002x - 0,423$$

$$x = 211,6 + 500y$$

$$C_1 =$$

$$211,60$$

$$C_2 =$$

$$500,00$$

$$y = 0,0026x - 1,64$$

$$x = 630,69 + 384,62y$$

$$C_1 =$$

$$630,69$$

$$C_2 =$$

$$384,62$$

Calculando o Ponto em comum das retas

$$y = 3,63$$

$$x = 2.027,67$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 * C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

$$=$$

$$\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 848,11$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 500,00$$

E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$

$$\begin{aligned} Z0 &= 1 \\ \lambda &= 1,21 \\ \beta &= 1,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z1 &= 0,69 \\ \lambda &= 1,74 \\ \beta &= 1,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= 0,62 \\ \lambda &= 1,94 \\ \beta &= 1,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3 &= 0,59 \\ \lambda &= 2,04 \\ \beta &= 1,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z4 &= 0,58 \\ \lambda &= 2,10 \\ \beta &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z5 &= 0,57 \\ \lambda &= 2,12 \\ \beta &= 1,26 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z6 &= 0,56 \\ \lambda &= 2,14 \\ \beta &= 1,27 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z7 &= 0,56 \\ \lambda &= 2,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 1,27 \\ Z_8 &= 0,56 \\ \text{Lambd} &= 2,15 \\ \beta &= 1,27 \\ Z_9 &= 0,56 \\ \text{Lambd} &= 2,16 \\ \beta &= 1,27\end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 219,60$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,005$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2038,4 \\ Y_0 &= 3,66\end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 499,13$$

$$\beta / z = 2,28$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 219,21$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 219,60$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2.038,40 \\ Y_0 &= 3,66\end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 499,13$$

E

$$\beta / z = 2,28$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 219,21$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2.038,40 \\ Y_0 &= 3,66\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_0 &= (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S) + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} \\ P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} &= \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \\ &= \frac{1/ReqS + 1/Kr}{1/ReqS + 1/Kr}\end{aligned}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 867,83$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned}P_0 &= 2.038,40 \\ Y_0 &= 3,66 \\ C_2 &= 384,62 \\ Kr &= 703,78\end{aligned}$$

$$C_2 * Y_0 =$$

$$1.407,69$$

$$2 * Kr / C_2 =$$

$$3,66$$

$$A * S = -0,06$$

$$\mu * Alr + A * S = 867,83$$

$$\mu * Alr = 867,83$$

$$ReqS = 848,11$$

$$f_{s_{solo}} \text{ (KPa)} = 140,44$$

$$f_{s_{solo}} \text{ (MPa)} = 0,14$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 3,96$$

$$\text{Como } \mu * Alr =$$

$$867,83$$

$$\text{e}$$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$$

$$219,21$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 2.420,60$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 4,67$$

$$P_{rocha} = 1552,77$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 1,83$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 2.420,60$$

$$L = 4,80$$

$$P_{rocha} = 1552,77$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

$$N \text{ (Média)} = 1.986,69$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 2,82$$

$$4,65$$

$$4,67$$

$$0,02$$

$$\text{Ok}$$

Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_0 = W_1 = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

$$Q_u = \text{Carga máxima mobilizada} = 2.420,60$$

$$f_m = 10,00$$

$$f_o = 0,16$$

$$\zeta = 4,17$$

Como $W_p = W_c = W$
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot qsi / 2 \cdot 3,14 \cdot L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L
 $P_p/P_L = 0,1028$
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$
Temos que $1,1 \cdot PL = P_{rocha}$
 $P_L = 1,10$
 $P_p = 1.407,97$
 $P_p = 144,80$
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$
 $f_{s_{rocha}} \text{ (KPa)} = 289,29$
 $f_{s_{rocha}} \text{ (MPa)} = 0,29$
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a constantes
 $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / qsi \cdot r_o = 48,62$
 $Q/w = 3,46$
Temos então que $Req5 = 3,46 \cdot E$
 $E \text{ (MPa)} = 244,93$
Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS) = 2.420,60
 $L_{solo} = 4,80$
 $L_{rocha} = 5,00$
 $P_{rocha} = 1552,77$
 $P_p = 144,80$
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$
 $N \text{ (Média)} = 1.986,69$
 $\Delta L_{solo} \text{ (mm)} = 2,82$
 $N \text{ (Média)} = 848,79$
 $\Delta L_{rocha} \text{ (mm)} = 2,20$
 $\Delta L_{total} \text{ (mm)} = 5,02$ Consistente com valor medido no topo
O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 1,85
E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$
 $Req5 = 840,65$ Muito próximo do obtido pelo modelo, logo E é da mesma ordem
 $E \text{ (MPa)} = 242,77$
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:
 $\zeta = 4,17$
 $E \text{ (MPa)} = 244,93$
 $G_o = 102.052,21$
 $P_{rocha} = 1.552,77$
 $Lambda = 250,85$
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_o/Q = (4 / 0,8) / [(4/0,8) + (2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (qsi \cdot r_o)]$
 $Q_o/Q = 0,0933$
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_o / (r_o \cdot G_o)] \cdot (0,8/4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1/r_o) \cdot (2/qsi \cdot lambda)$
 $\mu = 0,0061721$
Para z igual ao comprimento da rocha
 $z = 5,00$
 $w \text{ (} z = L_{rocha} \text{)} = 0,0018$
Para z igual a 0
 $z = 0,00$
 $w \text{ (} z=0 \text{)} = 0,0018$
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



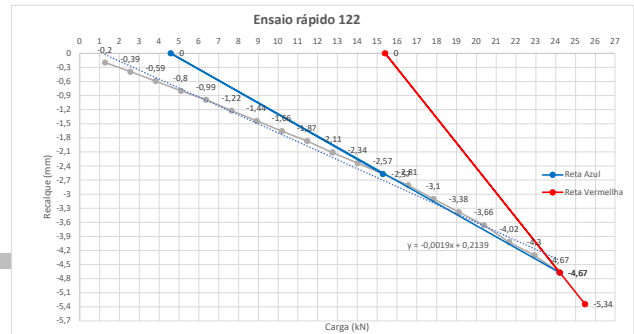
MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca PCE E184

Dados			
L _{total} (m)	4,80	Fck (KN/m²)	20000
L _{recalque} (m)	4,40	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{total} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			

Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
$Kr_1 = ES / L_{recalque} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L \text{ solo})$	
Kr ₁ (KN/mm)	703,78

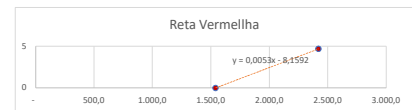
Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.548,00		
Alr(kN)=	1777,75	69,77%	
P ₁ (kN)=	691,85	27,15%	
P ₂ (kN)=	78,38	3,08%	
AS=	0,03		
f _{srecalque} (MPa)=	0,16		
f _{solo} (MPa)=	0,29		
E=	81,23		

Carregamento rápido			
Carga (tf)	Carga (kn)	Recalque	
13	127,4	0,2	-0,2
26	254,8	0,39	-0,39
39	382,2	0,59	-0,59
52	509,6	0,8	-0,8
65	637	0,99	-0,99
78	764,4	1,22	-1,22
91	891,8	1,44	-1,44
104	1019,2	1,66	-1,66
117	1146,6	1,87	-1,87
130	1274	2,11	-2,11
143	1401,4	2,34	-2,34
156	1528,8	2,57	-2,57
169	1656,2	2,81	-2,81
182	1783,6	3,1	-3,1
195	1911	3,38	-3,38
208	2038,4	3,66	-3,66
221	2165,8	4,02	-4,02
234	2293,2	4,3	-4,3
247	2420,6	4,67	-4,67
260	2548	5,34	-5,34



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	1528,8	2420,6	
x2	2421	2548	
y1	2,57	4,67	
y2	4,67	5,34	
m	0,0024	0,0053	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-1,0991	-8,1592	$n = y - mx$

Platagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	1.528,8	2,57
	458,0	0
	2.420,6	4,67
Reta Vermelha	2.420,6	4,67
	1.539,5	0
	2.420,6	4,67



Isolando a variável X

$$y = 0,0024x - 1,099$$

$$x = 457,96 + 416,67y$$

$$y = 0,0053x - 8,159$$

$$x = 1539,47 + 188,68y$$

$$C_1 = 457,96$$

$$C_2 = 416,67$$

$$C_1 = 1.539,47$$

$$C_2 = 188,68$$

Calculando o Ponto em comum das retas

$$y = 4,74$$

$$x = 2.434,52$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \mu * Alr + 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

$$= \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 257,79$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 416,67$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z_0 = 1$$

$$\lambda = 0,37$$

$$\beta = 0,88$$

$$Z_1 = 0,67$$

$$\lambda = 0,55$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_2 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_3 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_4 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_5 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_6 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\beta = 0,86$$

$$Z_7 = 0,69$$

$$\lambda = 0,53$$

$$\begin{aligned}\beta &= 0,86 \\ Z8 &= 0,69 \\ \text{Lambd} &= 0,53 \\ \beta &= 0,86 \\ Z9 &= 0,69 \\ \text{Lambd} &= 0,53 \\ \beta &= 0,86\end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 336,02$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,003$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2420,6 \\ Y_0 &= 4,67\end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 420,27$$

$$\beta / z = 1,24$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 338,92$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 336,01$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2420,60 \\ Y_0 &= 4,67\end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 420,27$$

E

$$\beta / z = 1,24$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 338,92$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 2420,60 \\ Y_0 &= 4,67\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_0 &= (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S) + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}}{2 * Kr} \\ P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} &= \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \\ &= \frac{1/ReqS + 1/Kr}{1/ReqS + 1/Kr}\end{aligned}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 1.777,78$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned}P_0 &= 2420,60 \\ Y_0 &= 4,67 \\ C_2 &= 188,68 \\ Kr &= 703,78\end{aligned}$$

$$C_2 * Y_0 =$$

$$881,13$$

$$2 * Kr / C_2 =$$

$$7,46$$

$$A * S = 0,03$$

$$\mu * Alr + A * S = 1777,78$$

$$\mu * Alr = 1777,75$$

$$ReqS = 257,79$$

$$f_{s_{\text{solo}}} \text{ (KPa)} = 287,69$$

$$f_{s_{\text{solo}}} \text{ (MPa)} = 0,29$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 5,25$$

$$\text{Como } \mu * Alr =$$

$$1777,75$$

$$\text{e}$$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$$

$$338,92$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 2.548,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 5,34$$

$$P_{\text{rocha}} = 770,22$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 2,99$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 2.547,97$$

$$L = 4,80$$

$$P_{\text{rocha}} = 770,22$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

$$N \text{ (Média)} = 1.659,10$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 2,36$$

$$5,35$$

$$5,34$$

$$0,01$$

$$\text{Ok}$$

Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_0 = W_1 = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

$$Q = \text{Carga máxima mobilizada} = 2.548,00$$

$$f_m = 8,80$$

$$f_o = 0,16$$

$$\zeta = 4,04$$

Como $W_p = W_c = W$	
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot qsi / 2 \cdot 3,14 \cdot L$	
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L	
$P_p/P_L =$	0,1133
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$	
Temos que $1,11 \cdot P_L = P_{rocha}$	
$P_L =$	1,11
$P_p =$	691,85
$P_p =$	78,38
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$	
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	161,53
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,16
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w	
Primeiro encontrando a constantes	
$r_o/[2 \cdot (1+0,2)] =$	0,06
Depois o valor de $4/(1-0,2) =$	5,00
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / qsi \cdot r_o =$	44,14
Q/w	3,17
Temos então que $Req5 = 3,17 \cdot E$	
E (MPa) =	81,23
Verificação para a carga máxima de topo da estaca	
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS) =	
$L_{solo} =$	2.547,97
$L_{rocha} =$	4,80
$L_{rocha} =$	4,40
$P_{rocha} =$	770,22
$P_p =$	78,38
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$	
N (Média) =	1.659,10
ΔL_{solo} (mm) =	2,36
N (Média) =	424,30
ΔL_{rocha} (mm) =	0,97
ΔL_{total} (mm) =	3,32
Consistente com valor medido no topo	
O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) =	
E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$	2,98
$Req5 =$	258,24
E (MPa) =	81,38
Muito próximo do obtido pelo modelo, logo E é da mesma ordem	
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:	
ζ	4,04
E (MPa) =	81,23
$G_c =$	33.847,77
$P_{rocha} =$	770,22
$Lambda =$	756,33
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:	
$Q_b/Q = (4 / 0,8) / [(4/0,8) + (2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (qsi \cdot r_o)]$	
$Q_b/Q =$	0,1018
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:	
$w(z) = [Q_b / (r_o \cdot G_c)] \cdot (0,8/4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$	
Calculando o $\mu = (1/r_o) \cdot (2/qsi \cdot lambda)$	
$\mu =$	0,0021119
Para z igual ao comprimento da rocha	
$z =$	4,40
w ($z = L_{rocha}$) =	0,0030
Para z igual a 0	
$z =$	0,00
w ($z=0$) =	0,0030
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.	



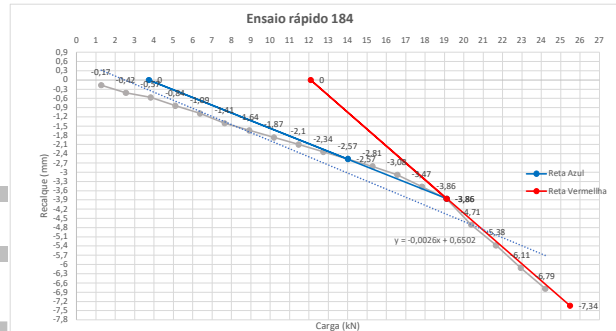
MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca PCE E184

Dados			
L _{solo} (m)	8,35	Fck (KN/m²)	20000
L _{estaca} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			

Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$	
Kr ₁ (KN/mm)	404,57

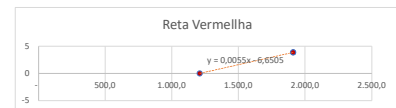
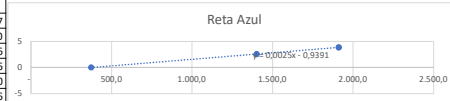
Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.548,00		
Alr (kN)=	1559,64	61,21%	
P ₁ (kN)=	896,19	35,17%	
P ₂ (kN)=	92,17	3,62%	
AS=	0,00	100,00%	2548,00
f _{s,recalc} (MPa)=	0,18		
f _{s,soil} (MPa)=	0,15		
E=	95,37		

Carregamento rápido			
Carga (tf)	Carga (kn)	Recalque	
13	127,4	0,17	-0,17
26	254,8	0,42	-0,42
39	382,2	0,57	-0,57
52	509,6	0,84	-0,84
65	637	1,09	-1,09
78	764,4	1,41	-1,41
91	891,8	1,64	-1,64
104	1019,2	1,87	-1,87
117	1146,6	2,1	-2,1
130	1274	2,34	-2,34
143	1401,4	2,57	-2,57
156	1528,8	2,81	-2,81
169	1656,2	3,08	-3,08
182	1783,6	3,47	-3,47
195	1911	3,86	-3,86
208	2038,4	4,71	-4,71
221	2165,8	5,38	-5,38
234	2293,2	6,11	-6,11
247	2420,6	6,79	-6,79
260	2548	7,34	-7,34



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	1401,4	1911	
x2	1911	2548	
y1	2,57	3,86	
y2	3,86	7,34	
m	0,0025	0,0055	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-0,9335	-6,6505	$n = y - mx$

Platagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	1401,4	2,57
	373,4	0
	1911,0	3,86
Reta Vermelha	1911,0	3,86
	1209,2	0
	1911,0	3,86



Isolando a variável X

$$y = 0,0025x - 0,934$$

$$x = 373,4 + 400y$$

$$C_1 =$$

$$C_2 =$$

$$373,40$$

$$400,00$$

$$y = 0,0055x - 6,651$$

$$x = 1209,18 + 181,82y$$

$$C_1 = 1.209,18$$

$$C_2 = 181,82$$

Calculando o Ponto em comum das retas

$$y = 3,83$$

$$x = 1.905,67$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \mu * Alr + 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

$$=$$

$$\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 330,23$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 400,00$$

E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,82$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z1 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z2 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z3 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z4 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z5 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z6 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z7 = 1,02$$

$$\lambda = 0,80$$

β=	0,97				
Z8=	1,02				
Lambda=	0,80				
β=	0,97				
Z9=	1,02				
Lambda=	0,80				
β=	0,97				
Sabendo que ((μ*Alr)/(μ*Y ₁))*β'/z = z*Kr*β					
(μ*Alr)/(μ*Y ₁)=	418,84				
Sendo a expressão μ*Y ₁ = μ*Alr*β'/(z*C ₂) e chamando b = β'/(z*C ₂), temos μ*Y ₁ = μ*Alr*b					
b=	0,002				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	1911				
Y ₀ =	3,86				
Utilizando a expressão P ₀ = μ*Alr*(β'/z)*(Y ₀ /μ*Y ₁) + A*S*W ₂					
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀					
μ*Alr * β'/(z*Y ₁)=	398,34				
E	β'/z=	0,96			
Dessa forma tem-se					
(μ*Alr) / (μ*Y ₁) =	417,10				
Entrentanto, sabendo que μ*Y ₁ = μ*Alr*b temos que 1/b = (μ*Alr) / (μ*Y ₁)					
(μ*Alr) / (μ*Y ₁) =	418,84				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	1.911,00				
Y ₀ =	3,86				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão Po = μ*Alr*(β'/z)*(Yo/(μ*Y ₁)) + A*S*W ₂					
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀					
μ * Alr * β'/(z*Y1)=	398,34				
E	β'/z=	0,96			
Dessa forma tem-se					
(μ * Alr) / (μ *Y1) =	417,10				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	1.911,00				
Y ₀ =	3,86				
$Po = (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S) + \frac{Yo \cdot 1}{2 \cdot Kr}}{1 / ReqS + 1 / Kr} + \frac{Yo \cdot 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$Po - (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{Yo \cdot 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2 \cdot Kr}$					
$\frac{1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
Sabendo que 1/(1/ReqS + 1/kr) = C2, temos que 1/ReqS + 1/kr = 1/C2					
Então,					
$Po - (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{Yo \cdot 1}{1 / C2} = \frac{-(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2 \cdot Kr}$					
$\frac{1}{1 / C2} = \frac{1}{1 / C2}$					
{- Po + (μ + Alr + A + S) + Y0*C2} * 2Kr/C2 = (μ + Alr + 2 + A + S)					
{- Po + (μ + Alr + A + S) + yo*C2} * 2Kr/C2 = (μ + Alr + A + S + A + S)					
{- Po + (μ + Alr + A + S) + yo*C2} * 2Kr/C2 - (μ + Alr + A + S) = A + S					
Primeiro, sabendo que					
(μ + Alr + A + S) = d1/(1 - (d2/(2 + Kr)))	d1 = C1	d2 = C2			
μ*Alr + A*S =	1.559,64				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	1.911,00				
Y ₀ =	3,86				
C ₂ =	181,82	C ₂ *Y ₀ =	701,82		
Kr=	404,57	2*Kr/C ₂ =	4,45		
A*S=	0,00				
μ*Alr + A*S =	1559,64				
μ*Alr =	1559,64				
ReqS=	330,23				
f _{s_{solo}} (KPa)	145,09				
f _{s_{solo}} (MPa)	0,15				
Utilizando as expressões μ*Alr e μ*Alr/μ*Y ₁ , temos que μ*Y ₁					
μ*Y ₁ =	3,74	Como μ * Alr =	1559,64	e	(μ*Alr)/(μ*Y ₁)= 417,10
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	2.548,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,34				
P _{rocha} =	988,36				
Deslocamento no topo=	2,99				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	2.548,00				
L=	8,35				
P _{rocha} =	988,36				
Calculando o encurtamento do fuste, ΔL = N*L/E*A					
N (Média)=	1.768,18				
ΔL(mm)=	4,37				
7,36	7,34	-	0,02	Ok	
Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígica (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que W _p = W _i =W					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	2.548,00				
r _m	10,00				
f _o	0,16				
ζ	4,17				

Como $W_p = W_c = W$
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot qsi / 2 \cdot 3,14 \cdot L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L
 $P_p / P_L =$ 0,1028
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$
Temos que $1,1 \cdot PL = P_{rocha}$
 $P_L =$ 896,19
 $P_p =$ 92,17

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$
 $f_{s_{rocha}}$ (KPa) 184,14
 $f_{s_{rocha}}$ (MPa) 0,18

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a constantes
 $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$ 0,06
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$ 5,00
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / qsi \cdot r_o =$ 48,62
 Q/w 3,46
Temos então que $Req5 = 3,46 \cdot E$
 E (MPa) = 95,37

Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS) = 2.548,00
 $L_{solo} =$ 8,35
 $L_{rocha} =$ 5,00
 $P_{rocha} =$ 988,36
 $P_p =$ 92,17
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$
 N (Média) = 1.768,18
 ΔL_{solo} (mm) = 4,37
 N (Média) = 540,26
 ΔL_{rocha} (mm) = 1,40
 ΔL_{total} (mm) = 5,77 Consistente com valor medido no topo
O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 2,97
 E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$
 $Req5 =$ 332,84
 E (MPa) = 96,12 Muito próximo do obtido pelo modelo, logo E é da mesma ordem

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:
 ζ 4,17
 E (MPa) = 95,37
 $G_c =$ 39.736,24
 $P_{rocha} =$ 988,36
 $Lambda =$ 644,25

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_b / Q = (4 / 0,8) / [(4 / 0,8) + (2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (qsi \cdot r_o)]$
 $Q_b / Q =$ 0,0933
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_b / (r_o \cdot G_c)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / qsi \cdot lambda)$
 $\mu =$ 0,0024033
Para z igual ao comprimento da rocha
 $z =$ 5,00
 w ($z = L_{rocha}$) = 0,0030
Para z igual a 0
 $z =$ 0,00
 w ($z = 0$) = 0,0030
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.

APÊNDICE F – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DINÂMICO (PDA) PELO MÉTODO DE MASSAD



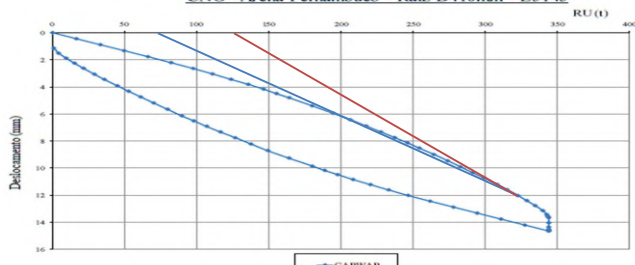
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARILIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO Estaca E 5145

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	10,00	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$	
L _{rocha} (m)	6,10	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

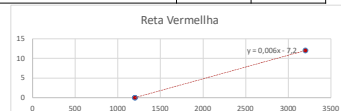
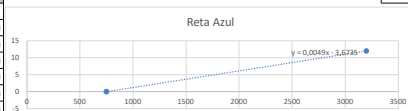
Kr₁ (KN/mm) 337,81

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E5145



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	750	1200	
x2	3200	3200	
y1	0	0	
y2	12,00	12,00	
m	0,0049	0,006	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-3,675	-7,2	$n = y - mx$

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	750	0
	750	0
	3200	12,00
Reta Vermelha	1200	0
	1200	0
	3200	12,00



Isolando a variável X

$$y = 0,0049x - 3,675$$

$$x = 750 + 204,08y$$

$$C_1 = 750,00$$

$$C_2 = 204,08$$

$$y = 0,006x - 7,2$$

$$x = 1200 + 166,67y$$

$$C_1 = 1.200,00$$

$$C_2 = 166,67$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{2 * Kr} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 328,97$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 204,08$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,97$$

$$\beta = 1,00$$

$$Z1 = 0,61$$

$$\lambda = 1,61$$

$$\beta = 1,15$$

$$Z2 = 0,53$$

$$\lambda = 1,85$$

$$\beta = 1,23$$

$$Z3 = 0,49$$

$$\lambda = 1,99$$

$$\beta = 1,28$$

$$Z4 = 0,47$$

$$\lambda = 2,07$$

$$\beta = 1,31$$

$$Z5 = 0,46$$

$$\lambda = 2,12$$

$$\beta = 1,33$$

$$Z6 = 0,45$$

$$\lambda = 2,15$$

$$\beta = 1,35$$

$$Z7 = 0,45$$

$$\lambda = 2,17$$

$$\beta = 1,35$$

$$Z8 = 0,45$$

$$\lambda = 2,18$$

$$\beta = 1,36$$

$$Z9 = 0,44$$

$$\lambda = 2,19$$

$$\beta = 1,36$$

$$Z10 = 0,44$$

$$\lambda = 2,20$$

$$\beta = 1,36$$

Z11=	0,44				
Lambda=	2,20				
β =	1,37				
Z12=	0,44				
Lambda=	2,20				
β =	1,37				
Z13=	0,44				
Lambda=	2,20				
β =	1,37				
Z14=	0,44				
Lambda=	2,20				
β =	1,37				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1)$ =	65,92				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,015				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	3200				
Y ₀ =	12				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	204,17				
E					
β / z =	3,10				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	65,95				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	65,92				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	3.200,00				
Y ₀ =	12,00				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	204,17				
E					
β / z =	3,10				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	65,95				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	65,92				
Os valores são aproximadamente iguais porém não são satisfatórios					
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	3.200,00				
Y ₀ =	12,00				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 \cdot (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 \cdot (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.592,96				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	3.200,00				
Y ₀ =	12,00				
C ₂ =	166,67	C ₂ *Y ₀ =	2.000,00		
Kr=	337,81	2*Kr/C ₂ =	4,05		
A*S=	0,00				
$\mu * Alr + A * S =$	1592,96				
$\mu * Alr =$	1592,96				
ReqS=	328,97				
f _{solic} (KPa)	123,73				
f _{solic} (MPa)	0,12				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	24,15	Como $\mu * Alr =$	1592,96	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	65,95
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.372,18				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,10				
P _{rechta} =	1779,22				
Deslocamento no topo=	5,41				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.372,18				

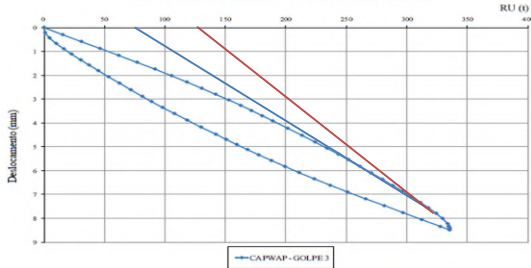
L=	10,00				
P _{rocha} =	1779,22				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$					
N (Média)=	2.575,70				
ΔL (mm)=	7,62				
	13,03	7,10	-	5,93	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.372,18				
r _m	12,20				
r _o	0,16				
ζ	4,37				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
$P_p / P_L =$	0,0883				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$					
Temos que $1,09 \cdot PL = P_{rocha}$					
$P_L =$	1.634,83				
$P_o =$	144,39				
Passamos a calcular o fsrocha					
f _{srocha} (KPa)	275,33				
f _{srocha} (MPa)	0,28				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00				
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	56,61				
Q/w	3,98				
Temos então que $\text{ReqS} = 3,98 \cdot E$					
E (MPa)=	82,68				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	3.372,18				
Adesão (AS)=					
L _{solo} =	10,00				
L _{rocha} =	6,10				
P _{rocha} =	1779,22				
P _p =	144,39				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$					
N (Média)=	2.575,70				
ΔL_{solo} (mm)=	7,62				
N (Média)=	961,81				
ΔL_{rocha} (mm)=	3,04				
ΔL_{total} (mm)=	10,66				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	- 0,52				
E para $\text{ReqS} = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	- 3.391,46				
E (MPa)=	- 852,34				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,37				
E (MPa)=	82,68				
G _s =	34.448,44				
P _{rocha} =	1.779,22				
Lambda=	743,14				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / [(4 / 0,8) + \{ [2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha} / (q_{si} \cdot r_o)] \}]$					
$Q_u / Q =$	0,0812				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0020				
Para z igual ao comprimento da rocha					
z=	6,10				
w (z = L _{rocha}) =	0,0054				
Para z igual a 0					
z=	0,00				
w (z=0)=	0,0054				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 5181					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,40	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{\text{solo}} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{\text{solo}})$	
L _{rocha} (m)	4,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075	Kr ₁ (KN/mm)	
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14	625,58	
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E5181



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	750	1350	
x2	3041	3041	
y1	0	0	
y2	7,10	7,10	
m	0,0031	0,0042	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2,325	-5,67	$n = y - mx$
Platagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	750	0	
	750	0	
	3041	7,10	
Reta Vermelha	1350	0	
	1350	0	
	3041	7,10	

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.283,00	
Alr(kN)=	1667,28	50,79%
P ₁ (kN)=	1440,45	43,88%
P ₂ (kN)=	175,26	5,34%
AS=	-2,28	
f _{s,rocha} (MPa)=	0,37	
f _{s, solo} (MPa)=	0,24	
E=	129,13	

Isolando a variável X

$$y = 0,0031x - 2,325$$

$$x = 750 + 322,58y$$

$$C_1 = 750,00$$

$$C_2 = 322,58$$

$$y = 0,0042x - 5,67$$

$$x = 1350 + 238,1y$$

$$C_1 = 1.350,00$$

$$C_2 = 238,10$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 384,40$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 322,58$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,61$$

$$\beta = 0,94$$

$$Z1 = 0,55$$

$$\lambda = 1,12$$

$$\beta = 1,04$$

$$Z2 = 0,50$$

$$\lambda = 1,24$$

$$\beta = 1,08$$

$$Z3 = 0,48$$

$$\lambda = 1,29$$

$$\beta = 1,10$$

$$Z4 = 0,47$$

$$\lambda = 1,31$$

$$\beta = 1,11$$

$$Z5 = 0,46$$

$$\lambda = 1,33$$

$$\beta = 1,12$$

$$Z6 = 0,46$$

$$\lambda = 1,33$$

$$\beta = 1,12$$

$$Z7 = 0,46$$

$$\lambda = 1,33$$

$$\beta = 1,12$$

$$Z8 = 0,46$$

$$\lambda = 1,34$$

$$\beta = 1,12$$

$$Z9 = 0,46$$

$$\lambda = 1,34$$

$$\beta = 1,12$$

$$Z10 = 0,46$$

$$\lambda = 1,34$$

$$\beta = 1,12$$

Z11=	0,46				
Lambda=	1,34				
β =	1,12				
Z12=	0,46				
Lambda=	1,34				
β =	1,12				
Z13=	0,46				
Lambda=	1,34				
β =	1,12				
Z14=	0,46				
Lambda=	1,34				
β =	1,12				
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	132,11				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,008				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	3040,91				
Y ₀ =	7,1				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	322,66				
E					
$\beta / z =$	2,44				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	132,14				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	132,11				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	3.040,91				
Y ₀ =	7,10				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	322,66				
E					
$\beta / z =$	2,44				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	132,14				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	3.040,91				
Y ₀ =	7,10				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.667,28				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	3.040,91				
Y ₀ =	7,10				
C ₂ =	238,10	C ₂ *Y ₀ =	1.690,48		
Kr=	625,58	2 * Kr / C ₂ =	5,25		
A * S=	-2,28				
$\mu * Alr + A * S =$	1667,28				
$\mu * Alr =$	1667,28				
ReqS=	384,40				
f _{s100} (KPa)	239,83				
f _{s100} (MPa)	0,24				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	12,62	Como $\mu * Alr =$	1667,28	e $(\mu * Alr) / (\mu * y1) =$	132,14
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.283,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	8,40				
P _{rocha} =	1615,72				
Deslocamento no topo=	4,20				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.283,00				
L=	5,40				
P _{rocha} =	1615,72				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.449,36				

$\Delta L(\text{mm}) =$	3,92			
	8,12	8,40	0,28	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
Qu= Carga máxima mobilizada	3.283,00			
r_m	8,00			
r_o	0,16			
ζ	3,94			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,1217			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,12 * P_L = P_{\text{rocha}}$	1,12			
$P_L =$	1.440,45			
$P_p =$	175,26			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{KPa})$	369,95			
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{MPa})$	0,37			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	41,09			
Q/w	2,98			
Temos então que $\text{ReqS} = 2,98 * E$				
E (MPa) =	129,13			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -	3.283,00			
Adesão (AS) =				
$L_{\text{solo}} =$	5,40			
$L_{\text{rocha}} =$	4,00			
$P_{\text{rocha}} =$	1.615,72			
$P_p =$	175,26			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$				
N (Média) =	2.449,36			
$\Delta L_{\text{solo}} (\text{mm}) =$	3,92			
N (Média) =	895,49			
$\Delta L_{\text{rocha}} (\text{mm}) =$	1,85			
$\Delta L_{\text{total}} (\text{mm}) =$	5,77			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	4,48			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	360,28			
E (MPa) =	121,02			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	3,94			
E (MPa) =	129,13			
$G_s =$	53.803,35			
$P_{\text{rocha}} =$	1.615,72			
Lambda =	475,81			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (q_{si} * r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,1085			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0034			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	4,00			
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0042			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0042			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 7041					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,10	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L \text{ solo})$ Kr ₁ (KN/mm) 662,38	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E7041

CAPWAP-GOLPE II

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.642,08	
Alr(kN)=	1506,80	57,03%
P ₁ (kN)=	1029,41	38,96%
P ₂ (kN)=	105,87	4,01%
AS=	-2,28	
f _{s100k} (MPa)=	0,21	
f _{s200k} (MPa)=	0,23	
E=	72,37	

Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	500	1300	
x2	2413	2413	
y1	0	0	
y2	6,12	6,12	
m	0,0032	0,0055	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-1,6	-7,15	$n = y - mx$

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	500	0
	500	0
	2413	6,12
Reta Vermelha	1300	0
	1300	0
	2413	6,12

Reta Azul

Reta Vermelha

Isolando a variável X			
$y = 0,0032x - 1,6$		$y = 0,0055x - 7,15$	
$x = 500 + 312,5y$		$x = 1300 + 181,82y$	
C ₁ =	500,00	C ₁ =	1.300,00
C ₂ =	312,50	C ₂ =	181,82

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1))}{Y_0 - \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS= 250,61

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * Kr * \beta =$ 312,50

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,38
β=	0,88
Z1=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z2=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z3=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z4=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z5=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z6=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z7=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z8=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z9=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z10=	0,53
Lambda=	0,71
β=	0,89
Z11=	0,53
Lambda=	0,71

$\beta =$	0,89		
Z12=	0,53		
Lambda=	0,71		
$\beta =$	0,89		
Z13=	0,53		
Lambda=	0,71		
$\beta =$	0,89		
Z14=	0,53		
Lambda=	0,71		
$\beta =$	0,89		
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta' / z = z * Kr * \beta$			
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) =$	185,81		
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta' / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$			
$b =$	0,005		
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:			
$P_0 =$	2413,04		
$Y_0 =$	6,12		
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$			
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$			
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	312,59		
E			
$\beta' / z =$	1,68		
Dessa forma tem-se			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	185,86		
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	185,81		
Os valores são próximos mas não são iguais.			
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:			
$P_0 =$	2.413,04		
$Y_0 =$	6,12		
Pela Reta Azul			
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$			
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$			
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	312,59		
E			
$\beta' / z =$	1,68		
Dessa forma tem-se			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	185,86		
Pela reta vermelha			
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:			
$P_0 =$	2.413,04		
$Y_0 =$	6,12		
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$			
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$			
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$			
Então,			
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{Y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$			
Primeiro, sabendo que			
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	$d1 = C1$	$d2 = C2$	
$\mu * Alr + A * S =$	1.506,80		
Substituindo na equação, temos			
$P_0 =$	2.413,04		
$Y_0 =$	6,12		
$C_2 =$	181,82	$C_2 * Y_0 =$	1.112,73
$Kr =$	662,38	$2 * Kr / C_2 =$	7,29
$A * S =$	-2,28		
$\mu * Alr + A * S =$	1506,80		
$\mu * Alr =$	1506,80		
$ReqS =$	250,61		
$f_{s0,05} (KPa)$	229,49		
$f_{s0,05} (MPa)$	0,23		
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$			
$\mu * Y_1 =$	8,11	Como $\mu * Alr =$	1506,80 e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$
Para a maior carga e o maior recalque, temos			
Carga máxima mobilizada=	2.642,08		
Recalque da carga máxima mobilizada=	6,60		
$P_{rocha} =$	1135,28		
Deslocamento no topo=	4,53		
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	2.642,08		
$L =$	5,10		
$P_{rocha} =$	1135,28		
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$			
$N (Média) =$	1.888,68		
$\Delta L (mm) =$	2,85		

	7,38	6,60	-	0,78	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	2.642,08				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * \text{qsi} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
$P_p / P_L =$	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$					
Temos que $1,1 * P_L = P_{\text{rocha}}$					
$P_L =$	1.029,41				
$P_p =$	105,87				
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$					
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	211,51				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,21				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
constantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$					
	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$					
	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / \text{qsi} * r_o =$					
	48,62				
Q/w	3,46				
Temos então que $\text{Req}_5 = 3,46 * E$					
E (MPa) =	72,37				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS) =	2.642,08				
$L_{\text{solo}} =$	5,10				
$L_{\text{rocha}} =$	5,00				
$P_{\text{rocha}} =$	1135,28				
$P_p =$	105,87				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$					
N (Média) =	1.888,68				
$\Delta L_{\text{solo}} \text{ (mm)} =$	2,85				
N (Média) =	620,57				
$\Delta L_{\text{rocha}} \text{ (mm)} =$	1,61				
$\Delta L_{\text{total}} \text{ (mm)} =$	4,46				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha) =	3,75				
E para $\text{Req}_5 = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
Req5 =	302,85				
E (MPa) =	87,46				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,17				
E (MPa) =	72,37				
$G_s =$	30.155,64				
$P_{\text{rocha}} =$	1.135,28				
Lambda =	848,93				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (\text{qsi} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,0933				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / \text{qsi} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0018				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	5,10				
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0046				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w (z=0) =$	0,0045				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					

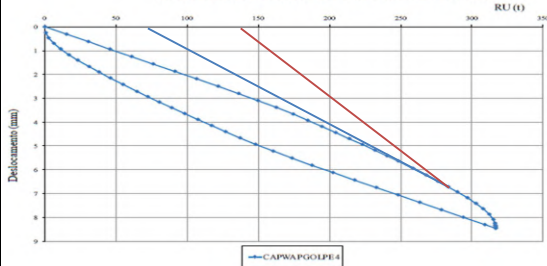


MEMÓRIA DE CÁLCULO

Estaca E 7088

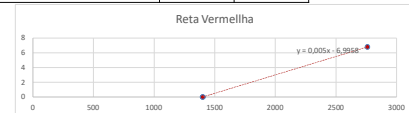
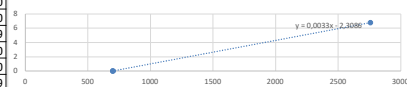
Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	5,10	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{\text{solo}} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{\text{solo}}$	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075	Kr ₁ (KN/mm)	
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14	662,38	
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E7088



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	700	1400	
x2	2759	2759	
y1	0	0	
y2	6,79	6,79	
m	0,0033	0,005	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2,31	-7	$n = y - mx$

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	700	0
	700	0
	2759	6,79
Reta Vermelha	1400	0
	1400	0
	2759	6,79



Isolando a variável X

$$y = 0,0033x - 2,31$$

$$x = 700 + 303,03y$$

$$C_1 = 700,00$$

$$C_2 = 303,03$$

$$y = 0,005x - 7$$

$$x = 1400 + 200y$$

$$C_1 = 1.400,00$$

$$C_2 = 200,00$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A + S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A + S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 286,51$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * K_r * \beta = 303,03$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,43$$

$$\beta = 0,90$$

$$Z1 = 0,51$$

$$\lambda = 0,85$$

$$\beta = 0,94$$

$$Z2 = 0,49$$

$$\lambda = 0,89$$

$$\beta = 0,96$$

$$Z3 = 0,48$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,96$$

$$Z4 = 0,48$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,96$$

$$Z5 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,96$$

$$Z6 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z7 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z8 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z9 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,97$$

$$Z10 = 0,47$$

$$\lambda = 0,91$$

$$\beta = 0,97$$

Z11=	0,47				
Lambda=	0,91				
β =	0,97				
Z12=	0,47				
Lambda=	0,91				
β =	0,97				
Z13=	0,47				
Lambda=	0,91				
β =	0,97				
Z14=	0,47				
Lambda=	0,91				
β =	0,97				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1)$ =	148,81				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,007				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	2758,82				
Y ₀ =	6,79				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	303,21				
E					
β / z =	2,04				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	148,90				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	148,81				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.758,82				
Y ₀ =	6,79				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	303,21				
E					
β / z =	2,04				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	148,90				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.758,82				
Y ₀ =	6,79				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.648,94				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	2.758,82				
Y ₀ =	6,79				
C ₂ =	200,00	C ₂ *Y ₀ =	1.358,00		
Kr=	662,38	2 * Kr/C ₂ =	6,62		
A * S=	-5,43				
$\mu * Alr + A * S =$	1648,94				
$\mu * Alr =$	1648,94				
ReqS=	286,51				
f _{s100} (KPa)	251,14				
f _{s100} (MPa)	0,25				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	11,07	Como $\mu * Alr =$	1648,94	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	148,90
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.102,68				
Recalque da carga máxima mobilizada=	8,40				
P _{recal} =	1453,74				
Deslocamento no topo=	5,07				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.102,68				
L=	5,10				
P _{recal} =	1453,74				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					

N (Média)=2.278,21
ΔL(mm)=3,44

8,518,40 -0,11Ok

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$
Vamos utilizar os seguintes valores:

QU= Carga máxima mobilizada3.102,68

r_m

10,00

r_o

0,16

ζ

4,17

Expressão de Randolph=
$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * \text{qsi} / 2 * 3,14 * L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l
 $P_p / P_l = 0,1028$
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$
Temos que $1,1 * P_l = P_{rocha}$

$P_l =$

1.318,17

$P_p =$

135,57

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa)

270,84

$f_{s_{rocha}}$ (MPa)

0,27

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$
Depois $2 * 3,14 * L / \text{qsi} * r_o = 48,62$

Q/w

3,46

Temos então que $\text{ReqS} = 3,46 * E$

E (MPa)=

82,74

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada -

3.102,68

Adesão (AS)=

$L_{solo} =$

5,10

$L_{rocha} =$

5,00

$P_{rocha} =$

1453,74

$P_p =$

135,57

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média)=2.278,21
ΔL_{solo}(mm)=3,44

N (Média)=794,65
ΔL_{rocha}(mm)=2,06

ΔL_{total}(mm)=5,50

O recalque na ponta fictícia
(entre solo e rocha)=4,96

E para $\text{ReqS} = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

ReqS=293,06
E (MPa)=84,63

Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ

4,17

E (MPa)=82,74
 $G_s = 34.475,45$
 $P_{rocha} = 1.453,74$
Lambda=742,56

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (\text{qsi} * r_o)])$
 $Q_u / Q = 0,0933$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / \text{qsi} * \text{lambda})$

$\mu =$

0,0021

Para z igual ao comprimento da rocha

$z = 5,00$
 $w (z = L_{rocha}) = 0,0051$

Para z igual a 0

$z = 0,00$
 $w (z=0) = 0,0051$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																											
Estaca E 2108A																																																																											
Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																									
L _{solo} (m)	5,90	Fck (KN/m²)	20000																																																																								
L _{rocha} (m)	8,00	E (KN/m²)	25600000																																																																								
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																								
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																								
L (m)																																																																											
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E2108-A																																																																											
Cálculo da Equação da Reta		Resultado																																																																									
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																									
x1	750	1150																																																																									
x2	3000	3000																																																																									
y1	0	0																																																																									
y2	8,00	8,00																																																																									
m	0,0036	0,0043	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$																																																																								
n	-2,7	-4,945	$n = y - mx$																																																																								
Plotagem das Retas																																																																											
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																									
X	750	0																																																																									
Y	750	0																																																																									
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																									
X	3000	8,00																																																																									
Y	3000	8,00																																																																									
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																									
X	1150	0																																																																									
Y	1150	0																																																																									
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																									
X	3000	8,00																																																																									
Y	3000	8,00																																																																									
Isolando a variável X																																																																											
$y = 0,0036x - 2,7$ $x = 750 + 277,78y$		$y = 0,0043x - 4,945$ $x = 1150 + 232,56y$																																																																									
C ₁ =	750,00	C ₁ =	1.150,00																																																																								
C ₂ =	277,78	C ₂ =	232,56																																																																								
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \mu * Alr + 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 391,62 Voltando a Reta Azul, tem-se que: $z * Kr * \beta =$ 277,78 E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,95</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,51</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,34</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,11</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,44</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,57</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,70</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,38</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,78</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,37</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,83</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,32</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,37</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,86</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,34</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,89</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,90</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,91</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,92</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,37</td> </tr> <tr> <td>Z11=</td> <td>0,36</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,93</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,37</td> </tr> </table>				Z0=	1	Lambda=	0,68	β=	0,95	Z1=	0,51	Lambda=	1,34	β=	1,11	Z2=	0,44	Lambda=	1,57	β=	1,20	Z3=	0,40	Lambda=	1,70	β=	1,26	Z4=	0,38	Lambda=	1,78	β=	1,30	Z5=	0,37	Lambda=	1,83	β=	1,32	Z6=	0,37	Lambda=	1,86	β=	1,34	Z7=	0,36	Lambda=	1,89	β=	1,35	Z8=	0,36	Lambda=	1,90	β=	1,36	Z9=	0,36	Lambda=	1,91	β=	1,36	Z10=	0,36	Lambda=	1,92	β=	1,37	Z11=	0,36	Lambda=	1,93	β=	1,37
Z0=	1																																																																										
Lambda=	0,68																																																																										
β=	0,95																																																																										
Z1=	0,51																																																																										
Lambda=	1,34																																																																										
β=	1,11																																																																										
Z2=	0,44																																																																										
Lambda=	1,57																																																																										
β=	1,20																																																																										
Z3=	0,40																																																																										
Lambda=	1,70																																																																										
β=	1,26																																																																										
Z4=	0,38																																																																										
Lambda=	1,78																																																																										
β=	1,30																																																																										
Z5=	0,37																																																																										
Lambda=	1,83																																																																										
β=	1,32																																																																										
Z6=	0,37																																																																										
Lambda=	1,86																																																																										
β=	1,34																																																																										
Z7=	0,36																																																																										
Lambda=	1,89																																																																										
β=	1,35																																																																										
Z8=	0,36																																																																										
Lambda=	1,90																																																																										
β=	1,36																																																																										
Z9=	0,36																																																																										
Lambda=	1,91																																																																										
β=	1,36																																																																										
Z10=	0,36																																																																										
Lambda=	1,92																																																																										
β=	1,37																																																																										
Z11=	0,36																																																																										
Lambda=	1,93																																																																										
β=	1,37																																																																										

$$\begin{aligned} Z12 &= 0,35 \\ \text{Lambda} &= 1,93 \\ \beta &= 1,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z13 &= 0,35 \\ \text{Lambda} &= 1,93 \\ \beta &= 1,37 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z14 &= 0,35 \\ \text{Lambda} &= 1,93 \\ \beta &= 1,37 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta/z = z^*Kr \cdot \beta$

$$((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) = 71,66$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,014$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3000 \\ Y_0 &= 8 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$
Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 281,25$$

$$\beta/z = 3,88$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 72,55$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 71,66$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.000,00 \\ Y_0 &= 8,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 281,25$$

E

$$\beta/z = 3,88$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 72,55$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.000,00 \\ Y_0 &= 8,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.443,06$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.000,00 \\ Y_0 &= 8,00 \\ C_2 &= 232,56 \\ Kr &= 572,57 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 1.860,47 \\ 2^*Kr/C_2 &= 4,92 \end{aligned}$$

$$A^*S = 51,53$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1443,06$$

$$\mu^*Alr = 1391,53$$

$$ReqS = 391,62$$

$$f_{s_{100}} \text{ (KPa)} = 189,99$$

$$f_{s_{100}} \text{ (MPa)} = 0,19$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 19,18$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1391,53$$

$$\text{e } (\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$$

$$72,55$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 3.254,58 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 9,50 \end{aligned}$$

$$P_{rech} = 1811,52$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 4,63$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 3.203,05$$

$$L = 5,90$$

$$P_{rech} = 1811,52$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$

$$N \text{ (Média)} = 2.507,28$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 4,38$$

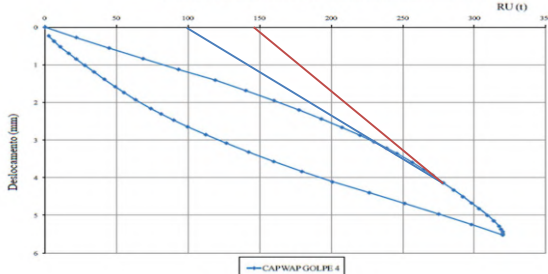
	9,00	9,50	0,50	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
Qu= Carga máxima mobilizada	3.254,58			
r_m	16,00			
r_o	0,16			
ζ	4,64			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,0715			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$				
Temos que $1,07 * P_L = P_{rocha}$				
$P_L =$	1.690,59			
$P_p =$	120,93			
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$				
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	217,10			
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,22			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	69,90			
Q/w	4,84			
Temos então que $Req5 = 4,84 * E$				
E (MPa) =	80,96			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS) =	3.203,05			
$L_{solo} =$	5,90			
$L_{rocha} =$	8,00			
$P_{rocha} =$	1811,52			
$P_p =$	120,93			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$				
N (Média) =	2.507,28			
ΔL_{solo} (mm) =	4,38			
N (Média) =	966,22			
ΔL_{rocha} (mm) =	4,00			
ΔL_{total} (mm) =	8,38			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	5,12			
E para $Req5 = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
Req5 =	353,74			
E (MPa) =	73,13			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,64			
E (MPa) =	80,96			
$G_s =$	33.731,90			
$P_{rocha} =$	1.811,52			
Lambda =	758,93			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0668			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1/r_o) * (2/q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0018			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	8,00			
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0046			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0046			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca E 2133

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	1,50	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$	
L _{rocha} (m)	5,10	E (KN/m²)	2,6E+07		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)				Kr ₁ (KN/mm)	2.252,09

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Areia Pernambuco - Raiz D410mm - E2133



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	1000	1450	
x2	2800	2800	
y1	0	0	
y2	4,32	4,32	
m	0,0024	0,0032	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2,4	-4,64	$n = y - mx$
Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	1000	0	
	1000	0	
	2800	4,32	
Reta Vermelha	1450	0	
	1450	0	
	2800	4,32	

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.136,00	
Alr(kN)=	1558,10	49,68%
P _r (kN)=	1432,75	45,69%
P _r (kN)=	145,15	4,63%
AS=	0,00	
f _{s100k} (MPa)=	0,29	
f _{s300k} (MPa)=	0,81	
E=	103,36	

Isolando a variável X

$$y = 0,0024x - 2,4$$

$$x = 1000 + 416,67y$$

$$C_1 = 1.000,00$$

$$C_2 = 416,67$$

$$y = 0,0032x - 5,64$$

$$x = 1450 + 312,5y$$

$$C_1 = 1.450,00$$

$$C_2 = 312,50$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} =$$

$$\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 362,85$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 416,67$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,16
β=	0,82
Z1=	0,23
Lambda=	0,72
β=	0,81
Z2=	0,23
Lambda=	0,70
β=	0,80
Z3=	0,23
Lambda=	0,70
β=	0,80
Z4=	0,23
Lambda=	0,70
β=	0,80
Z5=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z6=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z7=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z8=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z9=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z10=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80

Z11=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z12=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z13=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80
Z14=	0,23
Lambda=	0,69
β=	0,80

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 121,92$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,008$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2800 \\ Y_0 &= 4,32 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 416,67$$

E

$$\beta / z = 3,42$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 121,92$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 121,92$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 4,32 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 416,67$$

E

$$\beta / z = 3,42$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 121,92$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 4,32 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 1.558,10$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 4,32 \\ C_2 &= 312,50 \\ Kr &= 2.252,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 * Y_0 &= 1.350,00 \\ 2 * Kr / C_2 &= 14,41 \end{aligned}$$

$$A * S = 0,00$$

$$\mu * Alr + A * S = 1558,10$$

$$\mu * Alr = 1558,10$$

$$ReqS = 362,85$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (KPa)} = 806,85$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (MPa)} = 0,81$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 12,78$$

$$\text{Como } \mu * Alr =$$

$$1558,10 \text{ e } (\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$$

$$121,92$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 3.136,00 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 5,40 \end{aligned}$$

$$P_{rech} = 1577,90$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 4,35$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} =$$

$$\text{Adesão (AS)} = 3.136,00$$

$$L = 1,50$$

$$P_{rech} = 1577,90$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

N (Média)=	2.356,95				
ΔL(mm)=	1,05				
	5,40	5,40	0,00	Ok	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.136,00				
r_m	10,20				
r_o	0,16				
ζ	4,19				
Como $W_p = W_s = W$		Expressão de Randolp= $R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$			
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4 * r_o = Alr * qsi / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p/P_l=$	0,1013				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,1*PL = Procha$					
$P_l=$	1.432,75				
$P_p=$	145,15				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	288,61				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,29				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o/[2*(1+0,2)]=$					
Depois o valor de $4/(1-0,2)=$					
Depois $2*3,14*L/qsi*r_o=$					
Q/w	3,51				
Temos então que $ReqS = 3,51 * E$					
E (MPa)=	103,36				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$					
$L_{rocha} =$					
$P_{rocha}=$					
$P_p=$					
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.356,95				
ΔL _{solo} (mm)=	1,05				
N (Média)=	861,52				
ΔL _{rocha} (mm)=	2,28				
ΔL _{total} (mm)=	3,32				
O recalque na ponta ficticia					
(entre solo e rocha)=	4,35				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta ficticia}$					
ReqS=	362,45				
E (MPa)=	103,25				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,19				
E (MPa)=	103,36				
$G_s=$	43.068,73				
$P_{rocha}=$	1.577,90				
Lambda=	594,40				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)+[(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_o)])$					
$Q_u/Q =$					
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u/(r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o)*(2/qsi*lambda)$					
$\mu =$					
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z=$					
$w (z = L_{rocha}) =$					
Para z igual a 0					
$z=$					
$w (z=0) =$					
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					

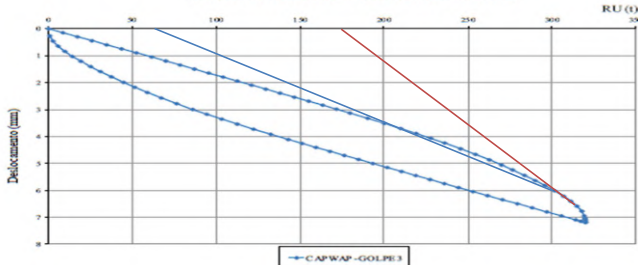


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARILIA DANTAS

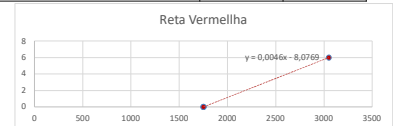
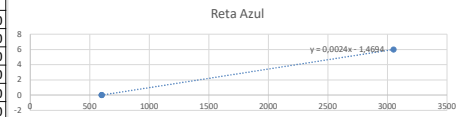
MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca E 3062

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	1,00	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$	
L _{rocha} (m)	4,90	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)				Kr ₁ (KN/mm)	3.378,14

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
Arena Pernambuco - Raiz Ø41cm - E3062



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	600	1750	
x2	3050	3050	
y1	0	0	
y2	6,00	6,00	
m	0,0024	0,0046	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-1,44	-8,05	$n = y - mx$
Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	600	0	
	600	0	
	3050	6,00	
Reta Vermelha	1750	0	
	1750	0	
	3050	6,00	



Isolando a variável X

$$y = 0,0024x - 1,44$$

$$x = 600 + 416,67y$$

$$C_1 = 600,00$$

$$C_2 = 416,67$$

$$y = 0,0046x - 8,05$$

$$x = 1750 + 217,39y$$

$$C_1 = 1.750,00$$

$$C_2 = 217,39$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{2 * Kr} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

$$\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 232,34$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 416,67$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,07
β =	0,79
Z1=	0,16
Lambda=	0,44
β =	0,56
Z2=	0,22
Lambda=	0,31
β =	0,49
Z3=	0,25
Lambda=	0,28
β =	0,49
Z4=	0,25
Lambda=	0,27
β =	0,49
Z5=	0,25
Lambda=	0,27
β =	0,49
Z6=	0,25
Lambda=	0,27
β =	0,49
Z7=	0,25
Lambda=	0,27
β =	0,49

Z8=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z9=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z10=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z11=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z12=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z13=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49
Z14=	0,25
Lambda=	0,27
β=	0,49

Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta' / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) = 216,91$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta' / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,005$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3050 \\ Y_0 &= 6 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = 408,33$$

E

$$\beta' / z = 1,92$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 212,57$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 216,91$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.050,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = 408,33$$

E

$$\beta' / z = 1,92$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 212,57$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 216,91$$

Os valores são aproximadamente iguais porém não são satisfatórios

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.050,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

$$\frac{1 / ReqS + 1 / Kr}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/kr = 1/C2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr * C2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr / C2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr / C2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = C1 / (1 - (C2 / (2 * Kr)))$$

$$\mu * Alr + A * S = 1.808,18$$

Substituindo na equação, temos

$$P_0 = 3.050,00$$

Y ₀ =	6,00				
C ₂ =	217,39	C ₂ *Y ₀ =	1.304,35		
Kr=	3.378,14	2*Kr/C ₂ =	31,08		
A*S=	135,13				
μ*Alr + A*S =	1808,18				
μ*Alr =	1673,05				
ReqS=	232,34				
f _{s_solo} (KPa)	1404,52				
f _{s_solo} (MPa)	1,40				
Utilizando as expressões μ*Alr e μ*Alr/μ*Y ₁ , temos que μ*Y ₁					
μ*Y ₁ =	7,87	Como μ*Alr =	1673,05	e (μ*Alr)/(μ*Y ₁)=	212,57
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.136,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,10				
P _{rocha} =	1327,82				
Deslocamento no topo=	5,71				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.000,87				
L=	1,00				
P _{rocha} =	1327,82				
Calculando o encurtamento do fuste, ΔL = N*L/E*A					
N (Média)=	2.164,35				
ΔL(mm)=	0,64				
	6,36	7,10	0,74	Revisar	

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura) E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que W_p = W_s = W

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada	3.136,00
r _m	9,80
r _o	0,16
ζ	4,15

Como W_p = W_s = W

Logo (1 - 0,2)*P_p/4 *r_o = Alr * qsi / 2*3,14*L

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L

P_p/P_L= 0,1044

Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão P_p + P_L = P_{rocha}

Temos que 1,1*P _L = Procha	1,10
P _L =	1.202,26
P _p =	125,56

Passamos a calcular o f_{s_rocha}

f _{s_rocha} (KPa)	252,06
f _{s_rocha} (MPa)	0,25

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a contantes	
r _o /[2*(1+0,2)]=	0,06
Depois o valor de 4/(1-0,2)=	5,00
Depois 2*3,14*L/qsi*r _o =	47,88
Q/w	3,41

Temos então que ReqS = 3,41*E	
E (MPa)=	68,04

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada -	3.000,87
Adesão (AS)=	
L _{solo} =	1,00
L _{rocha} =	4,90
P _{rocha} =	1327,82
P _p =	125,56

Calculando o encurtamento do fuste, ΔL_{solo} = N*L/E*A

N (Média)=	2.164,35
ΔL _{solo} (mm)=	0,64

N (Média)=	726,69
ΔL _{rocha} (mm)=	1,84

ΔL _{total} (mm)=	2,48
---------------------------	------

O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha)=

E para ReqS = P_{rocha} / Recalque na ponta fictícia

ReqS=	205,57
E (MPa)=	60,20

Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,15
E (MPa)=	68,04
G _s =	28.348,60
P _{rocha} =	1.327,82
Lambda=	903,04

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_0/Q = (4 / 0,8) / [(4/0,8) + [(2*3,14*L_{rocha}) / (qsi*r_o)]]$$

$$Q_0/Q = 0,0946$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_0/(r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o μ = (1/r_o)*(2/qsi*lambda)

$$\mu = 0,0017$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 4,90$$

$$w (z = L_{rocha}) = 0,0057$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w (z=0) = 0,0057$$

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left(\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right)$$

Como $w_0 = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.

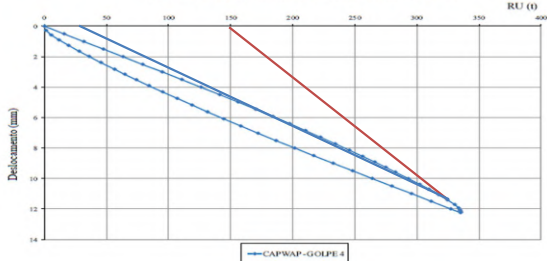


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO Estaca E 84A

Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	11,00	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	6,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			
		Kr ₁ = ES / L _{solo} = (E * (π * r²))/4*L solo	
		Kr ₁ (KN/mm)	307,10

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E84-A



Cálculo da Equação da Reta

	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	235	1500
x2	3158	3158
y1	0	0
y2	11,11	11,11
m	0,0038	0,0067
n	-0,893	-10,05

Plotagem das Retas

	X	Y
Reta Azul	235	0
	3158	11,11
Reta Vermelha	1500	0
	3158	11,11

Isolando a variável X

$$y = 0,0038x - 0,893$$

$$x = 235 + 263,16y$$

$$C_1 = 235,00$$

$$C_2 = 263,16$$

$$y = 0,0067x - 10,05$$

$$x = 1500 + 149,25y$$

$$C_1 = 1500,00$$

$$C_2 = 149,25$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * Z * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 290,38$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 263,16$$

E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,95$$

$$\beta = 0,99$$

$$Z1 = 0,86$$

$$\lambda = 1,10$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z2 = 0,84$$

$$\lambda = 1,12$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z3 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z4 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z5 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z6 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z7 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z8 = 0,84$$

$$\lambda = 1,13$$

$$\beta = 1,02$$

$$Z9 = 0,84$$

$$\begin{aligned}\text{Lambda} &= 1,13 \\ \beta &= 1,02\end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 215,52$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,005$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 3157,59 \\ Y_0 &= 11,11\end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 263,16$$

E

$$\beta / z = 1,22$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 215,52$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 215,52$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 3.157,59 \\ Y_0 &= 11,11\end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 263,16$$

E

$$\beta / z = 1,22$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 215,52$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned}P_0 &= 3.157,59 \\ Y_0 &= 11,11\end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1 / ReqS + 1 / Kr}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1 / C_2}{1 / C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 1.981,51$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned}P_0 &= 3.157,59 \\ Y_0 &= 11,11\end{aligned}$$

$$C_2 = 149,25$$

$$Kr = 307,10$$

$$C_2 * Y_0 =$$

$$1.657,59$$

$$2 * Kr / C_2 =$$

$$4,12$$

$$A * S = 0,00$$

$$\mu * Alr + A * S = 1981,51$$

$$\mu * Alr = 1981,51$$

ReqS=	290,38				
f _{Ssolo} (KPa)	139,92				
f _{Ssolo} (MPa)	0,14				
Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1					
μ^*Y_1 =	9,19	Como μ^*Alr =	1981,51	e $(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)$ =	215,52
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.283,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	12,10				
P _{rocha} =	1301,49				
Deslocamento no topo=	4,48				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.283,00				
L=	11,00				
P _{rocha} =	1301,49				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$					
N (Média)=	2.292,24				
ΔL (mm)=	7,46				
	11,95	12,10	0,15	Ok	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.283,00	Expressão de Randolph=	$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_0 E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_0} \right]$		
r _m	12,00				
r _o	0,16				
ξ	4,35				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2)^*P_p/4^*r_o = Alr^*qsi / 2^*3,14^*L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
P_p/P_l =	0,0895				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,09^*P_l = Procha$	1,09				
P_l =	1.194,62				
P_p =	106,86				
Passamos a calcular o f _{Srocha}					
f _{Srocha} (KPa)	204,54				
f _{Srocha} (MPa)	0,20				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
constantes $r_o/[2^*(1+0,2)]$ =	0,06				
Depois o valor de $4/(1-0,2)$ =	5,00				
Depois $2^*3,14^*L/qsi^*r_o$ =	55,89				
Q/w	3,93				
Temos então que ReqS = 3,93^*E					
E (MPa)=	73,84				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.283,00				
L _{solo} =	11,00				
L _{rocha} =	6,00				
P _{rocha} =	1301,49				
P _p =	106,86				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N^*L/E^*A$					
N (Média)=	2.292,24				
ΔL_{solo} (mm)=	7,46				
N (Média)=	704,18				
ΔL_{rocha} (mm)=	2,19				
ΔL_{total} (mm)=	9,65				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	4,64				
E para ReqS = P _{rocha} / Recalque na ponta fictícia					
ReqS=	280,74				
E (MPa)=	71,39				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ξ	4,35				
E (MPa)=	73,84				
G _i =	30.765,19				
P _{rocha} =	1.301,49				
Lambda=	832,11				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_0/Q = (4/0,8)/[(4/0,8)+[(2^*3,14^*L_{rocha})/(qsi^*r_o)]]$					
Q_0/Q =	0,0821				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_0/(r_o^*G_i)]^* (0,8/4)^* \cosh [\mu^*(L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o)^*(2/qsi^*lambda)$					
μ =	0,0018				
Para z igual ao comprimento da rocha					
z=	6,00				
w (z = L _{rocha}) =	0,0045				
Para z igual a 0					
z=	0,00				
w (z=0)=	0,0045				
Como $w_0 = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																	
Estaca E 102A																																																																	
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																														
L _{solo} (m)	9,90	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 341,23																																																													
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	2,6E+07																																																														
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																														
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																														
L (m)																																																																	
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E102-A																																																																	
Cálculo da Equação da Reta			Resultado																																																														
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 3.504,48																																																														
x1	700	1330	Alr(kN)= 1994,07 56,90%																																																														
x2	3428	3428	P ₁ (kN)= 1369,55 39,08%																																																														
y1	0	0	P ₂ (kN)= 140,85 4,02%																																																														
y2	9,28	9,28	AS= -182,90																																																														
m	0,0034	0,0044	fs _{rocha} (MPa)= 0,28																																																														
n	-2,38	-5,852	fs _{solo} (MPa)= 0,16																																																														
			E= 196,54																																																														
Plotagem das Retas																																																																	
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																															
	X	Y																																																															
	700	0																																																															
	700	0																																																															
	3500	9,28																																																															
	1330	0																																																															
	1330	0																																																															
	3500	9,28																																																															
Isolando a variável X																																																																	
y=0,0034x - 2,38			y=0,0044x - 5,852																																																														
x=700+294,12y			x=1330+227,27y																																																														
	C ₁ =	700,00		C ₁ =	1.330,00																																																												
	C ₂ =	294,12		C ₂ =	227,27																																																												
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1))}{Y_0 - \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * W_2}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 680,55 Voltando a Reta Azul, tem-se que: z * Kr * β = 294,12 E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td style="background-color: yellow;">1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,99</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,09</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td style="background-color: yellow;">0,79</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,53</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td style="background-color: yellow;">0,72</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,77</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td style="background-color: yellow;">0,69</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,89</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,28</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td style="background-color: yellow;">0,67</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,96</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td style="background-color: yellow;">0,67</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,00</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,30</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td style="background-color: yellow;">0,66</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,02</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td style="background-color: yellow;">0,66</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,03</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td style="background-color: yellow;">0,66</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,04</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td style="background-color: yellow;">0,66</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,04</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,31</td> </tr> </table> Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$ <math>(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 146,79</math> Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ b= 0,007						Z0=	1	Lambda=	1,99	β=	1,09	Z1=	0,79	Lambda=	2,53	β=	1,20	Z2=	0,72	Lambda=	2,77	β=	1,25	Z3=	0,69	Lambda=	2,89	β=	1,28	Z4=	0,67	Lambda=	2,96	β=	1,30	Z5=	0,67	Lambda=	3,00	β=	1,30	Z6=	0,66	Lambda=	3,02	β=	1,31	Z7=	0,66	Lambda=	3,03	β=	1,31	Z8=	0,66	Lambda=	3,04	β=	1,31	Z9=	0,66	Lambda=	3,04	β=	1,31
Z0=	1																																																																
Lambda=	1,99																																																																
β=	1,09																																																																
Z1=	0,79																																																																
Lambda=	2,53																																																																
β=	1,20																																																																
Z2=	0,72																																																																
Lambda=	2,77																																																																
β=	1,25																																																																
Z3=	0,69																																																																
Lambda=	2,89																																																																
β=	1,28																																																																
Z4=	0,67																																																																
Lambda=	2,96																																																																
β=	1,30																																																																
Z5=	0,67																																																																
Lambda=	3,00																																																																
β=	1,30																																																																
Z6=	0,66																																																																
Lambda=	3,02																																																																
β=	1,31																																																																
Z7=	0,66																																																																
Lambda=	3,03																																																																
β=	1,31																																																																
Z8=	0,66																																																																
Lambda=	3,04																																																																
β=	1,31																																																																
Z9=	0,66																																																																
Lambda=	3,04																																																																
β=	1,31																																																																

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:				
	$P_0 =$	3500		
	$Y_0 =$	9,28		
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^* Alr^* (\beta'/z) * (Y_0/\mu^* Y_1) + A^* S^* W_2$				
Reestruturando temos $\mu^* Alr^* \beta'/(z^* Y_1) = (P_0 - A^* S^* W_2)/Y_0$				
	$\mu^* Alr^* \beta'/(z^* Y_1) =$	301,72		
E	$\beta'/z =$	2,00		
Dessa forma tem-se				
	$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) =$	150,58		
Entretanto, sabendo que $\mu^* Y_1 = \mu^* Alr^* b$ temos que $1/b = (\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1)$				
	$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) =$	146,79		
Os valores são próximos mas não são iguais.				
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:				
	$P_0 =$	3.500,00		
	$Y_0 =$	9,28		
Pela Reta Azul				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^* Alr^* (\beta'/z) * (Y_0/\mu^* Y_1) + A^* S^* W_2$				
Reestruturando temos $\mu^* Alr^* \beta'/(z^* Y_1) = (P_0 - A^* S^* W_2)/Y_0$				
	$\mu^* Alr^* \beta'/(z^* Y_1) =$	301,72		
E	$\beta'/z =$	2,00		
Dessa forma tem-se				
	$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) =$	150,58		
Pela reta vermelha				
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:				
	$P_0 =$	3.500,00		
	$Y_0 =$	9,28		
$P_0 = (\mu^* Alr + A^* S) \cdot \frac{(\mu^* Alr + 2 \cdot A^* S)}{2^* Kr} + \frac{Y_0^* 1}{1/ReqS + 1/Kr}$				
$P_0 - (\mu^* Alr + A^* S) \cdot \frac{Y_0^* 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^* Alr + 2 \cdot A^* S)}{2^* Kr}$				
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C2$				
Então,				
$P_0 - (\mu^* Alr + A^* S) \cdot \frac{Y_0^* 1}{1/C2} = \frac{(\mu^* Alr + 2 \cdot A^* S)}{2^* Kr}$				
$(P_0 - (\mu^* Alr + A^* S) + Y_0^* C2) \cdot 2Kr^* C2 = (\mu^* Alr + 2 \cdot A^* S)$				
$(P_0 - (\mu^* Alr + A^* S) + Y_0^* C2) \cdot 2Kr/C2 = (\mu^* Alr + A^* S + A^* S)$				
$(P_0 - (\mu^* Alr + A^* S) + Y_0^* C2) \cdot 2Kr/C2 - (\mu^* Alr + A^* S) = A^* S$				
Primeiro, sabendo que				
	$(\mu^* Alr + A^* S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2	
	$\mu^* Alr + A^* S =$	1.994,07		
Substituindo na equação, temos				
	$P_0 =$	3.500,00		
	$Y_0 =$	9,28		
	$C_2 =$	227,27	$C_2^* Y_0 =$	2.109,09
	$Kr =$	341,23	$2^* Kr/C_2 =$	3,00
	$A^* S =$	-182,90		
	$\mu^* Alr + A^* S =$	1994,07		
	$\mu^* Alr =$	1994,07		
	$ReqS =$	680,55		
	$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	156,46		
	$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,16		
Utilizando as expressões $\mu^* Alr$ e $\mu^* Alr/\mu^* Y_1$, temos que $\mu^* Y_1$				
	$\mu^* Y_1 =$	13,24	Como $\mu^* Alr =$	1994,07 e $(\mu^* Alr)/(\mu^* Y_1) =$
				150,58
Para a maior carga e o maior recalque, temos				
	Carga máxima mobilizada=	3.504,48		
	Recalque da carga máxima mobilizada=	10,30		
	$P_{procha} =$	1510,41		
	Deslocamento no topo=	2,22		
	Carga máxima mobilizada -			
	Adesão (AS)=	3.504,48		
	L=	9,90		
	$P_{rocha} =$	1510,41		
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^* L/E^* A$				
	N (Média)=	2.507,44		
	ΔL (mm)=	7,35		
		9,57	10,30	0,73
				Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
	Qu= Carga máxima mobilizada	3.504,48		
	r_m	10,00		
	r_o	0,16		
	ζ	4,17		
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = Alr^* qsi / 2^* 3,14^* L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
	$P_p/P_L =$	0,1028		
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{procha}$				
	Temos que $1,1^* PL = Procha$	1,10		
	$P_L =$	1.369,55		
	$P_o =$	140,85		
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$				
	$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	281,40		
	$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,28		

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a	
contantes $r_o/[2*(1+0,2)]$ =	0,06
Depois o valor de $4/(1-0,2)$ =	5,00
Depois $2*3,14*L/qsi*r_o$ =	48,62
Q/w	3,46
Temos então que $ReqS = 3,46*E$	
E (MPa)=	196,54

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada -	3.504,48
Adesão (AS)=	
L_{solo} =	9,90
L_{rocha} =	5,00
P_{rocha} =	1510,41
P_p =	140,85
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$	
N (Média)=	2.507,44
$\Delta L_{solo}(mm)$ =	7,35
N (Média)=	825,63
$\Delta L_{rocha}(mm)$ =	2,14
$\Delta L_{total}(mm)$ =	9,49

O recalque na ponta fictícia
(entre solo e rocha)= 2,95

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

ReqS=	511,71
E (MPa)=	147,78

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa)=	196,54
G_s =	81.889,88
P_{rocha} =	1.510,41
Lambda=	312,61

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u/Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + [(2*3,14*L_{rocha}) / (qsi*r_o)])$$

$$Q_u/Q = 0,0933$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u/(r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o $\mu = (1/r_o) * (2/qsi*lambda)$

$$\mu = 0,0050$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 5,00$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0022$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0022$$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																									
Estaca E 3051																																																																									
Dados																																																																									
L _{solo} (m)	1,50	Fck (KN/m²)	20000	Calculando o Kr1 com os dados de entrada $Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 2.252,09																																																																					
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000																																																																						
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																						
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																						
L (m)																																																																									
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E3051																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center; background-color: #cccccc;">Cálculo da Equação da Reta</th> </tr> <tr> <th></th> <th style="background-color: #005596; color: white;">Reta Azul</th> <th style="background-color: #cc0000; color: white;">Reta Vermelha</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>x1</td> <td>600</td> <td>1020</td> <td></td> </tr> <tr> <td>x2</td> <td>2910</td> <td>2910</td> <td></td> </tr> <tr> <td>y1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>y2</td> <td>6,24</td> <td>6,24</td> <td></td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>0,0027</td> <td>0,0033</td> <td>$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$</td> </tr> <tr> <td>n</td> <td>-1,62</td> <td>-3,366</td> <td>$n = y - mx$</td> </tr> </tbody> </table>						Cálculo da Equação da Reta					Reta Azul	Reta Vermelha		x1	600	1020		x2	2910	2910		y1	0	0		y2	6,24	6,24		m	0,0027	0,0033	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$	n	-1,62	-3,366	$n = y - mx$																																				
Cálculo da Equação da Reta																																																																									
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																							
x1	600	1020																																																																							
x2	2910	2910																																																																							
y1	0	0																																																																							
y2	6,24	6,24																																																																							
m	0,0027	0,0033	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$																																																																						
n	-1,62	-3,366	$n = y - mx$																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; background-color: #cccccc;">Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carga máxima mobilizada (kN)=</td> <td>2.962,54</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Alr(kN)=</td> <td>1080,06</td> <td>36,46%</td> </tr> <tr> <td>P_r(kN)=</td> <td>1694,68</td> <td>57,20%</td> </tr> <tr> <td>P_p(kN)=</td> <td>174,29</td> <td>5,88%</td> </tr> <tr> <td>AS=</td> <td>13,51</td> <td>0,46%</td> </tr> <tr> <td>f_{s,rocha}(MPa)=</td> <td>0,35</td> <td></td> </tr> <tr> <td>f_{s,solo}(MPa)=</td> <td>0,57</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E=</td> <td>101,12</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						Resultado			Carga máxima mobilizada (kN)=	2.962,54		Alr(kN)=	1080,06	36,46%	P _r (kN)=	1694,68	57,20%	P _p (kN)=	174,29	5,88%	AS=	13,51	0,46%	f _{s,rocha} (MPa)=	0,35		f _{s,solo} (MPa)=	0,57		E=	101,12																																										
Resultado																																																																									
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.962,54																																																																								
Alr(kN)=	1080,06	36,46%																																																																							
P _r (kN)=	1694,68	57,20%																																																																							
P _p (kN)=	174,29	5,88%																																																																							
AS=	13,51	0,46%																																																																							
f _{s,rocha} (MPa)=	0,35																																																																								
f _{s,solo} (MPa)=	0,57																																																																								
E=	101,12																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center; background-color: #cccccc;">Plotagem das Retas</th> </tr> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #005596; color: white;">Reta Azul</td> <td>600</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2910</td> <td>6,24</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="background-color: #cc0000; color: white;">Reta Vermelha</td> <td>1020</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1020</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2910</td> <td>6,24</td> </tr> </tbody> </table>						Plotagem das Retas				X	Y	Reta Azul	600	0	600	0	2910	6,24	Reta Vermelha	1020	0	1020	0	2910	6,24																																																
Plotagem das Retas																																																																									
	X	Y																																																																							
Reta Azul	600	0																																																																							
	600	0																																																																							
	2910	6,24																																																																							
Reta Vermelha	1020	0																																																																							
	1020	0																																																																							
	2910	6,24																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center; background-color: #cccccc;">Isolando a variável X</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">$y = 0,0027x - 1,62$</td> <td colspan="2">$y = 0,0033x - 3,366$</td> </tr> <tr> <td colspan="2">$x = 600 + 370,37y$</td> <td colspan="2">$x = 1020 + 303,03y$</td> </tr> <tr> <td>C₁=</td> <td>600,00</td> <td>C₁=</td> <td>1.020,00</td> </tr> <tr> <td>C₂=</td> <td>370,37</td> <td>C₂=</td> <td>303,03</td> </tr> </tbody> </table>						Isolando a variável X				$y = 0,0027x - 1,62$		$y = 0,0033x - 3,366$		$x = 600 + 370,37y$		$x = 1020 + 303,03y$		C ₁ =	600,00	C ₁ =	1.020,00	C ₂ =	370,37	C ₂ =	303,03																																																
Isolando a variável X																																																																									
$y = 0,0027x - 1,62$		$y = 0,0033x - 3,366$																																																																							
$x = 600 + 370,37y$		$x = 1020 + 303,03y$																																																																							
C ₁ =	600,00	C ₁ =	1.020,00																																																																						
C ₂ =	370,37	C ₂ =	303,03																																																																						
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_1)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 350,14 Voltando a Reta Azul, tem-se que: $z * Kr * \beta =$ 370,37 E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$ <table style="width: 100%; margin-top: 20px;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,82</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,78</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,86</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,81</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,87</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,82</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,87</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,19</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,83</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>0,88</td> </tr> <tr> <td>Z11=</td> <td>0,19</td> </tr> </table>						Z0=	1	Lambda=	0,16	$\beta=$	0,82	Z1=	0,20	Lambda=	0,78	$\beta=$	0,84	Z2=	0,19	Lambda=	0,80	$\beta=$	0,86	Z3=	0,19	Lambda=	0,81	$\beta=$	0,87	Z4=	0,19	Lambda=	0,82	$\beta=$	0,87	Z5=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z6=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z7=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z8=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z9=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z10=	0,19	Lambda=	0,83	$\beta=$	0,88	Z11=	0,19
Z0=	1																																																																								
Lambda=	0,16																																																																								
$\beta=$	0,82																																																																								
Z1=	0,20																																																																								
Lambda=	0,78																																																																								
$\beta=$	0,84																																																																								
Z2=	0,19																																																																								
Lambda=	0,80																																																																								
$\beta=$	0,86																																																																								
Z3=	0,19																																																																								
Lambda=	0,81																																																																								
$\beta=$	0,87																																																																								
Z4=	0,19																																																																								
Lambda=	0,82																																																																								
$\beta=$	0,87																																																																								
Z5=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z6=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z7=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z8=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z9=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z10=	0,19																																																																								
Lambda=	0,83																																																																								
$\beta=$	0,88																																																																								
Z11=	0,19																																																																								

Lambda=	0,83				
β =	0,88				
Z12=	0,19				
Lambda=	0,83				
β =	0,88				
Z13=	0,19				
Lambda=	0,83				
β =	0,88				
Z14=	0,19				
Lambda=	0,83				
β =	0,88				
Sabendo que $((\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta/z = z \cdot Kr \cdot \beta$					
$(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	78,07				
Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta/(z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$					
b=	0,013				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	2910				
$Y_0 =$	6,24				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) =$	370,19				
E	$\beta/z =$	4,74			
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	78,03				
Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1)$					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	78,07				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.910,00				
$Y_0 =$	6,24				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) =$	370,19				
E	$\beta/z =$	4,74			
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	78,03				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.910,00				
$Y_0 =$	6,24				
$P_0 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S + A \cdot S)$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) = A \cdot S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1.093,57				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	2.910,00				
$Y_0 =$	6,24				
$C_2 =$	303,03	$C_2 \cdot Y_0 =$	1.890,91		
$Kr =$	2.252,09	$2 \cdot Kr/C_2 =$	14,86		
$A \cdot S =$	13,51				
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1093,57				
$\mu \cdot Alr =$	1080,06				
$ReqS =$	350,14				
$f_{s_{0,05}}$ (KPa)	566,30				
$f_{s_{0,05}}$ (MPa)	0,57				
Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr/\mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$					
$\mu \cdot Y_1 =$	13,84	Como $\mu \cdot Alr =$	1080,06	e $(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	78,03
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	2.962,54				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,10				
$P_{rocha} =$	1868,97				
Deslocamento no topo=	5,34				
Carga máxima mobilizada =					
Adesão (AS)=	2.949,03				
L=	1,50				
$P_{rocha} =$	1868,97				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L/E \cdot A$					
N (Média)=	2.409,00				
ΔL (mm)=	1,07				

6,41 7,10 0,69 Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

QU= Carga máxima mobilizada	2.962,54
r_m	10,00
r_o	0,16
ζ	4,17

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1+\mu)} \left[\frac{4}{(1-\mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$P_p / P_l =$ 0,1028

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$

Temos que $1,1 * P_l = P_{rocha}$ 1,10

$P_l =$ 1.694,68

$P_p =$ 174,29

Passamos a calcular o f_{srocha}

f_{srocha} (KPa) 348,20

f_{srocha} (MPa) 0,35

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$ 0,06

Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$ 5,00

Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$ 48,62

Q/w 3,46

Temos então que $ReqS = 3,46 * E$

E (MPa) = 101,12

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 2.949,03

Adesão (AS) =

$L_{solo} =$ 1,50

$L_{rocha} =$ 5,00

$P_{rocha} =$ 1868,97

$P_p =$ 174,29

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média) = 2.409,00

ΔL_{solo} (mm) = 1,07

N (Média) = 1.021,63

ΔL_{rocha} (mm) = 2,65

ΔL_{total} (mm) = 3,71

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha) = 6,03

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS =$ 309,93

E (MPa) = 89,50

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ 4,17

E (MPa) = 101,12

$G_s =$ 42.131,99

$P_{rocha} =$ 1.868,97

Lambda = 607,61

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$

$Q_u / Q =$ 0,0933

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$

$\mu =$ 0,0025

Para z igual ao comprimento da rocha

$z =$ 5,00

$w(z = L_{rocha}) =$ 0,0053

Para z igual a 0

$z =$ 0,00

$w(z=0) =$ 0,0053

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

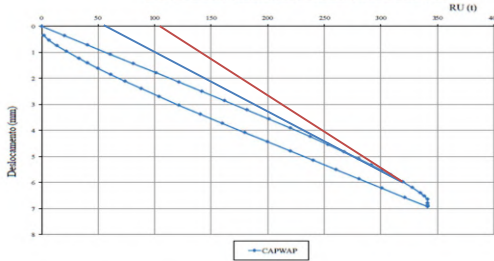
MEMÓRIA DE CÁLCULO

Estaca E 3062

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	2,30	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14	Kr ₁ (KN/mm)	
L (m)				1.468,76	

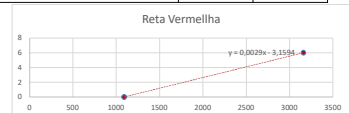
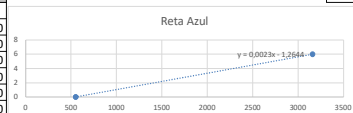
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO

CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E3079



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	550	1090	
x2	3160	3160	
y1	0	0	
y2	6,00	6,00	
m	0,0023	0,0029	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-1,265	-3,161	$n = y - mx$

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	550	0
	550	0
	3160	6,00
Reta Vermelha	1090	0
	1090	0
	3160	6,00



Isolando a variável X

$$y = 0,0023x - 1,265$$

$$x = 550 + 434,78y$$

$$C_1 = 550,00$$

$$C_2 = 434,78$$

$$y = 0,0029x - 3,161$$

$$x = 1090 + 344,83y$$

$$C_1 = 1.090,00$$

$$C_2 = 344,83$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 450,62$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 434,78$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,31
$\beta=$	0,87
Z1=	0,34
Lambda=	0,90
$\beta=$	0,95
Z2=	0,31
Lambda=	0,98
$\beta=$	0,99
Z3=	0,30
Lambda=	1,03
$\beta=$	1,01
Z4=	0,29
Lambda=	1,05
$\beta=$	1,03
Z5=	0,29
Lambda=	1,07
$\beta=$	1,04
Z6=	0,29
Lambda=	1,07
$\beta=$	1,04
Z7=	0,28
Lambda=	1,08
$\beta=$	1,04
Z8=	0,28
Lambda=	1,08
$\beta=$	1,05
Z9=	0,28
Lambda=	1,08
$\beta=$	1,05
Z10=	0,28
Lambda=	1,08
$\beta=$	1,05

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,28 \\ \text{Lambda} &= 1,09 \\ \beta &= 1,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{12} &= 0,28 \\ \text{Lambda} &= 1,09 \\ \beta &= 1,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{13} &= 0,28 \\ \text{Lambda} &= 1,09 \\ \beta &= 1,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{14} &= 0,28 \\ \text{Lambda} &= 1,09 \\ \beta &= 1,05 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 117,17$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,009$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3160 \\ Y_0 &= 6 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 435,00$$

E

$$\beta / z = 3,71$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 117,23$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 117,17$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.160,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 435,00$$

E

$$\beta / z = 3,71$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 117,23$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.160,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} \cdot \frac{1}{1 / C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 1.234,97$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.160,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= 344,83 \\ Kr &= 1.468,76 \end{aligned}$$

$$A * S = -8,81$$

$$\mu * Alr + A * S = 1234,97$$

$$\mu * Alr = 1234,97$$

$$ReqS = 450,62$$

$$\begin{aligned} C_2 * Y_0 &= 2.068,97 \\ 2 * Kr / C_2 &= 8,52 \end{aligned}$$

$$f_{s_{100}} \text{ (KPa)} = 417,08$$

$$f_{s_{100}} \text{ (MPa)} = 0,42$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$ temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 10,53$$

$$\text{Como } \mu * Alr = 1234,97$$

$$\text{e } (\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$$

$$117,23$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.342,78$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 5,40$$

$$P_{rech} = 2107,81$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 4,68$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 3.342,78$$

$$L = 2,30$$

$$P_{rech} = 2107,81$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

N (Média)=	2.725,29				
$\Delta L(\text{mm})=$	1,86				
	6,53	5,40	-	1,13	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
QU= Carga máxima mobilizada	3.342,78				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{\text{rocha}}$					
Temos que $1,1 * P_l = P_{\text{rocha}}$	1,10				
$P_l =$	1.911,25				
$P_p =$	196,56				
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$					
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	392,69				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,39				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_d / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	48,62				
Q/w	3,46				
Temos então que $\text{ReqS} = 3,46 * E$					
E (MPa)=	130,13				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	3.342,78				
Adesão (AS)=					
$L_{\text{solo}} =$	2,30				
$L_{\text{rocha}} =$	5,00				
$P_{\text{rocha}} =$	2107,81				
$P_p =$	196,56				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.725,29				
$\Delta L_{\text{solo}}(\text{mm})=$	1,86				
N (Média)=	1.152,19				
$\Delta L_{\text{rocha}}(\text{mm})=$	2,98				
$\Delta L_{\text{total}}(\text{mm})=$	4,84				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	3,54				
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	594,67				
E (MPa)=	171,74				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,17				
E (MPa)=	130,13				
$G_s =$	54.222,64				
$P_{\text{rocha}} =$	2.107,81				
Lambda=	472,13				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,0933				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh[\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0033				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	5,00				
$w(z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0047				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w(z=0) =$	0,0047				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS
TESE:

MEMÓRIA DE CÁLCULO				
Estaca E 3104				
Dados				
L _{solo} (m)	5,00	Fck (KN/m²)	20000	Calculando o Kr1 com os dados de entrada $Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr ₁ (KN/mm) 675,63
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000	
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075	
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14	
L (m)				

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E3104

→ CAPWAP

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.377,08	
Alr(kN)=	1234,20	36,55%
P _r (kN)=	1943,05	57,54%
P _r (kN)=	199,83	5,92%
AS=	-5,77	
f _{s100k} (MPa)=	0,40	
f _{s10k} (MPa)=	0,19	
E=	119,34	

Cálculo da Equação da Reta

	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	500	1000
x2	3286	3286
y1	0	0
y2	8,91	8,91
m	0,0032	0,0039
n	-1,6	-3,9

Plotagem das Retas

	X	Y
Reta Azul	500	0
	500	0
	3286	8,91
Reta Vermelha	1000	0
	1000	0
	3286	8,91

Reta Azul

$y = 0,0032x - 1,6$

Reta Vermelha

$y = 0,0039x - 3,9$

Isolando a variável X
 $y = 0,0032x - 1,6$
 $x = 500 + 312,5y$

$C_1 = 500,00$
 $C_2 = 312,50$

$y = 0,0039x - 3,9$
 $x = 1000 + 256,41y$

$C_1 = 1.000,00$
 $C_2 = 256,41$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_2) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
 Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_2)$
 A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
 Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS= 413,24

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * Kr * \beta =$ 312,50

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,61
β=	0,94
Z1=	0,49
Lambda=	1,24
β=	1,08
Z2=	0,43
Lambda=	1,43
β=	1,16
Z3=	0,40
Lambda=	1,54
β=	1,21
Z4=	0,38
Lambda=	1,60
β=	1,24
Z5=	0,37
Lambda=	1,64
β=	1,26
Z6=	0,37
Lambda=	1,67
β=	1,27
Z7=	0,36
Lambda=	1,68
β=	1,28
Z8=	0,36
Lambda=	1,69
β=	1,29
Z9=	0,36
Lambda=	1,70
β=	1,29
Z10=	0,36
Lambda=	1,70
β=	1,29

Z11=	0,36
Lambda=	1,71
β =	1,29
Z12=	0,36
Lambda=	1,71
β =	1,29
Z13=	0,36
Lambda=	1,71
β =	1,29
Z14=	0,36
Lambda=	1,71
β =	1,29

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta^2/z = z^*Kr \cdot \beta$

$$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) = 86,27$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta^2/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta^2/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,012$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3285,71 \\ Y_0 &= 8,91 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta^2/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta^2/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta^2/(z^*Y_1) = 312,65$$

E

$$\beta^2/z = 3,62$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 86,31$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 86,27$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.285,71 \\ Y_0 &= 8,91 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta^2/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta^2/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta^2/(z^*Y_1) = 312,65$$

E

$$\beta^2/z = 3,62$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 86,31$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 86,27$$

Os valores são aproximadamente iguais porém não são satisfatórios

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.285,71 \\ Y_0 &= 8,91 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{-(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) \cdot 2Kr/C_2 \cdot (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.234,20$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.285,71 \\ Y_0 &= 8,91 \end{aligned}$$

$$C_2 = 256,41$$

$$Kr = 675,63$$

$$C_2^*Y_0 =$$

$$2.284,62$$

$$2^*Kr/C_2 =$$

$$5,27$$

$$A^*S = -5,77$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1234,20$$

$$\mu^*Alr = 1234,20$$

$$ReqS = 413,24$$

$$f_{s_{solo}} (KPa) = 191,73$$

$$f_{s_{solo}} (MPa) = 0,19$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 14,30$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1234,20$$

$$\text{e } (\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$$

$$86,31$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.377,08$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 9,80$$

$$P_{mchb} = 2142,88$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 5,19$$

Carga máxima mobilizada - 3.377,08

Adesão (AS)= 5,00

L= 2142,88

P_{rocha}=

Calculando o encurtamento do fuste, ΔL = N*L/E*A

N (Média)= 2.759,98

ΔL(mm)= 4,09

9,27

9,80

0,53

Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que W_p = W_s =W

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada 3.377,08

r_m 10,00

r_o 0,16

ζ 4,17

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

Como W_p = W_s =W

Logo (1 - 0,2)*P_p/4 *r_o = Alr * qsi / 2*3,14*L

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L

P_p/P_L= 0,1028

Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão P_p + P_L = P_{rocha}

Temos que 1,1*PL = Procha

P_L= 1.943,05

P_o= 199,83

Passamos a calcular o fs_{rocha}

fs_{rocha} (KPa) 399,23

fs_{rocha} (MPa) 0,40

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes r_o/(2*(1+0,2))= 0,06

Depois o valor de 4/(1-0,2)= 5,00

Depois 2*3,14*L/qsi*r_o= 48,62

Q/w 3,46

Temos então que ReqS = 3,46*E

E (MPa)= 119,34

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 3.377,08

Adesão (AS)= 5,00

L_{solo} = 5,00

L_{rocha} = 5,00

P_{rocha}= 2142,88

P_p= 199,83

Calculando o encurtamento do fuste, ΔL_{solo} = N*L/E*A

N (Média)= 2.759,98

ΔL_{solo}(mm)= 4,09

N (Média)= 1.171,36

ΔL_{rocha}(mm)= 3,03

ΔL_{total}(mm)= 7,12

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha)= 5,71

E para ReqS = P_{rocha} / Recalque na ponta fictícia

ReqS= 374,96

E (MPa)= 108,29

Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ 4,17

E (MPa)= 119,34

G_s= 49.724,74

P_{rocha}= 2.142,88

Lambda= 514,83

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

Q_o/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)*{(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_o)}])

Q_o/Q = 0,0933

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

w(z) = [Q_o/(r_o * G_s)]* (0,8/4) * cosh [μ*(L_{rocha} - z)]

Calculando o μ = (1/r_o)*(2/qsi*lambda)

μ = 0,0030

Para z igual ao comprimento da rocha

z= 5,00

w (z = L_{rocha}) = 0,0052

Para z igual a 0

z= 0,00

w (z=0)= 0,0052

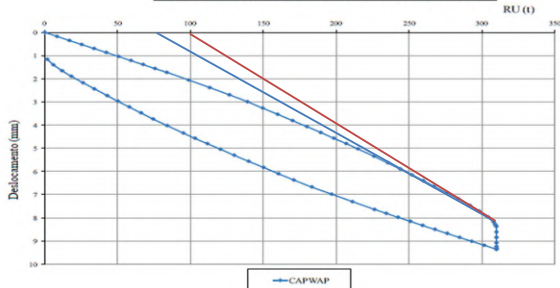
Como w_o = w(z=0), temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

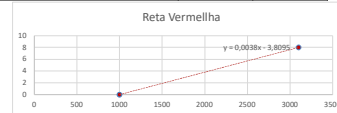
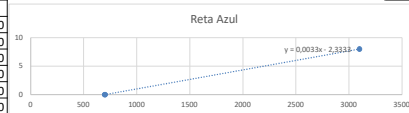
MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 3092					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	3,10	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000	Kr ₁ (KN/mm)	
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075	1.089,72	
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E3092



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	700	1000	
x2	3100	3100	
y1	0	0	
y2	8,00	8,00	
m	0,0033	0,0038	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2,31	-3,8	$n = y - mx$
Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	700	0	
	3100	8,00	
	3100	8,00	
Reta Vermelha	1000	0	
	3100	8,00	
	3100	8,00	

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.038,00	
Alr(kN)=	1093,74	36,00%
P ₁ (kN)=	1723,43	56,73%
P ₂ (kN)=	177,25	5,83%
AS=	43,59	1,43%
f _{s,rocha} (MPa)=	0,35	
f _{s,solo} (MPa)=	0,28	
E=	100,19	
E (retro-análise)=	89,19	



Isolando a variável X

$$y = 0,0033x - 2,31$$

$$x = 700 + 303,03y$$

$$C_1 = 700,00$$

$$C_2 = 303,03$$

$$y = 0,0038x - 3,8$$

$$x = 1000 + 263,16y$$

$$C_1 = 1.000,00$$

$$C_2 = 263,16$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{2 * K_r} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}$$

$$\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 346,94$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * K_r * \beta = 303,03$$

E sabendo que $\lambda = (Req5 / K_r) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 0,32$$

$$\beta = 0,87$$

$$Z1 = 0,32$$

$$\lambda = 1,00$$

$$\beta = 1,00$$

$$Z2 = 0,28$$

$$\lambda = 1,14$$

$$\beta = 1,08$$

$$Z3 = 0,26$$

$$\lambda = 1,24$$

$$\beta = 1,13$$

$$Z4 = 0,25$$

$$\lambda = 1,30$$

$$\beta = 1,17$$

$$Z5 = 0,24$$

$$\lambda = 1,34$$

$$\beta = 1,20$$

$$Z6 = 0,23$$

$$\lambda = 1,37$$

$$\beta = 1,22$$

$$Z7 = 0,23$$

$$\lambda = 1,40$$

$$\beta = 1,23$$

$$Z8 = 0,23$$

$$\lambda = 1,41$$

$$\beta = 1,25$$

$$Z9 = 0,22$$

$$\lambda = 1,43$$

$$\beta = 1,25$$

$$Z10 = 0,22$$

$$\lambda = 1,43$$

$$\beta = 1,26$$

Z11=	0,22
Lambda=	1,44
β =	1,26
Z12=	0,22
Lambda=	1,45
β =	1,27
Z13=	0,22
Lambda=	1,45
β =	1,27
Z14=	0,22
Lambda=	1,45
β =	1,27

Sabendo que $((\mu \cdot \text{Alr})/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot \text{Kr} \cdot \beta$

$$(\mu \cdot \text{Alr})/(\mu \cdot Y_1) = 52,33$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$

$$b = 0,019$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3100 \\ Y_0 &= 8 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 300,00$$

E

$$\beta / z = 5,79$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 51,81$$

Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 52,33$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.100,00 \\ Y_0 &= 8,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 300,00$$

E

$$\beta / z = 5,79$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 51,81$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.100,00 \\ Y_0 &= 8,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} + \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}}$$

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

Sabendo que $1/(1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr}) = C_2$, temos que $1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr} = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} \cdot C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S + A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = A \cdot S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = d1 / (1 - (d2 / (2 \cdot \text{Kr})))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1.137,33$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.100,00 \\ Y_0 &= 8,00 \\ C_2 &= 263,16 \\ \text{Kr} &= 1.089,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 2.105,26 \\ 2 \cdot \text{Kr} / C_2 &= 8,28 \end{aligned}$$

$$A \cdot S = 43,59$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1137,33$$

$$\mu \cdot \text{Alr} = 1093,74$$

$$\text{ReqS} = 346,94$$

$$f_{s_{\text{solo}}} \text{ (KPa)} = 284,98$$

$$f_{s_{\text{solo}}} \text{ (MPa)} = 0,28$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot \text{Alr} = \mu \cdot \text{Alr} / (\mu \cdot Y_1)$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 21,11$$

$$\text{Como } \mu \cdot \text{Alr} =$$

$$1093,74$$

$$\text{e } (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) =$$

$$51,81$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.038,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 8,40$$

$$P_{\text{rocha}} = 1900,67$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 5,48$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 2.994,41$$

$$L = 3,10$$

$$P_{\text{rocha}} = 1900,67$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	2.447,54
ΔL (mm)=	2,25

7,72

8,40

0,68

Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada	3.038,00
r_m	10,00
r_o	0,16
ζ	4,17

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Air} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L

$P_p / P_L =$ 0,1028

Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$

Temos que $1,1 \cdot P_L = P_{rocha}$	1,10
$P_L =$	1.723,43
$P_p =$	177,25

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$	
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	354,10
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,35

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a	
contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	48,62
Q/w	3,46

Temos então que $ReqS = 3,46 \cdot E$	
E (MPa)=	100,19

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada -	2.994,41
Adesão (AS)=	
$L_{solo} =$	3,10
$L_{rocha} =$	5,00
$P_{rocha} =$	1900,67
$P_p =$	177,25

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	2.447,54
ΔL_{solo} (mm)=	2,25

N (Média)=	1.038,96
ΔL_{rocha} (mm)=	2,69

ΔL_{total} (mm)=	4,94
--------------------------	------

O recalque na ponta fictícia	
(entre solo e rocha)=	6,15

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS =$	308,85
E (MPa)=	89,19

Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa)=	100,19
$G_s =$	41.746,93
$P_{rocha} =$	1.900,67
Lambda=	613,22

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (q_{si} \cdot r_o)])$$

$$Q_u / Q = 0,0933$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8/4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o $\mu = (1/r_o) \cdot (2/q_{si} \cdot \text{lambda})$

$$\mu = 0,0025$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 5,00$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0055$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0055$$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 3091A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	6,70	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L \text{ solo})$ $Kr_1 \text{ (KN/mm)} = 504,20$	
L _{rocha} (m)	6,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E3091-A					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha			
x1	700	1250	Carga máxima mobilizada (kN)=	3.773,00	
x2	3313	3313	Alr(kN)=	1688,88	44,76%
y1	0	0	P ₁ (kN)=	1910,68	50,64%
y2	7,84	7,84	P ₂ (kN)=	170,92	4,53%
m	0,003	0,0038	AS=	2,52	0,07%
n	-2,1	-4,75	f _{spacha} (MPa)=	0,33	
			f _{solo} (MPa)=	0,20	
			E=	139,97	
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
X	700	0			
Y	0				
	700	0			
	3313	7,84			
	1250	0			
	1250	0			
	3313	7,84			
Isolando a variável X					
y=0,003x - 2,1			y=0,0038x - 4,75		
x=700+333,33y			x=1250+263,16y		
	C ₁ =	700,00		C ₁ =	1.250,00
	C ₂ =	333,33		C ₂ =	263,16
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 550,46					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β = 333,33					
E sabendo que lambda = (ReqS/ Kr)/z					
Z0=	1				
Lambda=	1,09				
β=	1,01				
Z1=	0,65				
Lambda=	1,67				
β=	1,15				
Z2=	0,58				
Lambda=	1,89				
β=	1,22				
Z3=	0,54				
Lambda=	2,01				
β=	1,25				
Z4=	0,53				
Lambda=	2,07				
β=	1,28				
Z5=	0,52				
Lambda=	2,11				
β=	1,29				
Z6=	0,51				
Lambda=	2,13				
β=	1,30				
Z7=	0,51				
Lambda=	2,14				
β=	1,30				
Z8=	0,51				
Lambda=	2,15				
β=	1,30				
Z9=	0,51				
Lambda=	2,15				
β=	1,31				
Z10=	0,51				
Lambda=	2,16				
β=	1,31				

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,51 \\ \text{Lambda} &= 2,16 \\ \beta &= 1,31 \\ Z_{12} &= 0,51 \\ \text{Lambda} &= 2,16 \\ \beta &= 1,31 \\ Z_{13} &= 0,51 \\ \text{Lambda} &= 2,16 \\ \beta &= 1,31 \\ Z_{14} &= 0,51 \\ \text{Lambda} &= 2,16 \\ \beta &= 1,31 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta/z = z^*Kr \cdot \beta$

$$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) = 128,68$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,008$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3312,5 \\ Y_0 &= 7,84 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 333,23$$

E

$$\beta/z = 2,59$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 128,64$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 128,68$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.312,50 \\ Y_0 &= 7,84 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 333,23$$

E

$$\beta/z = 2,59$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 128,64$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.312,50 \\ Y_0 &= 7,84 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.691,40$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.312,50 \\ Y_0 &= 7,84 \\ C_2 &= 263,16 \\ Kr &= 504,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 2.063,16 \\ 2^*Kr/C_2 &= 3,83 \end{aligned}$$

$$A^*S = 2,52$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1691,40$$

$$\mu^*Alr = 1688,88$$

$$ReqS = 550,46$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (KPa)} = 196,09$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (MPa)} = 0,20$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 13,13$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1688,88$$

$$\text{e } (\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$$

$$128,64$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.773,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 10,10$$

$$P_{recalq} = 2081,60$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 3,78$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.770,48$$

$$\text{Adesão (AS)} = 6,70$$

$$P_{recalq} = 2081,60$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$

N (Média)=		2.926,04
ΔL(mm)=		5,80
	9,58	10,10
		0,52
		Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada	3.773,00
r_m	12,00
r_o	0,16
ζ	4,35

Expressão de Randolph=
$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = Alr * q_{si} / 2 * 3,14 * L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$P_p / P_l =$ 0,0895

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$

Temos que $1,09 * PL = Procha$

$P_l =$	1.910,68
$P_p =$	170,92

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	327,15
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,33

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$ 0,06

Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$ 5,00

Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$ 55,89

Q/w 3,93

Temos então que $ReqS = 3,93 * E$

E (MPa)=	139,97
----------	--------

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 3.770,48

Adesão (AS)=

$L_{solo} =$	6,70
$L_{rocha} =$	6,00
$P_{rocha} =$	2081,60
$P_p =$	170,92

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média)=	2.926,04
ΔL _{solo} (mm)=	5,80
N (Média)=	1.126,26
ΔL _{rocha} (mm)=	3,50
ΔL _{total} (mm)=	9,30

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha)=	4,30
-----------------------	------

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

ReqS=	484,47
E (MPa)=	123,19

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,35
E (MPa)=	139,97
$G_s =$	58.320,16
$P_{rocha} =$	2.081,60
Lambda=	438,96

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$

$Q_u / Q =$ 0,0821

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$

$\mu =$	0,0034
---------	--------

Para z igual ao comprimento da rocha

$z =$	6,00
-------	------

$w (z = L_{rocha}) =$ 0,0038

Para z igual a 0

$z =$	0,00
-------	------

$w (z=0) =$ 0,0038

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 3088A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	2,30	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 1.468,76	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E3088-A					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha			
x1	750	1000	Carga máxima mobilizada (kN)=	3.822,00	
x2	3250	3250	Alr(kN)=	1049,92	27,47%
y1	0	0	P ₁ (kN)=	2446,98	64,02%
y2	7,00	7,00	P ₂ (kN)=	251,66	6,58%
m	0,0028	0,0031	AS=	73,44	1,92%
n	-2,1	-3,1	f _{s_{rocha}} (MPa)=	0,50	
			f _{s_{solo}} (MPa)=	0,38	
			E=	119,38	
			E(retro-análise)=	112,86	
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
X	750	1000			
Y	0	0			
	3250	7,00			
	1000	0			
	1000	0			
	3250	7,00			
Isolando a variável X					
y=0,0028x - 2,1			y=0,0031x - 3,1		
x=750+357,14y			x=1000+322,58y		
C ₁ =	750,00	C ₁ =	1.000,00		
C ₂ =	357,14	C ₂ =	322,58		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * ((B/z)^2 * (V_0/\mu * Y_2) + A * S^2 * W_2)$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S^2 * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * ((B/z)^2 * (V_0/\mu * Y_2))$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{1}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 413,37					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta =$ 357,14					
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
Lambda=	0,28				
β=	0,86				
Z1=	0,28				
Lambda=	0,99				
β=	1,00				
Z2=	0,24				
Lambda=	1,15				
β=	1,09				
Z3=	0,22				
Lambda=	1,26				
β=	1,16				
Z4=	0,21				
Lambda=	1,34				
β=	1,21				
Z5=	0,20				
Lambda=	1,40				
β=	1,25				
Z6=	0,19				
Lambda=	1,45				
β=	1,29				
Z7=	0,19				
Lambda=	1,49				
β=	1,31				
Z8=	0,19				
Lambda=	1,52				
β=	1,33				
Z9=	0,18				
Lambda=	1,54				
β=	1,35				
Z10=	0,18				
Lambda=	1,56				
β=	1,36				

Z11=	0,18
Lambda=	1,57
β =	1,37
Z12=	0,18
Lambda=	1,58
β =	1,38
Z13=	0,18
Lambda=	1,59
β =	1,38
Z14=	0,18
Lambda=	1,60
β =	1,39

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) * \beta / z = z^*Kr * \beta$

$$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) = 45,26$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr * \beta / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr * b$

$$b = 0,022$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3250 \\ Y_0 &= 7 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr * \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr * \beta / (z^*Y_1) = 357,14$$

E

$$\beta / z = 7,89$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 45,26$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr * b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 45,26$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.250,00 \\ Y_0 &= 7,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr * \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr * \beta / (z^*Y_1) = 357,14$$

E

$$\beta / z = 7,89$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 45,26$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.250,00 \\ Y_0 &= 7,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) - \frac{(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0^*1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) - \frac{y_0^*1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{2^*Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) - \frac{y_0^*1}{1/C_2} = \frac{-(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) * 2Kr^*C_2 = (\mu^*Alr + 2^*A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) * 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C_2) * 2Kr/C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1 / (1 - (d2 / (2^*Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.123,36$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.250,00 \\ Y_0 &= 7,00 \\ C_2 &= 322,58 \\ Kr &= 1.468,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2^*Y_0 &= 2.258,06 \\ 2^*Kr/C_2 &= 9,11 \end{aligned}$$

$$A^*S = 73,44$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1123,36$$

$$\mu^*Alr = 1049,92$$

$$ReqS = 413,37$$

$$f_{s_{calc}} (KPa) = 379,38$$

$$f_{s_{calc}} (MPa) = 0,38$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr / μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 23,20$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1049,92$$

$$\text{e } (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$$

$$45,26$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.822,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 9,10$$

$$P_{recalq} = 2698,64$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 6,53$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.748,56$$

$$\text{Adesão (AS)} = 2,30$$

$$P_{recalq} = 2698,64$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$

N (Média)=	3.223,60				
ΔL(mm)=	2,19				
	8,72	9,10	0,38	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.822,00				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,1 * P_l = P_{rocha}$	1,10				
$P_l =$	2.446,98				
$P_p =$	251,66				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	502,77				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,50				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_d / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 + 0,2) =$	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	48,62				
Q/w	3,46				
Temos então que $ReqS = 3,46 * E$					
E (MPa)=	119,38				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	3.748,56				
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$	2,30				
$L_{rocha} =$	5,00				
$P_{rocha} =$	2698,64				
$P_p =$	251,66				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	3.223,60				
ΔL_{solo} (mm)=	2,19				
N (Média)=	1.475,15				
ΔL_{rocha} (mm)=	3,82				
ΔL_{total} (mm)=	6,01				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	6,91				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	390,81				
E (MPa)=	112,86				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,17				
E (MPa)=	119,38				
$G_s =$	49.740,39				
$P_{rocha} =$	2.698,64				
Lambda=	514,67				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,0933				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0030				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	5,00				
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0065				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w (z=0) =$	0,0065				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO			
Estaca E 3105A			
Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	8,50	Fck (KN/m²)	20000
L _{rodha} (m)	4,60	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solto} (m)	0,41	π	3,14
L (m)		Kr ₁ (KN/mm)	397,43
$Kr_1 = ES / L_{solto} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solto}$			

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E3105-A

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.822,00	
Alr(kN)=	2984,35	78,08%
P _r (kN)=	754,94	19,75%
P _r (kN)=	82,71	2,16%
AS=	0,00	
f _{s100k} (MPa)=	0,17	
f _{s100k} (MPa)=	0,27	
E=	154,13	

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	1150	2150
x2	3650	3650
y1	0	0
y2	6,75	6,75
m	0,0027	0,0045
n	-3,105	-9,675
$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$ $n = y - mx$		

Plotagem das Retas		
Reta Azul	X	Y
	1150	0
	1150	0
	3650	6,75
Reta Vermelha	X	Y
	2150	0
	2150	0
	3650	6,75

Reta Azul

Reta Vermelha

Isolando a variável X		
$y = 0,0027x - 3,105$ $x = 1150 + 370,37y$		
C ₁ =	1.150,00	
C ₂ =	370,37	

Isolando a variável X		
$y = 0,0045x - 9,675$ $x = 2150 + 222,22y$		
C ₁ =	2.150,00	
C ₂ =	222,22	

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
 Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$
 A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{1}$$

$$\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
 Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS= 504,08

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * Kr * \beta =$ 370,37

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	1,27
β=	1,03
Z1=	0,90
Lambda=	1,41
β=	1,06
Z2=	0,88
Lambda=	1,44
β=	1,06
Z3=	0,88
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z4=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z5=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z6=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z7=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z8=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z9=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07
Z10=	0,87
Lambda=	1,45
β=	1,07

$$\begin{aligned} Z11 &= 0,87 \\ \text{Lambda} &= 1,45 \\ \beta &= 1,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z12 &= 0,87 \\ \text{Lambda} &= 1,45 \\ \beta &= 1,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z13 &= 0,87 \\ \text{Lambda} &= 1,45 \\ \beta &= 1,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z14 &= 0,87 \\ \text{Lambda} &= 1,45 \\ \beta &= 1,07 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 303,62$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,003$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3650 \\ Y_0 &= 6,75 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 370,37$$

E

$$\beta / z = 1,22$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 303,62$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 303,62$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.650,00 \\ Y_0 &= 6,75 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 370,37$$

E

$$\beta / z = 1,22$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 303,62$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.650,00 \\ Y_0 &= 6,75 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 2.984,35$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.650,00 \\ Y_0 &= 6,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 * Y_0 &= 1.500,00 \\ 2 * Kr / C_2 &= 3,58 \end{aligned}$$

$$A * S = 0,00$$

$$\mu * Alr + A * S = 2984,35$$

$$\mu * Alr = 2984,35$$

$$ReqS = 504,08$$

$$f_{s_{solo}} \text{ (KPa)} = 272,72$$

$$f_{s_{solo}} \text{ (MPa)} = 0,27$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 9,83$$

$$\text{Como } \mu * Alr = 2984,35$$

$$\text{e } (\mu * Alr) / (\mu * y1) =$$

$$303,62$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.822,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 9,20$$

$$P_{recha} = 837,65$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 1,66$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.822,00$$

$$\text{Adesão (AS)} = 8,50$$

$$L = 8,50$$

$$P_{recha} = 837,65$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

N (Média)=	2.329,82			
$\Delta L(\text{mm})=$	5,86			
	7,52	9,20	1,68	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	3.822,00			
r_m	9,20			
r_o	0,16			
ζ	4,08			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l				
$P_p / P_l =$	0,1096			
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,11 \cdot PL = P_{\text{rocha}}$	1,11			
$P_l =$	754,94			
$P_p =$	82,71			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	168,60			
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,17			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_d / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	45,64			
Q/w	3,27			
Temos então que $\text{ReqS} = 3,27 \cdot E$				
E (MPa)=	154,13			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -	3.822,00			
Adesão (AS)=				
$L_{\text{solo}} =$	8,50			
$L_{\text{rocha}} =$	4,60			
$P_{\text{rocha}} =$	837,65			
$P_p =$	82,71			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N \cdot L / E \cdot A$				
N (Média)=	2.329,82			
$\Delta L_{\text{solo}}(\text{mm})=$	5,86			
N (Média)=	460,18			
$\Delta L_{\text{rocha}}(\text{mm})=$	1,10			
$\Delta L_{\text{total}}(\text{mm})=$	6,96			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha)=	3,34			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS=	250,96			
E (MPa)=	76,73			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,08			
E (MPa)=	154,13			
$G_s =$	64.220,02			
$P_{\text{rocha}} =$	837,65			
Lambda=	398,63			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{\text{rocha}}) / (q_{si} \cdot r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0987			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0040			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	4,60			
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0017			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0017			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																							
Estaca E 3108A																																																																							
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																				
L _{solo} (m)	7,20	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 469,19																																																																			
L _{rocha} (m)	5,80	E (KN/m²)	25600000																																																																				
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																				
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																				
L (m)																																																																							
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E3108-A																																																																							
Cálculo da Equação da Reta			Resultado																																																																				
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.695,00 Alr(kN)= 1395,96 51,80% P _r (kN)= 1189,79 44,15% P _r (kN)= 109,24 4,05% AS= -3,10 f _{s,rocha} (MPa)= 0,21 f _{s,solo} (MPa)= 0,15 E= 120,09																																																																				
x1	700	1050																																																																					
x2	2581	2581																																																																					
y1	0	0																																																																					
y2	6,58	6,58																																																																					
m	0,0035	0,0043	$m = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ $n = y - mx$																																																																				
n	-2,45	-4,515																																																																					
Plotagem das Retas																																																																							
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
	X	Y																																																																					
	700	0																																																																					
	700	0																																																																					
	2581	6,58																																																																					
	1050	0																																																																					
	Reta Vermelha	Reta Vermelha																																																																					
	1050	0																																																																					
	2581	6,58																																																																					
Isolando a variável X																																																																							
$y = 0,0035x - 2,45$ $x = 700 + 285,71y$			$y = 0,0043x - 4,515$ $x = 1050 + 232,56y$																																																																				
$C_1 = 700,00$ $C_2 = 285,71$			$C_1 = 1.050,00$ $C_2 = 232,56$																																																																				
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:																																																																							
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"																																																																							
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS																																																																							
ReqS= 461,12																																																																							
Voltando a Reta Azul, tem-se que:																																																																							
$z * Kr * \beta =$ 285,71																																																																							
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$																																																																							
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,61</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,61</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,15</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,53</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,85</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,23</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,99</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,28</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,07</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,11</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,14</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,34</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,16</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,19</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,36</td> </tr> </table>						Z0=	1	Lambda=	0,98	$\beta=$	1,00	Z1=	0,61	Lambda=	1,61	$\beta=$	1,15	Z2=	0,53	Lambda=	1,85	$\beta=$	1,23	Z3=	0,49	Lambda=	1,99	$\beta=$	1,28	Z4=	0,48	Lambda=	2,07	$\beta=$	1,31	Z5=	0,46	Lambda=	2,11	$\beta=$	1,33	Z6=	0,46	Lambda=	2,14	$\beta=$	1,34	Z7=	0,45	Lambda=	2,16	$\beta=$	1,35	Z8=	0,45	Lambda=	2,18	$\beta=$	1,35	Z9=	0,45	Lambda=	2,18	$\beta=$	1,36	Z10=	0,45	Lambda=	2,19	$\beta=$	1,36
Z0=	1																																																																						
Lambda=	0,98																																																																						
$\beta=$	1,00																																																																						
Z1=	0,61																																																																						
Lambda=	1,61																																																																						
$\beta=$	1,15																																																																						
Z2=	0,53																																																																						
Lambda=	1,85																																																																						
$\beta=$	1,23																																																																						
Z3=	0,49																																																																						
Lambda=	1,99																																																																						
$\beta=$	1,28																																																																						
Z4=	0,48																																																																						
Lambda=	2,07																																																																						
$\beta=$	1,31																																																																						
Z5=	0,46																																																																						
Lambda=	2,11																																																																						
$\beta=$	1,33																																																																						
Z6=	0,46																																																																						
Lambda=	2,14																																																																						
$\beta=$	1,34																																																																						
Z7=	0,45																																																																						
Lambda=	2,16																																																																						
$\beta=$	1,35																																																																						
Z8=	0,45																																																																						
Lambda=	2,18																																																																						
$\beta=$	1,35																																																																						
Z9=	0,45																																																																						
Lambda=	2,18																																																																						
$\beta=$	1,36																																																																						
Z10=	0,45																																																																						
Lambda=	2,19																																																																						
$\beta=$	1,36																																																																						

N (Média)=	1.997,02				
ΔL(mm)=	4,26				
	7,07	9,00	1,93	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
QU= Carga máxima mobilizada	2.695,00				
r_m	11,60				
r_o	0,16				
ζ	4,32				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,0918				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,09 * P_l = P_{rocha}$					
$P_l =$	1.189,79				
$P_p =$	109,24				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	210,74				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,21				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$					
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$					
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$					
Q/w	3,84				
Temos então que $ReqS = 3,84 * E$					
E (MPa)=	120,09				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$					
$L_{rocha} =$					
$P_{rocha} =$					
$P_p =$					
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	1.997,02				
$\Delta L_{solo}(mm) =$	4,26				
N (Média)=	704,14				
$\Delta L_{rocha}(mm) =$	2,11				
$\Delta L_{total}(mm) =$	6,37				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	4,74				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	273,85				
E (MPa)=	71,32				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,32				
E (MPa)=	120,09				
$G_s =$	50.036,92				
$P_{rocha} =$	1.299,04				
Lambda=	511,62				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$					
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$					
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$					
$w (z = L_{rocha}) =$					
Para z igual a 0					
$z =$					
$w (z=0) =$					
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO Estaca E 5065					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	4,60	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr₁ (KN/mm) 734,38	
L _{rodha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E5065					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.499,00 Alr(kN)= 976,63 39,08% P ₁ (kN)= 1300,49 52,04% P ₂ (kN)= 133,75 5,35% AS= 88,13 3,53% f _{s100k} (MPa)= 0,27 f _{s200k} (MPa)= 0,18 E= 95,05		
x1	500	900			
x2	2250	2250			
y1	0	0			
y2	6,00	6,00			
m	0,0034	0,0044	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$		
n	-1,7	-3,96	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
	X	Y			
	500	0			
	500	0			
	2250	6,00			
	900	0			
	2250	6,00			
Isolando a variável X					
$y = 0,0034x - 1,7$ $x = 500 + 294,12y$			$y = 0,0044x - 3,96$ $x = 900 + 227,27y$		
$C_1 = 500,00$ $C_2 = 294,12$			$C_1 = 900,00$ $C_2 = 227,27$		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{2 * Kr} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" $\rightarrow Y_0$					
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5					
Req5= 329,13					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta =$ 294,12					
E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$					
$Z0 = 1$ $\lambda = 0,45$ $\beta = 0,90$ $Z1 =$ 0,44 $\lambda = 1,01$ $\beta = 1,00$ $Z2 =$ 0,40 $\lambda = 1,12$ $\beta = 1,05$ $Z3 =$ 0,38 $\lambda = 1,18$ $\beta = 1,08$ $Z4 =$ 0,37 $\lambda = 1,21$ $\beta = 1,09$ $Z5 =$ 0,37 $\lambda = 1,22$ $\beta = 1,10$ $Z6 =$ 0,36 $\lambda = 1,23$ $\beta = 1,11$ $Z7 =$ 0,36 $\lambda = 1,24$ $\beta = 1,11$ $Z8 =$ 0,36 $\lambda = 1,24$ $\beta = 1,11$ $Z9 =$ 0,36 $\lambda = 1,24$ $\beta = 1,11$ $Z10 =$ 0,36 $\lambda = 1,24$ $\beta = 1,11$					

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,36 \\ \text{Lambda} &= 1,24 \\ \beta &= 1,11 \\ Z_{12} &= 0,36 \\ \text{Lambda} &= 1,24 \\ \beta &= 1,11 \\ Z_{13} &= 0,36 \\ \text{Lambda} &= 1,24 \\ \beta &= 1,11 \\ Z_{14} &= 0,36 \\ \text{Lambda} &= 1,24 \\ \beta &= 1,11 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot \text{Kr} \cdot \beta$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 95,32$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$

$$b = 0,010$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2250 \\ Y_0 &= 6 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / \mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 291,67$$

E

$$\beta / z = 3,09$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 94,52$$

Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 95,31$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.250,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / \mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 291,67$$

E

$$\beta / z = 3,09$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 94,52$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.250,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} + \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}}$$

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

Sabendo que $1/(1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr}) = C_2$, temos que $1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr} = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} \cdot C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S + A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = A \cdot S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = C_1 / (1 - (C_2 / (2 \cdot \text{Kr})))$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1.064,76$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.250,00 \\ Y_0 &= 6,00 \\ C_2 &= 227,27 \\ \text{Kr} &= 734,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 1.363,64 \\ 2 \cdot \text{Kr} / C_2 &= 6,46 \end{aligned}$$

$$A \cdot S = 88,13$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1064,76$$

$$\mu \cdot \text{Alr} = 976,63$$

$$\text{ReqS} = 329,13$$

$$f_{\text{solto}} (\text{KPa}) = 179,80$$

$$f_{\text{solto}} (\text{MPa}) = 0,18$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot \text{Alr}$ e $\mu \cdot \text{Alr} / \mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 10,33$$

$$\text{Como } \mu \cdot \text{Alr} =$$

$$976,63$$

$$\text{e } (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) =$$

$$94,52$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 2.499,00 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 7,20 \end{aligned}$$

$$P_{\text{topo}} = 1434,24$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 4,36$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 2.410,87$$

$$\text{Adesão (AS)} = 4,60$$

$$P_{\text{topo}} = 1434,24$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	1.922,56			
$\Delta L(\text{mm})=$	2,62			
	6,98	7,20	0,22	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	2.499,00			
r_m	10,00	Expressão de Randolph=	$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$	
r_o	0,16			
ζ	4,17			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l				
$P_p / P_l =$	0,1028			
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$				
Temos que $1,1 * P_l = P_{rocha}$	1,10			
$P_l =$	1.300,49			
$P_p =$	133,75			
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$				
$f_{s_{rocha}} (\text{KPa})$	267,21			
$f_{s_{rocha}} (\text{MPa})$	0,27			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	48,62			
Q/w	3,46			
Temos então que $ReqS = 3,46 * E$				
E (MPa)=	95,05			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -	2.410,87			
Adesão (AS)=				
$L_{solo} =$	4,60			
$L_{rocha} =$	5,00			
$P_{rocha} =$	1.434,24			
$P_p =$	133,75			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$				
N (Média)=	1.922,56			
$\Delta L_{solo}(\text{mm})=$	2,62			
N (Média)=	784,00			
$\Delta L_{rocha}(\text{mm})=$	2,03			
$\Delta L_{total}(\text{mm})=$	4,65			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha)=	4,58			
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS=	313,01			
E (MPa)=	90,39			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,17			
E (MPa)=	95,05			
$G_s =$	39.603,87			
$P_{rocha} =$	1.434,24			
Lambda=	646,40			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0933			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0024			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	5,00			
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0044			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0044			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 5076					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	3,20	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$ Kr_1 (KN/mm) 1.055,67	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arara Pernambuco - Raiz D410mm - ES076					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 3.119,34		
x1	500	770	Alr(kN)=	941,51	30,18%
x2	2840	2840	P _d (kN)=	1974,73	63,31%
y1	0	0	P _p (kN)=	203,09	6,51%
y2	5,38	5,38	AS=	-4,22	
m	0,0023	0,0026	fs _{rocha} (MPa)=	0,41	
n	-1,15	-2,002	fs _{solo} (MPa)=	0,23	
Plotagem das Retas			E= 174,73		
	X	Y			
Reta Azul	500	0			
	500	0			
	2840	5,38			
Reta Vermelha	770	0			
	770	0			
	2840	5,38			
Isolando a variável X					
y=0,0023x -1,15			y=0,0026x -2,002		
x=500+434,78y			x=770+384,62y		
C ₁ =	500,00	C ₁ =	770,00		
C ₂ =	434,78	C ₂ =	384,62		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{1}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS=		605,06			
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β =		434,78			
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
λbda=	0,57				
β=	0,93				
Z1=	0,44				
λbda=	1,29				
β=	1,11				
Z2=	0,37				
λbda=	1,55				
β=	1,23				
Z3=	0,34				
λbda=	1,71				
β=	1,31				
Z4=	0,31				
λbda=	1,82				
β=	1,37				
Z5=	0,30				
λbda=	1,90				
β=	1,41				
Z6=	0,29				
λbda=	1,96				
β=	1,44				
Z7=	0,29				
λbda=	2,01				
β=	1,47				
Z8=	0,28				
λbda=	2,04				
β=	1,49				
Z9=	0,28				
λbda=	2,07				
β=	1,50				
Z10=	0,27				
λbda=	2,09				
β=	1,51				

Z11=	0,27				
Lambda=	2,10				
β =	1,52				
Z12=	0,27				
Lambda=	2,11				
β =	1,52				
Z13=	0,27				
Lambda=	2,12				
β =	1,53				
Z14=	0,27				
Lambda=	2,13				
β =	1,53				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1)$ =	76,34				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,013				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	2840				
Y ₀ =	5,38				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	434,94				
E					
β / z =	5,70				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	76,37				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	76,34				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.840,00				
Y ₀ =	5,38				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1)$ =	434,94				
E					
β / z =	5,70				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	76,37				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.840,00				
Y ₀ =	5,38				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	941,51				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	2.840,00				
Y ₀ =	5,38				
C ₂ =	384,62	C ₂ * Y ₀ =	2.069,23		
Kr=	1.055,67	2 * Kr / C ₂ =	5,49		
A * S=	-4,22				
$\mu * Alr + A * S =$	941,51				
$\mu * Alr =$	941,51				
ReqS=	605,06				
f _{S₀₁₀} (KPa)	228,54				
f _{S₀₁₀} (MPa)	0,23				
Utilizando as expressões $\mu * Alr = \mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	12,33	Como $\mu * Alr =$	941,51	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	76,37
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.119,34				
Recalque da carga máxima mobilizada=	6,60				
P _{rech_a} =	2177,83				
Deslocamento no topo=	3,60				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.119,34				
L=	3,20				
P _{rech_a} =	2177,83				

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)= 2.648,58
 ΔL (mm)= 2,51

6,11

6,60

0,49

Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada 3.119,34
 r_m 10,00
 r_o 0,16
 ζ 4,17

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot \text{qsi} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$P_p / P_l = 0,1028$

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$

Temos que $1,1 \cdot P_l = P_{rocha}$

$P_l = 1.974,73$

$P_p = 203,09$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa) 405,74

$f_{s_{rocha}}$ (MPa) 0,41

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] = 0,06$

Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$

Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / \text{qsi} \cdot r_o = 48,62$

Q/w 3,46

Temos então que $\text{ReqS} = 3,46 \cdot E$

E (MPa)= 174,73

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 3.119,34

Adesão (AS)=

$L_{solo} = 3,20$

$L_{rocha} = 5,00$

$P_{rocha} = 2177,83$

$P_p = 203,09$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)= 2.648,58

ΔL_{solo} (mm)= 2,51

N (Média)= 1.190,46

ΔL_{rocha} (mm)= 3,08

ΔL_{total} (mm)= 5,59

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha)= 4,09

E para $\text{ReqS} = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$\text{ReqS} = 532,34$

E (MPa)= 153,73

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ 4,17

E (MPa)= 174,73

$G_s = 72.806,25$

$P_{rocha} = 2.177,83$

Lambda= 351,62

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (\text{qsi} \cdot r_o)])$

$Q_u / Q = 0,0933$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / \text{qsi} \cdot \text{lambda})$

$\mu = 0,0044$

Para z igual ao comprimento da rocha

z= 5,00

w (z = L_{rocha}) = 0,0036

Para z igual a 0

z= 0,00

w (z=0)= 0,0036

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 5107					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	3,90	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 866,19	
L _{rocha} (m)	4,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E5107					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha			
x1	500	990	Carga máxima mobilizada (kN)=	3.087,98	
x2	2623	2623	Alr(kN)=	1161,96	37,63%
y1	0	0	P _l (kN)=	1717,07	55,61%
y2	6,37	6,37	P _r (kN)=	208,92	6,77%
m	0,003	0,0039	AS=	0,02	
n	-1,5	-3,861	f _{s,rocha} (MPa)=	0,44	
			f _{s,solo} (MPa)=	0,23	
			E=	122,35	
Plotagem das Retas					
	X	Y			
Reta Azul	500	0			
	500	0			
	2623	6,37			
Reta Vermelha	990	0			
	990	0			
	2623	6,37			
Isolando a variável X					
y=0,003x -1,5			y=0,0039x -3,861		
x=500+333,33y			x=990+256,41y		
	C ₁ =	500,00		C ₁ =	990,00
	C ₂ =	333,33		C ₂ =	256,41
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_2) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_2)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{1}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 364,23					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta =$ 333,33					
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
Lambda=	0,42				
β=	0,90				
Z1=	0,43				
Lambda=	0,98				
β=	0,99				
Z2=	0,39				
Lambda=	1,08				
β=	1,04				
Z3=	0,37				
Lambda=	1,13				
β=	1,06				
Z4=	0,36				
Lambda=	1,16				
β=	1,07				
Z5=	0,36				
Lambda=	1,17				
β=	1,08				
Z6=	0,36				
Lambda=	1,18				
β=	1,09				
Z7=	0,35				
Lambda=	1,19				
β=	1,09				
Z8=	0,35				
Lambda=	1,19				
β=	1,09				
Z9=	0,35				
Lambda=	1,19				
β=	1,09				
Z10=	0,35				
Lambda=	1,19				
β=	1,09				

Z11=	0,35				
Lambda=	1,19				
β =	1,09				
Z12=	0,35				
Lambda=	1,19				
β =	1,09				
Z13=	0,35				
Lambda=	1,19				
β =	1,09				
Z14=	0,35				
Lambda=	1,19				
β =	1,09				
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	108,01				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,009				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	2623,33				
$Y_0 =$	6,37				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	333,33				
E					
$\beta / z =$	3,09				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	108,01				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	108,01				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.623,33				
$Y_0 =$	6,37				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	333,33				
E					
$\beta / z =$	3,09				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	108,01				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.623,33				
$Y_0 =$	6,37				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} = \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} = \frac{y_0 * 1}{1 / C_2}$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}) * C_2 = y_0$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}) * C_2 = y_0$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}) * C_2 = y_0$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2			
$\mu * Alr + A * S =$	1.161,99				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	2.623,33				
$Y_0 =$	6,37				
$C_2 * Y_0 =$	256,41		1.633,33		
$Kr =$	866,19		$2 * Kr / C_2 =$	6,76	
$A * S =$	0,02				
$\mu * Alr + A * S =$	1161,99				
$\mu * Alr =$	1161,96				
$ReqS =$	364,23				
$f_{s_{solo}}$ (KPa)	231,43				
$f_{s_{solo}}$ (MPa)	0,23				
Utilizando as expressões $\mu * Alr = \mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	10,76		Como $\mu * Alr =$	1161,96	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$
					108,01
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.087,98				
Recalque da carga máxima mobilizada=	8,10				
P_{rech} =	1925,99				
Deslocamento no topo=	5,29				
Carga máxima mobilizada =					
Adesão (AS)=	3.087,96				
L=	3,90				
P_{rech} =	1925,99				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					

N (Média)=	2.506,98				
ΔL(mm)=	2,89				
	8,18	8,10	-	0,08	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.087,98				
r_m	8,00				
r_o	0,16				
ζ	3,94				
Como $W_p = W_s = W$		Expressão de Randolph= $R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$			
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4 * r_o = Alr * qsi / 2 * 3,14*L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p/P_l=$	0,1217				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,12*PL = Procha$					
$P_l=$	1.717,07				
$P_p=$	208,92				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	441,00				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,44				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o/[2*(1+0,2)]=$					
Depois o valor de $4/(1-0,2)=$					
Depois $2*3,14*L/qsi*r_o=$					
Q/w	2,98				
Temos então que $ReqS = 2,98*E$					
E (MPa)=	122,35				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$					
$L_{rocha} =$					
$P_{rocha}=$					
$P_p=$					
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$					
N (Média)=	2.506,98				
ΔL _{solo} (mm)=	2,89				
N (Média)=	1.067,46				
ΔL _{rocha} (mm)=	2,21				
ΔL _{total} (mm)=	5,11				
O recalque na ponta ficticia					
(entre solo e rocha)=	5,21				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta ficticia}$					
ReqS=	369,97				
E (MPa)=	124,28				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	3,94				
E (MPa)=	122,35				
$G_s=$	50.980,21				
$P_{rocha}=$	1.925,99				
Lambda=	502,16				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)+[(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_o)])$					
$Q_u/Q =$					
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u/(r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o)*(2/qsi*lambda)$					
$\mu =$					
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z= 4,00$					
$w (z = L_{rocha}) =$					
Para z igual a 0					
$z= 0,00$					
$w (z=0)=$					
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 7199					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	6,40	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) = 527,83	
L _{rocha} (m)	4,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E7199					
Cálculo da Equação da Reta					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
x1	1150	1900			
x2	3500	3500			
y1	0	0			
y2	9,00	9,00			
m	0,0038	0,0056	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$		
n	-4,37	-10,64	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	X	Y			
Reta Azul	1150	0			
	1150	0			
	3500	9,00			
Reta Vermelha	1900	0			
	1900	0			
	3500	9,00			
Isolando a variável X					
$y = 0,0038x - 4,37$ $x = 1150 + 263,16y$			$y = 0,0056x - 10,64$ $x = 1900 + 178,57y$		
$C_1 = 1.150,00$ $C_2 = 263,16$			$C_1 = 1.900,00$ $C_2 = 178,57$		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5					
Req5= 269,87					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta = 263,16$					
E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$					
Z0=	1				
Lambda=	0,51				
$\beta =$	0,92				
Z1=	0,54				
Lambda=	0,94				
$\beta =$	0,98				
Z2=	0,51				
Lambda=	1,00				
$\beta =$	1,00				
Z3=	0,50				
Lambda=	1,03				
$\beta =$	1,01				
Z4=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,01				
Z5=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,01				
Z6=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,01				
Z7=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,02				
Z8=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,02				
Z9=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,02				
Z10=	0,49				
Lambda=	1,04				
$\beta =$	1,02				

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,49 \\ \text{Lambda} &= 1,04 \\ \beta &= 1,02 \\ Z_{12} &= 0,49 \\ \text{Lambda} &= 1,04 \\ \beta &= 1,02 \\ Z_{13} &= 0,49 \\ \text{Lambda} &= 1,04 \\ \beta &= 1,02 \\ Z_{14} &= 0,49 \\ \text{Lambda} &= 1,04 \\ \beta &= 1,02 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta/z = z^*Kr \cdot \beta$

$$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) = 127,30$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,008$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3500 \\ Y_0 &= 9 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 261,11$$

E

$$\beta/z = 2,07$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 126,31$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 127,30$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.500,00 \\ Y_0 &= 9,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta / (z^*Y_1) = 261,11$$

E

$$\beta/z = 2,07$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 126,31$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.500,00 \\ Y_0 &= 9,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr / C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr / C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1 / (1 - (d2 / (2 + Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 2.286,83$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 3.500,00 \\ Y_0 &= 9,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= 178,57 \\ Kr &= 527,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 1.607,14 \\ 2^*Kr / C_2 &= 5,91 \end{aligned}$$

$$A^*S = 42,23$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 2286,83$$

$$\mu^*Alr = 2244,60$$

$$ReqS = 269,87$$

$$\begin{aligned} f_{s_{100}} \text{ (KPa)} &= 277,55 \\ f_{s_{100}} \text{ (MPa)} &= 0,28 \end{aligned}$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 17,77$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$2244,60$$

$$\text{e } (\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$$

$$126,31$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 3.583,86 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 10,10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{topo} &= 1297,03 \\ \text{Deslocamento no topo} &= 4,81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} &= 3.541,63 \\ L &= 6,40 \\ P_{topo} &= 1297,03 \end{aligned}$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$

$$N \text{ (Média)} = 2.419,33$$

$\Delta L(\text{mm})=$	4,58			
	9,39	10,10	0,71	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	3.583,86			
r_m	8,00			
r_o	0,16			
ζ	3,94			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Air} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,1217			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,12 * P_L = P_{\text{rocha}}$				
$P_L =$	1.156,34			
$P_p =$	140,69			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	296,98			
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,30			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	41,09			
Q/w	2,98			
Temos então que $\text{ReqS} = 2,98 * E$				
E (MPa) =	90,65			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS) =	3.541,63			
$L_{\text{solo}} =$	6,40			
$L_{\text{rocha}} =$	4,00			
$P_{\text{rocha}} =$	1297,03			
$P_p =$	140,69			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$				
N (Média) =	2.419,33			
$\Delta L_{\text{solo}}(\text{mm}) =$	4,58			
N (Média) =	718,86			
$\Delta L_{\text{rocha}}(\text{mm}) =$	1,49			
$\Delta L_{\text{total}}(\text{mm}) =$	6,07			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	5,52			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	235,12			
E (MPa) =	78,98			
Anteiramente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	3,94			
E (MPa) =	90,65			
$G_s =$	37.772,92			
$P_{\text{rocha}} =$	1.297,03			
Lambda =	677,73			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (q_{si} * r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,1085			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0024			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	4,00			
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0048			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0048			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																							
Estaca E 7224																																																																							
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																				
L _{solo} (m)	6,00	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr ₁ (KN/mm) 563,02																																																																			
L _{rodha} (m)	4,00	E (KN/m²)	25600000																																																																				
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																				
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																				
L (m)																																																																							
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E7224																																																																							
Cálculo da Equação da Reta			Resultado																																																																				
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
x1	850	1750	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.868,46																																																																				
x2	2709	2709	Alr(kN)= 1927,81 67,21%																																																																				
y1	0	0	P ₁ (kN)= 836,25 29,15%																																																																				
y2	9,11	9,11	P ₂ (kN)= 101,75 3,55%																																																																				
m	0,0049	0,0095	AS= 2,65 0,09%																																																																				
n	-4,165	-16,625	f _{s_{rodha}} (MPa)= 0,21																																																																				
			f _{s_{solo}} (MPa)= 0,25																																																																				
			E= 43,49																																																																				
Plotagem das Retas																																																																							
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
X	850	1750																																																																					
Y	0	0																																																																					
	850	0																																																																					
	2709	9,11																																																																					
	1750	0																																																																					
	1750	0																																																																					
	2709	9,11																																																																					
Isolando a variável X																																																																							
y=0,0049x -4,165			y=0,0095x -16,625																																																																				
x=850+204,08y			x=1750+105,26y																																																																				
	C ₁ = 850,00		C ₁ = 1.750,00																																																																				
	C ₂ = 204,08		C ₂ = 105,26																																																																				
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A * S}{2 * Kr}} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 129,47 Voltando a Reta Azul, tem-se que: z * Kr * β = 204,08 E sabendo que lambda = (ReqS/ Kr)/z <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,23</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,84</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,43</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,54</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,77</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,47</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,47</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>0,76</td> </tr> </table>						Z0=	1	Lambda=	0,23	β=	0,84	Z1=	0,43	Lambda=	0,54	β=	0,77	Z2=	0,47	Lambda=	0,49	β=	0,76	Z3=	0,47	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z4=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z5=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z6=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z7=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z8=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z9=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76	Z10=	0,48	Lambda=	0,48	β=	0,76
Z0=	1																																																																						
Lambda=	0,23																																																																						
β=	0,84																																																																						
Z1=	0,43																																																																						
Lambda=	0,54																																																																						
β=	0,77																																																																						
Z2=	0,47																																																																						
Lambda=	0,49																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z3=	0,47																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z4=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z5=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z6=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z7=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z8=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z9=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						
Z10=	0,48																																																																						
Lambda=	0,48																																																																						
β=	0,76																																																																						

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,48 \\ \text{Lambda} &= 0,48 \\ \beta &= 0,76 \\ Z_{12} &= 0,48 \\ \text{Lambda} &= 0,48 \\ \beta &= 0,76 \\ Z_{13} &= 0,48 \\ \text{Lambda} &= 0,48 \\ \beta &= 0,76 \\ Z_{14} &= 0,48 \\ \text{Lambda} &= 0,48 \\ \beta &= 0,76 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot \text{Kr} \cdot \beta$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 127,07$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$

$$b = 0,008$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2708,7 \\ Y_0 &= 9,11 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 204,03$$

E

$$\beta / z = 1,61$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 127,04$$

Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 127,07$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.708,70 \\ Y_0 &= 9,11 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 204,03$$

E

$$\beta / z = 1,61$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 127,04$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.708,70 \\ Y_0 &= 9,11 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} + \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}}$$

$$P_0 \cdot (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} \cdot \frac{1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}}$$

Sabendo que $1 / (1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}) = C_2$, temos que $1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr} = 1 / C_2$

Então,

$$P_0 \cdot (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} \cdot \frac{1}{1 / C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} \cdot C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S + A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = A \cdot S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = d_1 / (1 - (d_2 / (2 \cdot \text{Kr})))$$

$$d_1 = C_1$$

$$d_2 = C_2$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1.930,46$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.708,70 \\ Y_0 &= 9,11 \\ C_2 &= 105,26 \\ \text{Kr} &= 563,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 958,95 \\ 2 \cdot \text{Kr} / C_2 &= 10,70 \end{aligned}$$

$$A \cdot S = 2,65$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 1930,46$$

$$\mu \cdot \text{Alr} = 1927,81$$

$$\text{ReqS} = 129,47$$

$$\begin{aligned} f_{s_{\text{sol}} (\text{KPa})} &= 249,92 \\ f_{s_{\text{sol}} (\text{MPa})} &= 0,25 \end{aligned}$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot \text{Alr} = \mu \cdot \text{Alr} / \mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 15,18$$

$$\text{Como } \mu \cdot \text{Alr} =$$

$$1927,81$$

$$\text{e } (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) =$$

$$127,04$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 2.868,46 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 10,10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{rec}} &= 938,00 \\ \text{Deslocamento no topo} &= 7,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 2.865,81 \\ \text{Adesão (AS)} &= 6,00 \\ P_{\text{rec}} &= 938,00 \end{aligned}$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	1.901,91				
$\Delta L(\text{mm})=$	3,38				
	10,62	10,10	-	0,52	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
QU= Carga máxima mobilizada	2.868,46				
r_m	8,00				
r_o	0,16				
ζ	3,94				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,1217				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{\text{rocha}}$					
Temos que $1,12 * PL = P_{\text{rocha}}$	1,12				
$P_l =$	836,25				
$P_p =$	101,75				
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$					
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	214,78				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,21				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	41,09				
Q/w	2,98				
Temos então que $\text{ReqS} = 2,98 * E$					
E (MPa)=	43,49				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	2.865,81				
Adesão (AS)=					
$L_{\text{solo}} =$	6,00				
$L_{\text{rocha}} =$	4,00				
$P_{\text{rocha}} =$	938,00				
$P_p =$	101,75				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$					
N (Média)=	1.901,91				
$\Delta L_{\text{solo}}(\text{mm})=$	3,38				
N (Média)=	519,87				
$\Delta L_{\text{rocha}}(\text{mm})=$	1,08				
$\Delta L_{\text{total}}(\text{mm})=$	4,45				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	6,72				
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	139,54				
E (MPa)=	46,88				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	3,94				
E (MPa)=	43,49				
$G_s =$	18.121,54				
$P_{\text{rocha}} =$	938,00				
Lambda=	1.412,68				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,1085				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o) * (2/q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0012				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	4,00				
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0072				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w (z=0) =$	0,0072				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																							
Estaca E 3108A																																																																							
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																				
L _{solo} (m)	7,20	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 469,19																																																																			
L _{rocha} (m)	5,80	E (KN/m²)	25600000																																																																				
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																				
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																				
L (m)																																																																							
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E3108-A																																																																							
Cálculo da Equação da Reta			Resultado																																																																				
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.695,00 Alr(kN)= 1395,96 51,80% P _r (kN)= 1189,79 44,15% P _r (kN)= 109,24 4,05% AS= -3,10 f _{s,rocha} (MPa)= 0,21 f _{s,solo} (MPa)= 0,15 E= 120,09																																																																				
x1	700	1050																																																																					
x2	2581	2581																																																																					
y1	0	0																																																																					
y2	6,58	6,58																																																																					
m	0,0035	0,0043	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$																																																																				
n	-2,45	-4,515	$n = y - mx$																																																																				
Plotagem das Retas																																																																							
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
	X	Y																																																																					
	700	0																																																																					
	700	0																																																																					
	2581	6,58																																																																					
	1050	0																																																																					
	1050	0																																																																					
	2581	6,58																																																																					
Isolando a variável X																																																																							
$y = 0,0035x - 2,45$ $x = 700 + 285,71y$			$y = 0,0043x - 4,515$ $x = 1050 + 232,56y$																																																																				
$C_1 = 700,00$ $C_2 = 285,71$			$C_1 = 1.050,00$ $C_2 = 232,56$																																																																				
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:																																																																							
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{1}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"																																																																							
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS																																																																							
ReqS= 461,12																																																																							
Voltando a Reta Azul, tem-se que:																																																																							
$z * Kr * \beta =$ 285,71																																																																							
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$																																																																							
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>0,98</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,61</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,61</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,15</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,53</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,85</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,23</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>1,99</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,28</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,48</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,07</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,11</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,33</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,14</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,34</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,16</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,35</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,36</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,19</td> </tr> <tr> <td>$\beta=$</td> <td>1,36</td> </tr> </table>						Z0=	1	Lambda=	0,98	$\beta=$	1,00	Z1=	0,61	Lambda=	1,61	$\beta=$	1,15	Z2=	0,53	Lambda=	1,85	$\beta=$	1,23	Z3=	0,49	Lambda=	1,99	$\beta=$	1,28	Z4=	0,48	Lambda=	2,07	$\beta=$	1,31	Z5=	0,46	Lambda=	2,11	$\beta=$	1,33	Z6=	0,46	Lambda=	2,14	$\beta=$	1,34	Z7=	0,45	Lambda=	2,16	$\beta=$	1,35	Z8=	0,45	Lambda=	2,18	$\beta=$	1,35	Z9=	0,45	Lambda=	2,18	$\beta=$	1,36	Z10=	0,45	Lambda=	2,19	$\beta=$	1,36
Z0=	1																																																																						
Lambda=	0,98																																																																						
$\beta=$	1,00																																																																						
Z1=	0,61																																																																						
Lambda=	1,61																																																																						
$\beta=$	1,15																																																																						
Z2=	0,53																																																																						
Lambda=	1,85																																																																						
$\beta=$	1,23																																																																						
Z3=	0,49																																																																						
Lambda=	1,99																																																																						
$\beta=$	1,28																																																																						
Z4=	0,48																																																																						
Lambda=	2,07																																																																						
$\beta=$	1,31																																																																						
Z5=	0,46																																																																						
Lambda=	2,11																																																																						
$\beta=$	1,33																																																																						
Z6=	0,46																																																																						
Lambda=	2,14																																																																						
$\beta=$	1,34																																																																						
Z7=	0,45																																																																						
Lambda=	2,16																																																																						
$\beta=$	1,35																																																																						
Z8=	0,45																																																																						
Lambda=	2,18																																																																						
$\beta=$	1,35																																																																						
Z9=	0,45																																																																						
Lambda=	2,18																																																																						
$\beta=$	1,36																																																																						
Z10=	0,45																																																																						
Lambda=	2,19																																																																						
$\beta=$	1,36																																																																						

Z11=	0,45				
Lambda=	2,19				
β =	1,36				
Z12=	0,45				
Lambda=	2,19				
β =	1,36				
Z13=	0,45				
Lambda=	2,20				
β =	1,36				
Z14=	0,45				
Lambda=	2,20				
β =	1,36				
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	93,96				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,011				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	2581				
$Y_0 =$	6,58				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	285,87				
E					
$\beta / z =$	3,04				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	94,01				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	93,96				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.581,00				
$Y_0 =$	6,58				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	285,87				
E					
$\beta / z =$	3,04				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	94,01				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	2.581,00				
$Y_0 =$	6,58				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.395,96				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	2.581,00				
$Y_0 =$	6,58				
$C_2 * Y_0 =$	232,56		1.530,23		
$Kr =$	469,19		$2 * Kr / C_2 =$	4,03	
$A * S =$	-3,10				
$\mu * Alr + A * S =$	1395,96				
$\mu * Alr =$	1395,96				
$ReqS =$	461,12				
$f_{s_{solo}} (KPa)$	150,60				
$f_{s_{solo}} (MPa)$	0,15				
Utilizando as expressões $\mu * Alr = \mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	14,85	Como $\mu * Alr =$	1395,96	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	94,01
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	2.695,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	9,00				
$P_{recha} =$	1299,04				
Deslocamento no topo=	2,82				
Carga máxima mobilizada =	2.695,00				
Adesão (AS)=	7,20				
$P_{recha} =$	1299,04				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					

N (Média)=	1.997,02				
ΔL(mm)=	4,26				
	7,07	9,00	1,93	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
QU= Carga máxima mobilizada	2.695,00				
r_m	11,60				
r_o	0,16				
ζ	4,32				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,0918				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,09 * P_l = P_{rocha}$					
$P_l =$	1.189,79				
$P_p =$	109,24				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	210,74				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,21				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_d / [2 * (1 + 0,2)] =$					
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$					
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$					
Q/w	3,84				
Temos então que $ReqS = 3,84 * E$					
E (MPa)=	120,09				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$					
$L_{rocha} =$					
$P_{rocha} =$					
$P_p =$					
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	1.997,02				
ΔL _{solo} (mm)=	4,26				
N (Média)=	704,14				
ΔL _{rocha} (mm)=	2,11				
ΔL _{total} (mm)=	6,37				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	4,74				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	273,85				
E (MPa)=	71,32				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,32				
E (MPa)=	120,09				
$G_s =$	50.036,92				
$P_{rocha} =$	1.299,04				
Lambda=	511,62				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$					
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$					
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$					
$w (z = L_{rocha}) =$					
Para z igual a 0					
$z =$					
$w (z=0) =$					
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO			
Estaca E 7186			
Dados			
L _{solo} (m)	5,00	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	5,70	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)			

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E 7186

CAPWAP-GOLPE 3

Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
$Kr_1 = ES / L_{\text{solo}} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{\text{solo}}$		
Kr_1 (KN/mm)	675,63	

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	900	1410
x2	2983	2983
y1	0	0
y2	7,71	7,71
m	0,0037	0,0049
n	-3,33	-6,909

$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
 $n = y - mx$

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.185,00	
Alr(kN)=	1654,42	51,94%
P _l (kN)=	1394,41	43,78%
P _r (kN)=	129,75	4,07%
AS=	6,42	0,20%
f _{s-rocha} (MPa)=	0,25	
f _{s-solo} (MPa)=	0,26	
E=	77,09	

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	900	0
	900	0
	2983	7,71
Reta Vermelha	1410	0
	1410	0
	2983	7,71

Reta Azul

Reta Vermelha

Isolando a variável X

y=0,0037x - 3,33 y=0,0049x - 6,909

x = 900 + 270,27y x = 1410 + 204,08y

C ₁ =	900,00	C ₁ =	1.410,00
C ₂ =	270,27	C ₂ =	204,08

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS= 292,41

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * Kr * \beta =$ 270,27

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,43
β=	0,90
Z1=	0,45
Lambda=	0,97
β=	0,99
Z2=	0,40
Lambda=	1,07
β=	1,03
Z3=	0,39
Lambda=	1,11
β=	1,05
Z4=	0,38
Lambda=	1,14
β=	1,06
Z5=	0,38
Lambda=	1,15
β=	1,07
Z6=	0,37
Lambda=	1,15
β=	1,07
Z7=	0,37
Lambda=	1,16
β=	1,07
Z8=	0,37
Lambda=	1,16
β=	1,07
Z9=	0,37
Lambda=	1,16
β=	1,07
Z10=	0,37
Lambda=	1,16
β=	1,07

Z11=	0,37				
Lambda=	1,16				
β =	1,07				
Z12=	0,37				
Lambda=	1,16				
β =	1,07				
Z13=	0,37				
Lambda=	1,16				
β =	1,07				
Z14=	0,37				
Lambda=	1,16				
β =	1,07				
Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta/z = z^*Kr \cdot \beta$					
$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)$ =	93,82				
Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$					
b=	0,011				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	2982,5				
Y ₀ =	7,71				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1)$ =	270,10				
E					
β/z =	2,88				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	93,76				
Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	93,82				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.982,50				
Y ₀ =	7,71				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1)$ =	270,10				
E					
β/z =	2,88				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	93,76				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.982,50				
Y ₀ =	7,71				
$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$					
$(P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$					
$(P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$					
$(P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu^*Alr + A^*S =$	1.660,84				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	2.982,50				
Y ₀ =	7,71				
C ₂ =	204,08	C ₂ *Y ₀ =	1.573,47		
Kr=	675,63	2*Kr/C ₂ =	6,62		
A*S=	6,42				
$\mu^*Alr + A^*S =$	1660,84				
$\mu^*Alr =$	1654,42				
ReqS=	292,41				
f _{s100} (KPa)	258,01				
f _{s100} (MPa)	0,26				
Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1					
$\mu^*Y_1 =$	17,64	Como $\mu^*Alr =$	1654,42	e $(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$	93,76
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.185,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,40				
P _{topo} =	1524,16				
Deslocamento no topo=	5,21				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.178,58				
L=	5,00				
P _{topo} =	1524,16				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$					
N (Média)=	2.351,37				

$\Delta L(\text{mm}) =$	3,48			
	8,69	7,40	-	1,29
				Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	3.185,00			
r_m	11,40			
r_o	0,16			
ζ	4,30			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,0931			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,09 \cdot P_L = P_{\text{rocha}}$				
$P_L =$	1.394,41			
$P_p =$	129,75			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{KPa})$	251,32			
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{MPa})$	0,25			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	53,73			
Q/w	3,79			
Temos então que $\text{ReqS} = 3,79 \cdot E$				
E (MPa) =	77,09			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS) =	3.178,58			
$L_{\text{solo}} =$	5,00			
$L_{\text{rocha}} =$	5,70			
$P_{\text{rocha}} =$	1524,16			
$P_p =$	129,75			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N \cdot L / E \cdot A$				
N (Média) =	2.351,37			
$\Delta L_{\text{solo}} (\text{mm}) =$	3,48			
N (Média) =	826,96			
$\Delta L_{\text{rocha}} (\text{mm}) =$	2,44			
$\Delta L_{\text{total}} (\text{mm}) =$	5,92			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	3,92			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	388,84			
E (MPa) =	102,51			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,30			
E (MPa) =	77,09			
$G_s =$	32.120,14			
$P_{\text{rocha}} =$	1.524,16			
Lambda =	797,01			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{\text{rocha}}) / (q_{si} \cdot r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0851			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0019			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	5,70			
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0052			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0052			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



MEMÓRIA DE CÁLCULO			
Estaca E 1748			
Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	10,10	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	5,60	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)		Kr ₁ (KN/mm)	334,47

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E174-B

—CAPWAP-GOLPE3

Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=		3.479,00	
Alr (kN)=	1845,73		53,05%
P ₁ (kN)=	1492,50		42,90%
P ₂ (kN)=	140,78		4,05%
AS=	-53,52		
f _{s,rocha} (MPa)=	0,27		
f _{s,solo} (MPa)=	0,14		
E=	375,85		
E(retro-análise)=	321,12		

Cálculo da Equação da Reta

	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	700	1100
x2	3500	3500
y1	0	0
y2	8,80	8,80
m	0,0031	0,0037
n	-2,17	-4,07

Plotagem das Retas

	X	Y
Reta Azul	700	0
	700	0
	3500	8,80
Reta Vermelha	1100	0
	1100	0
	3500	8,80

Isolando a variável X

y=0,0031x - 2,17
x=700+322,58y

C₁= 700,00
C₂= 322,58

y=0,0037x - 4,07
x=1100+270,27y

C₁= 1.100,00
C₂= 270,27

Z11=	0,63				
Lambda=	6,65				
$\beta=$	1,53				
Z12=	0,63				
Lambda=	6,66				
$\beta=$	1,53				
Z13=	0,63				
Lambda=	6,67				
$\beta=$	1,53				
Z14=	0,63				
Lambda=	6,67				
$\beta=$	1,53				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) =$	133,00				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
$b =$	0,008				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	3500				
$Y_0 =$	8,8				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	318,18				
E					
$\beta / z =$	2,43				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	131,19				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	133,01				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.500,00				
$Y_0 =$	8,80				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	318,18				
E					
$\beta / z =$	2,43				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	131,19				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.500,00				
$Y_0 =$	8,80				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1		d2 = C2		
$\mu * Alr + A * S =$	1.845,73				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	3.500,00				
$Y_0 =$	8,80				
$C_2 =$	270,27	$C_2 * Y_0 =$	2.378,38		
$Kr =$	334,47	$2 * Kr / C_2 =$	2,48		
$A * S =$	-53,52				
$\mu * Alr + A * S =$	1845,73				
$\mu * Alr =$	1845,73				
$ReqS =$	1408,08				
$f_{s_{solo}} (KPa)$	141,95				
$f_{s_{solo}} (MPa)$	0,14				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	14,07	Como $\mu * Alr =$	1845,73	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	131,19
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.479,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	9,00				
$P_{rocha} =$	1633,27				
Deslocamento no topo=	1,16				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.479,00				
$L =$	10,10				
$P_{rocha} =$	1633,27				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
$N (Média) =$	2.556,14				

$\Delta L(\text{mm})=$	7,64			
	8,80	9,00	0,20	Ok
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	3.479,00			
r_m	11,20			
r_o	0,16			
ζ	4,28			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,0943			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,09 * P_L = P_{\text{rocha}}$				
$P_L =$	1.492,50			
$P_o =$	140,78			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (KPa)}$	273,80			
$f_{s_{\text{rocha}}} \text{ (MPa)}$	0,27			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a constantes				
$r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	53,01			
Q/w	3,75			
Temos então que $\text{ReqS} = 3,75 * E$				
$E \text{ (MPa)} =$	375,85			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS)=	3.479,00			
$L_{\text{solo}} =$	10,10			
$L_{\text{rocha}} =$	5,60			
$P_{\text{rocha}} =$	1633,27			
$P_o =$	140,78			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N * L / E * A$				
N (Média)=	2.556,14			
$\Delta L_{\text{solo}} \text{ (mm)} =$	7,64			
N (Média)=	887,03			
$\Delta L_{\text{rocha}} \text{ (mm)} =$	2,57			
$\Delta L_{\text{total}} \text{ (mm)} =$	10,21			
O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha)=	1,36			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
$\text{ReqS} =$	1.203,03			
$E \text{ (MPa)} =$	321,12			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,28			
$E \text{ (MPa)} =$	375,85			
$G_o =$	156.603,78			
$P_{\text{rocha}} =$	1.633,27			
Lambda=	163,47			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + ((2 * 3,14 * L_{\text{rocha}}) / (q_{si} * r_o)))$				
$Q_u / Q =$	0,0862			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_o)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0092			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	5,60			
$w \text{ (} z = L_{\text{rocha}} \text{)} =$	0,0012			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w \text{ (} z = 0 \text{)} =$	0,0012			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																					
Estaca E 177A																																																																					
Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																			
L _{solo} (m)	8,10	Fck (KN/m²)	20000																																																																		
L _{rodha} (m)	6,00	E (KN/m²)	2,6E+07																																																																		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																		
L (m)																																																																					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E177-A																																																																					
Cálculo da Equação da Reta		Resultado																																																																			
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																			
x1	700	1200																																																																			
x2	3800	3800																																																																			
y1	0	0																																																																			
y2	9,20	9,20																																																																			
m	0,003	0,0035	m=(y2-y1)/(x2-x1)																																																																		
n	-2,1	-4,2	n=y - mx																																																																		
Plotagem das Retas																																																																					
	Reta Azul																																																																				
	X	Y																																																																			
	700	0																																																																			
	700	0																																																																			
	3800	9,20																																																																			
Reta Vermelha																																																																					
	1200	0																																																																			
	1200	0																																																																			
	3800	9,20																																																																			
Isolando a variável X																																																																					
y=0,003x - 2,1		y=0,0035x - 4,2																																																																			
x = 700+333,33y		x = 1200+285,71y																																																																			
C ₁ =	700,00	C ₁ =	1.200,00																																																																		
C ₂ =	333,33	C ₂ =	285,71																																																																		
Sabendo que $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot \left(\frac{B}{z} \right) \cdot \left(\frac{V_0}{\mu \cdot Y_0} \right) + A \cdot S \cdot W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 \cdot Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A \cdot S \cdot W_2$ e $C_2 = \mu \cdot Alr \cdot \left(\frac{B}{z} \right) \cdot \left(\frac{V_0}{\mu \cdot Y_0} \right)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - \left(\mu \cdot Alr + A \cdot S \right)}{Y_0 - \frac{\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S}{2 \cdot Kr}} = \frac{\frac{1}{R \cdot S} + \frac{1}{R \cdot Kr}}{1}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 \cdot Y_0 = a \cdot Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 907,25 Voltando a Reta Azul, tem-se que: z * Kr * β = 333,33 E sabendo que lambda = (ReqS/ Kr)/z <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>2,18</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,11</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,72</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,01</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,27</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,63</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,45</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,37</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,58</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,73</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,44</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,56</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>3,91</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,48</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,54</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,04</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,52</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,53</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,13</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,54</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,52</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,19</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,56</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,51</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,24</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,57</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,51</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,27</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,58</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,51</td> </tr> <tr> <td>Lambda=</td> <td>4,29</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,58</td> </tr> </table>				Z0=	1	Lambda=	2,18	β=	1,11	Z1=	0,72	Lambda=	3,01	β=	1,27	Z2=	0,63	Lambda=	3,45	β=	1,37	Z3=	0,58	Lambda=	3,73	β=	1,44	Z4=	0,56	Lambda=	3,91	β=	1,48	Z5=	0,54	Lambda=	4,04	β=	1,52	Z6=	0,53	Lambda=	4,13	β=	1,54	Z7=	0,52	Lambda=	4,19	β=	1,56	Z8=	0,51	Lambda=	4,24	β=	1,57	Z9=	0,51	Lambda=	4,27	β=	1,58	Z10=	0,51	Lambda=	4,29	β=	1,58
Z0=	1																																																																				
Lambda=	2,18																																																																				
β=	1,11																																																																				
Z1=	0,72																																																																				
Lambda=	3,01																																																																				
β=	1,27																																																																				
Z2=	0,63																																																																				
Lambda=	3,45																																																																				
β=	1,37																																																																				
Z3=	0,58																																																																				
Lambda=	3,73																																																																				
β=	1,44																																																																				
Z4=	0,56																																																																				
Lambda=	3,91																																																																				
β=	1,48																																																																				
Z5=	0,54																																																																				
Lambda=	4,04																																																																				
β=	1,52																																																																				
Z6=	0,53																																																																				
Lambda=	4,13																																																																				
β=	1,54																																																																				
Z7=	0,52																																																																				
Lambda=	4,19																																																																				
β=	1,56																																																																				
Z8=	0,51																																																																				
Lambda=	4,24																																																																				
β=	1,57																																																																				
Z9=	0,51																																																																				
Lambda=	4,27																																																																				
β=	1,58																																																																				
Z10=	0,51																																																																				
Lambda=	4,29																																																																				
β=	1,58																																																																				

Z11=	0,50
Lambda=	4,31
β =	1,59
Z12=	0,50
Lambda=	4,32
β =	1,59
Z13=	0,50
Lambda=	4,33
β =	1,59
Z14=	0,50
Lambda=	4,34
β =	1,59

Sabendo que $((\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot Kr \cdot \beta$

$$(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) = 104,86$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$

$$b = 0,010$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

P_0 =	3800
Y_0 =	9,2

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot Alr \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 336,96$$

E

$$\beta / z = 3,18$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) = 106,00$$

Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1)$

$$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) = 104,86$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

P_0 =	3.800,00
Y_0 =	9,20

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot Alr \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 336,96$$

E

$$\beta / z = 3,18$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) = 106,00$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

P_0 =	3.800,00
Y_0 =	9,20

$$P_0 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S + A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) = A \cdot S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) = d1 / (1 - (d2 / (2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu \cdot Alr + A \cdot S = 1.825,20$$

Substituindo na equação, temos

P_0 =	3.800,00
Y_0 =	9,20
C_2 =	285,71
Kr =	417,05

$$C_2 \cdot Y_0 = 2.628,57$$

$$2 \cdot Kr / C_2 = 2,92$$

$$A \cdot S = 83,41$$

$$\mu \cdot Alr + A \cdot S = 1825,20$$

$$\mu \cdot Alr = 1741,79$$

$$ReqS = 907,25$$

$$f_{s_{solo}} (KPa) = 175,03$$

$$f_{s_{solo}} (MPa) = 0,18$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr / (\mu \cdot Y_1)$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 16,43$$

$$\text{Como } \mu \cdot Alr =$$

$$1741,79 \text{ e } (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$$

$$106,00$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

Carga máxima mobilizada=	3.922,94
Recalque da carga máxima mobilizada=	10,10

$$P_{recalq} = 2097,74$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 2,31$$

Carga máxima mobilizada -	
Adesão (AS)=	3.839,53
L=	8,10
P_{recalq} =	2097,74

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	2.968,63				
ΔL(mm)=	7,12				
	9,43	10,10	0,67	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.922,94				
r _m	12,00				
r _o	0,16				
ζ	4,35				
Como $W_p = W_s = W$		Expressão de Randolp=			
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4 * r_o = Alr * qsi / 2*3,14*L$		$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$			
Dessa forma encontramos a Relação de P _p e P _l					
P _p /P _l =	0,0895				
Substituindo a relação de P _p em função de P _l na expressão P _p + P _l = P _{rocha}					
Temos que 1,09*PL = Procha					
	1,09				
P _l =	1.925,49				
P _p =	172,24				
Passamos a calcular o f _{s_{rocha}}					
f _{s_{rocha}} (KPa)	329,69				
f _{s_{rocha}} (MPa)	0,33				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes r _o /[2*(1+0,2)]=					
	0,06				
Depois o valor de 4/(1-0,2)=					
	5,00				
Depois 2*3,14*L/qsi*r _o =					
	55,89				
Q/w	3,93				
Temos então que Req5 = 3,93*E					
E (MPa)=	230,69				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=					
	3.839,53				
L _{solo} =	8,10				
L _{rocha} =	6,00				
P _{rocha} =	2097,74				
P _p =	172,24				
Calculando o encurtamento do fuste, ΔL _{solo} = N*L/E*A					
N (Média)=	2.968,63				
ΔL _{solo} (mm)=	7,12				
N (Média)=	1.134,99				
ΔL _{rocha} (mm)=	3,53				
ΔL _{total} (mm)=	10,64				
O recalque na ponta ficticia					
(entre solo e rocha)=	2,98				
E para Req5 = P _{rocha} / Recalque na ponta ficticia					
Req5=	703,49				
E (MPa)=	178,88				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,35				
E (MPa)=	230,69				
G _s =	96.121,36				
P _{rocha} =	2.097,74				
Lambda=	266,33				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u/Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + [(2*3,14*L_{rocha}) / (qsi*r_o)])$					
$Q_u/Q =$	0,0821				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u/(r_o * G_s)] * (0,8/4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o) * (2/qsi*lambda)$					
$\mu =$	0,0056				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	6,00				
$w(z = L_{rocha}) =$	0,0023				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w(z=0) =$	0,0023				
Como w _b = w(z=0), temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO							
Estaca E 180A							
Dados							
L _{solo} (m)	9,90	F _{ck} (KN/m²)	20000	Calculando o Kr1 com os dados de entrada $Kr_1 = ES / L_{\text{solo}} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{\text{solo}}$ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Kr₁ (KN/mm)</td> <td>341,23</td> </tr> </table>		Kr ₁ (KN/mm)	341,23
Kr ₁ (KN/mm)	341,23						
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000				
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075				
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14				
L (m)							

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E180-A

CAPWAP - GOLPE3

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	4.397,26	
Alr(kN)=	2856,17	64,95%
P _d (kN)=	1397,37	31,78%
P _p (kN)=	143,71	3,27%
AS=	-66,88	
f _{srocha} (MPa)=	0,29	
f _{solo} (MPa)=	0,22	
E=	196,54	
E(etro-análise)=	171,27	

Cálculo da Equação da Reta

	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	800	1905
x2	4200	4200
y1	0	0
y2	10,00	10,00
m	0,0029	0,0044
n	-2,32	-8,382

Plotagem das Retas

	X	Y
Reta Azul	800	0
	800	0
	4200	10,00
Reta Vermelha	1905	0
	1905	0
	4200	10,00

Reta Azul

Reta Vermelha

Isolando a variável X
 $y = 0,0029x - 2,32$
 $x = 800 + 344,83y$

C₁ = 800,00

C₂ = 344,83

$y = 0,0044x - 8,382$
 $x = 1905 + 227,27y$

C₁ = 1.905,00

C₂ = 227,27

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * K_r}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS = 680,55

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * K_r * \beta = \text{344,83}$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	1,99
β=	1,09
Z1=	0,92
Lambda=	2,16
β=	1,12
Z2=	0,90
Lambda=	2,22
β=	1,13
Z3=	0,89
Lambda=	2,24
β=	1,14
Z4=	0,89
Lambda=	2,24
β=	1,14
Z5=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14
Z6=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14
Z7=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14
Z8=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14
Z9=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14
Z10=	0,89
Lambda=	2,25
β=	1,14

Z11=	0,89
Lambda=	2,25
β =	1,14
Z12=	0,89
Lambda=	2,25
β =	1,14
Z13=	0,89
Lambda=	2,25
β =	1,14
Z14=	0,89
Lambda=	2,25
β =	1,14

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 268,31$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,004$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 4200 \\ Y_0 &= 10 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 340,00$$

E

$$\beta / z = 1,29$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 264,55$$

Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 268,31$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 4.200,00 \\ Y_0 &= 10,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$

Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$

$$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = 340,00$$

E

$$\beta / z = 1,29$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) = 264,55$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 4.200,00 \\ Y_0 &= 10,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$$

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{1 / C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$$

$$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu * Alr + A * S = 2.856,17$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 4.200,00 \\ Y_0 &= 10,00 \\ C_2 &= 227,27 \\ Kr &= 341,23 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 * Y_0 &= 2.272,73 \\ 2 * Kr / C_2 &= 3,00 \end{aligned}$$

$$A * S = -66,88$$

$$\mu * Alr + A * S = 2856,17$$

$$\mu * Alr = 2856,17$$

$$ReqS = 680,55$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (KPa)} = 224,10$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (MPa)} = 0,22$$

Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$

$$\mu * Y_1 = 10,80$$

$$\text{Como } \mu * Alr =$$

$$2856,17$$

$$\text{e } (\mu * Alr) / (\mu * y1) =$$

$$264,55$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 4.397,26$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 11,30$$

$$P_{recalq} = 1541,09$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 2,26$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 4.397,26$$

$$\text{Adesão (AS)} = 9,90$$

$$P_{recalq} = 1541,09$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$

N (Média)=	2.969,17				
ΔL(mm)=	8,70				
	10,97	11,30	0,33	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
QU= Carga máxima mobilizada	4.397,26				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,1 * P_l = P_{rocha}$	1,10				
$P_l =$	1.397,37				
$P_p =$	143,71				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	287,11				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,29				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	48,62				
Q/w	3,46				
Temos então que $ReqS = 3,46 * E$					
E (MPa)=	196,54				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	4.397,26				
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$	9,90				
$L_{rocha} =$	5,00				
$P_{rocha} =$	1541,09				
$P_p =$	143,71				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.969,17				
$\Delta L_{solo}(\text{mm}) =$	8,70				
N (Média)=	842,40				
$\Delta L_{rocha}(\text{mm}) =$	2,18				
$\Delta L_{total}(\text{mm}) =$	10,88				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	2,60				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	593,06				
E (MPa)=	171,27				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,17				
E (MPa)=	196,54				
$G_s =$	81.889,88				
$P_{rocha} =$	1.541,09				
Lambda=	312,61				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,0933				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0050				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	5,00				
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0023				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w (z=0) =$	0,0023				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																							
Estaca E 186B																																																																							
Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																																					
L _{solo} (m)	6,10	Fck (KN/m²)	20000																																																																				
L _{rodha} (m)	7,00	E (KN/m²)	25600000																																																																				
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																																				
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																																				
L (m)																																																																							
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E186-B		$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (A * L_{solo})$ Kr_1 (KN/mm) 553,79																																																																					
Cálculo da Equação da Reta		Resultado																																																																					
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
x1	505	1350																																																																					
x2	3850	3850																																																																					
y1	0	0																																																																					
y2	7,00	7,00																																																																					
m	0,0021	0,0028	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$																																																																				
n	-1,0605	-3,78	$n = y - mx$																																																																				
Plotagem das Retas																																																																							
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																																					
X	505	0																																																																					
Y	0	7,00																																																																					
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																					
X	3850	0																																																																					
Y	0	7,00																																																																					
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																					
X	1350	0																																																																					
Y	0	7,00																																																																					
	Reta Vermelha	Reta Azul																																																																					
X	3850	0																																																																					
Y	0	7,00																																																																					
Isolando a variável X																																																																							
$y = 0,0021x - 1,061$ $x = 505 + 476,19y$		$y = 0,0028x - 3,78$ $x = 1350 + 357,14y$																																																																					
C ₁ =	505,00	C ₁ =	1.350,00																																																																				
C ₂ =	476,19	C ₂ =	357,14																																																																				
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 1.005,76 Voltando a Reta Azul, tem-se que: $z * Kr * \beta =$ 476,19 E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$ <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Z0=</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>1,82</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,08</td> </tr> <tr> <td>Z1=</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,28</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,17</td> </tr> <tr> <td>Z2=</td> <td>0,73</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,48</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,22</td> </tr> <tr> <td>Z3=</td> <td>0,71</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,57</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,24</td> </tr> <tr> <td>Z4=</td> <td>0,69</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,62</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,25</td> </tr> <tr> <td>Z5=</td> <td>0,69</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,64</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z6=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,66</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z7=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,66</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z8=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,67</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z9=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,67</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z10=</td> <td>0,68</td> </tr> <tr> <td>λ=</td> <td>2,67</td> </tr> <tr> <td>β=</td> <td>1,26</td> </tr> <tr> <td>Z11=</td> <td>0,68</td> </tr> </table>				Z0=	1	λ=	1,82	β=	1,08	Z1=	0,79	λ=	2,28	β=	1,17	Z2=	0,73	λ=	2,48	β=	1,22	Z3=	0,71	λ=	2,57	β=	1,24	Z4=	0,69	λ=	2,62	β=	1,25	Z5=	0,69	λ=	2,64	β=	1,26	Z6=	0,68	λ=	2,66	β=	1,26	Z7=	0,68	λ=	2,66	β=	1,26	Z8=	0,68	λ=	2,67	β=	1,26	Z9=	0,68	λ=	2,67	β=	1,26	Z10=	0,68	λ=	2,67	β=	1,26	Z11=	0,68
Z0=	1																																																																						
λ=	1,82																																																																						
β=	1,08																																																																						
Z1=	0,79																																																																						
λ=	2,28																																																																						
β=	1,17																																																																						
Z2=	0,73																																																																						
λ=	2,48																																																																						
β=	1,22																																																																						
Z3=	0,71																																																																						
λ=	2,57																																																																						
β=	1,24																																																																						
Z4=	0,69																																																																						
λ=	2,62																																																																						
β=	1,25																																																																						
Z5=	0,69																																																																						
λ=	2,64																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z6=	0,68																																																																						
λ=	2,66																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z7=	0,68																																																																						
λ=	2,66																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z8=	0,68																																																																						
λ=	2,67																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z9=	0,68																																																																						
λ=	2,67																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z10=	0,68																																																																						
λ=	2,67																																																																						
β=	1,26																																																																						
Z11=	0,68																																																																						

Lambda=	2,67				
β =	1,26				
Z12=	0,68				
Lambda=	2,67				
β =	1,26				
Z13=	0,68				
Lambda=	2,67				
β =	1,26				
Z14=	0,68				
Lambda=	2,67				
β =	1,26				
Sabendo que $((\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta/z = z \cdot Kr \cdot \beta$					
$(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	256,06				
Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta/(z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$					
b=	0,004				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	3850				
$Y_0 =$	7				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) =$	477,86				
E	$\beta/z =$	1,86			
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	256,96				
Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1)$					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	256,06				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.850,00				
$Y_0 =$	7,00				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) =$	477,86				
E	$\beta/z =$	1,86			
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	256,96				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.850,00				
$Y_0 =$	7,00				
$P_0 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S + A \cdot S)$					
$(P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) = A \cdot S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$		$d1 = C1$		$d2 = C2$	
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1.992,48				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	3.850,00				
$Y_0 =$	7,00				
$C_2 =$	357,14	$C_2 \cdot Y_0 =$	2.500,00		
$Kr =$	553,79	$2 \cdot Kr/C_2 =$	3,10		
$A \cdot S =$	0,00				
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1992,48				
$\mu \cdot Alr =$	1992,48				
$ReqS =$	1005,76				
$f_{s_{0,0}} (KPa)$	253,72				
$f_{s_{0,0}} (MPa)$	0,25				
Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr/\mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$					
$\mu \cdot Y_1 =$	7,75	Como $\mu \cdot Alr =$	1992,48	e $(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	256,96
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	4.032,70				
Recalque da carga máxima mobilizada=	8,10				
$P_{rocha} =$	2040,22				
Deslocamento no topo=	2,03				
Carga máxima mobilizada =	4.032,70				
Adesão (AS)=	6,10				
$P_{rocha} =$	2040,22				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L/E \cdot A$					
N (Média)=	3.036,46				
$\Delta L (mm) =$	5,48				

7,51 8,10 0,59 Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

Q= Carga máxima mobilizada	4.032,70
r_m	14,00
r_o	0,16
ζ	4,50

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$P_p / P_l = 0,0794$

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$

Temos que $1,08 * P_l = P_{rocha}$

$P_l = 1.890,16$

$P_p = 150,07$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa) 277,40

$f_{s_{rocha}}$ (MPa) 0,28

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

constantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] = 0,06$

Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$

Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o = 62,98$

Q/w 4,39

Temos então que $ReqS = 4,39 * E$

E (MPa) = 229,09

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 4.032,70

Adesão (AS) =

$L_{solo} = 6,10$

$L_{rocha} = 7,00$

$P_{rocha} = 2040,22$

$P_p = 150,07$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média) = 3.036,46

ΔL_{solo} (mm) = 5,48

N (Média) = 1.095,14

ΔL_{rocha} (mm) = 3,97

ΔL_{total} (mm) = 9,45

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha) = 2,62

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS = 779,61$

E (MPa) = 177,58

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ 4,50

E (MPa) = 229,09

$G_s = 95.454,48$

$P_{rocha} = 2.040,22$

Lambda = 268,19

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_b / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + ((2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)))$

$Q_b / Q = 0,0736$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_b / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \lambda)$

$\mu = 0,0053$

Para z igual ao comprimento da rocha

$z = 7,00$

$w (z = L_{rocha}) = 0,0020$

Para z igual a 0

$z = 0,00$

$w (z=0) = 0,0020$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 207A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,00	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L$ solo Kr_1 (KN/mm) 675,63	
L _{rocha} (m)	7,80	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E207A					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 3.185,00 Alr(kN)= 1342,63 42,15% P _r (kN)= 1717,09 53,91% P _p (kN)= 125,28 3,93% AS= 0,00 f _{s,rocha} (MPa)= 0,23 f _{s,solo} (MPa)= 0,21 E= 148,31 E(etro-análise)= 108,39		
x1	510	1000			
x2	3000	3000			
y1	0	0			
y2	5,80	5,80			
m	0,0023	0,0029	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$		
n	-1,173	-2,9	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
	X	Y			
	510	0			
	510	0			
	3000	5,80			
	1000	0			
	1000	0			
	3000	5,80			
Isolando a variável X					
$y = 0,0023x - 1,173$ $x = 510 + 434,78y$			$y = 0,0029x - 2,9$ $x = 1000 + 344,83y$		
	C ₁ =	510,00		C ₁ =	1.000,00
	C ₂ =	434,78		C ₂ =	344,83
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * A * S} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ $\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 704,28					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β = 434,78					
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
λ=	1,04				
β=	1,01				
Z1=	0,64				
λ=	1,63				
β=	1,14				
Z2=	0,56				
λ=	1,85				
β=	1,21				
Z3=	0,53				
λ=	1,97				
β=	1,25				
Z4=	0,51				
λ=	2,03				
β=	1,28				
Z5=	0,50				
λ=	2,07				
β=	1,29				
Z6=	0,50				
λ=	2,09				
β=	1,30				
Z7=	0,50				
λ=	2,11				
β=	1,30				
Z8=	0,49				
λ=	2,11				
β=	1,31				
Z9=	0,49				
λ=	2,12				
β=	1,31				
Z10=	0,49				
λ=	2,12				
β=	1,31				
Z11=	0,49				

Lambda=	2,12				
β =	1,31				
Z12=	0,49				
Lambda=	2,12				
β =	1,31				
Z13=	0,49				
Lambda=	2,12				
β =	1,31				
Z14=	0,49				
Lambda=	2,13				
β =	1,31				
Sabendo que $((\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta/z = z \cdot Kr \cdot \beta$					
$(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)$ =	162,53				
Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta/(z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$					
b=	0,006				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P_0 =	3000				
Y_0 =	5,8				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/(\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1)$ =	429,31				
E					
β/z =	2,68				
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	160,49				
Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1)$					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	162,53				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	5,80				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/(\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1)$ =	429,31				
E					
β/z =	2,68				
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	160,49				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	5,80				
$P_0 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$\frac{1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 \cdot (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)$					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S + A \cdot S)$					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) + y_0 \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + A \cdot S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2			
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1.342,63				
Substituindo na equação, temos					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	5,80				
C_2 =	344,83	$C_2 \cdot Y_0$ =	2.000,00		
Kr =	675,63	$2 \cdot Kr/C_2$ =	3,92		
$A \cdot S$ =	0,00				
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1342,63				
$\mu \cdot Alr =$	1342,63				
$ReqS$ =	704,28				
$f_{s_{0,0}}$ (KPa)	208,58				
$f_{s_{0,0}}$ (MPa)	0,21				
Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr/\mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$					
$\mu \cdot Y_1 =$	8,37	Como $\mu \cdot Alr =$	1342,63	e $(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	160,49
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.185,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	7,30				
P_{rocha} =	1842,37				
Deslocamento no topo=	2,62				
Carga máxima mobilizada =					
Adesão (AS)=	3.185,00				
L=	5,00				
P_{rocha} =	1842,37				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L/E \cdot A$					
N (Média)=	2.513,69				
ΔL (mm)=	3,72				

	6,34	7,30	0,96	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
Q= Carga máxima mobilizada	3.185,00			
r_m	15,60			
r_o	0,16			
ζ	4,61			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,0730			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$				
Temos que $1,07 \cdot P_L = P_{rocha}$	1,07			
$P_L =$	1.717,09			
$P_p =$	125,28			
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$				
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	226,16			
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,23			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	68,53			
Q/w	4,75			
Temos então que $\text{ReqS} = 4,75 \cdot E$				
E (MPa) =	148,31			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -	3.185,00			
Adesão (AS) =				
$L_{solo} =$	5,00			
$L_{rocha} =$	7,80			
$P_{rocha} =$	1842,37			
$P_p =$	125,28			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$				
N (Média) =	2.513,69			
$\Delta L_{solo}(\text{mm}) =$	3,72			
N (Média) =	983,83			
$\Delta L_{rocha}(\text{mm}) =$	3,97			
$\Delta L_{total}(\text{mm}) =$	7,69			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	3,58			
E para $\text{ReqS} = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	514,70			
E (MPa) =	108,39			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,61			
E (MPa) =	148,31			
$G_s =$	61.795,71			
$P_{rocha} =$	1.842,37			
Lambda =	414,27			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (q_{si} \cdot r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0680			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8/4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1/r_o) \cdot (2/q_{si} \cdot \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0034			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	7,80			
$w(z = L_{rocha}) =$	0,0026			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w(z=0) =$	0,0026			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 210A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,30	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 637,38	
L _{rocha} (m)	7,20	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Areia Pernambuco - Raiz 41cm - E210					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 3.087,00		
x1	450	700	Alr(kN)=	959,56	31,08%
x2	2800	2800	P _r (kN)=	1974,11	63,95%
y1	0	0	P _r (kN)=	153,33	4,97%
y2	6,00	6,00	AS=	-114,73	
m	0,0026	0,0029	f _{s100k} (MPa)=	0,28	
n	-1,17	-2,03	f _{s0k} (MPa)=	0,14	
			E=	167,68	
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
X	450	700			
Y	0	0			
	450	0			
	2800	6,00			
	700	0			
	700	0			
	2800	6,00			
Isolando a variável X					
$y = 0,0026x - 1,17$ $x = 450 + 384,62y$			$y = 0,0029x - 2,03$ $x = 700 + 344,83y$		
	C ₁ =	450,00		C ₁ =	700,00
	C ₂ =	384,62		C ₂ =	344,83
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A + S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A + S}{2 * Kr}} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 751,27					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β = 384,62					
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
Lambda=	1,18				
β=	1,02				
Z1=	0,59				
Lambda=	2,00				
β=	1,23				
Z2=	0,49				
Lambda=	2,40				
β=	1,36				
Z3=	0,44				
Lambda=	2,66				
β=	1,46				
Z4=	0,41				
Lambda=	2,85				
β=	1,53				
Z5=	0,39				
Lambda=	3,00				
β=	1,59				
Z6=	0,38				
Lambda=	3,10				
β=	1,63				
Z7=	0,37				
Lambda=	3,19				
β=	1,66				
Z8=	0,36				
Lambda=	3,25				
β=	1,69				
Z9=	0,36				
Lambda=	3,30				
β=	1,71				
Z10=	0,35				
Lambda=	3,34				
β=	1,72				

Z11=	0,35
Lambda=	3,37
β =	1,74
Z12=	0,35
Lambda=	3,39
β =	1,75
Z13=	0,35
Lambda=	3,41
β =	1,76
Z14=	0,34
Lambda=	3,43
β =	1,76

Sabendo que $((\mu \cdot \text{Alr})/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot \text{Kr} \cdot \beta$

$$(\mu \cdot \text{Alr})/(\mu \cdot Y_1) = 75,09$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$

$$b = 0,013$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2800 \\ Y_0 &= 6 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 391,67$$

E

$$\beta / z = 5,12$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 76,46$$

Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1)$

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 75,09$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot \text{Alr} \cdot (\beta / z) \cdot (Y_0 / (\mu \cdot Y_1)) + A \cdot S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2) / Y_0$

$$\mu \cdot \text{Alr} \cdot \beta / (z \cdot Y_1) = 391,67$$

E

$$\beta / z = 5,12$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) = 76,46$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 6,00 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}} + \frac{Y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}}$$

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1 / \text{ReqS} + 1 / \text{Kr}} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

Sabendo que $1/(1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr}) = C_2$, temos que $1/\text{ReqS} + 1/\text{Kr} = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot \text{Kr}}$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} \cdot C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + 2 \cdot A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 = (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S + A \cdot S)$$

$$(-P_0 + (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2 \text{Kr} / C_2 - (\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = A \cdot S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S) = d1 / (1 - (d2 / (2 \cdot \text{Kr})))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 959,56$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.800,00 \\ Y_0 &= 6,00 \\ C_2 &= 344,83 \\ \text{Kr} &= 637,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 2.068,97 \\ 2 \cdot \text{Kr} / C_2 &= 3,70 \end{aligned}$$

$$A \cdot S = -114,73$$

$$\mu \cdot \text{Alr} + A \cdot S = 959,56$$

$$\mu \cdot \text{Alr} = 959,56$$

$$\text{ReqS} = 751,27$$

$$f_{\text{solto}} (\text{KPa}) = 140,63$$

$$f_{\text{solto}} (\text{MPa}) = 0,14$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot \text{Alr} = \mu \cdot \text{Alr} / (\mu \cdot Y_1)$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 12,55$$

$$\text{Como } \mu \cdot \text{Alr} =$$

$$959,56$$

$$\text{e } (\mu \cdot \text{Alr}) / (\mu \cdot Y_1) =$$

$$76,46$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 3.087,00 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 7,90 \end{aligned}$$

$$P_{\text{topo}} = 2127,44$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 2,83$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.087,00$$

$$\text{Adesão (AS)} = 5,30$$

$$P_{\text{topo}} = 2127,44$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

N (Média)=	2.607,22				
ΔL(mm)=	4,09				
	6,92	7,90	0,98	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.087,00				
r_m	14,40				
r_o	0,16				
ζ	4,53				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l					
$P_p / P_l =$	0,0777				
Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$					
Temos que $1,08 * PL = Procha$	1,08				
$P_l =$	1.974,11				
$P_p =$	153,33				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	281,67				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,28				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06				
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00				
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	64,37				
Q/w	4,48				
Temos então que $ReqS = 4,48 * E$					
E (MPa)=	167,68				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada -	3.087,00				
Adesão (AS)=					
$L_{solo} =$	5,30				
$L_{rocha} =$	7,20				
$P_{rocha} =$	2127,44				
$P_p =$	153,33				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.607,22				
ΔL _{solo} (mm)=	4,09				
N (Média)=	1.140,38				
ΔL _{rocha} (mm)=	4,25				
ΔL _{total} (mm)=	8,34				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	3,81				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	558,45				
E (MPa)=	124,64				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,53				
E (MPa)=	167,68				
$G_s =$	69.865,93				
$P_{rocha} =$	2.127,44				
Lambda=	366,42				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$					
$Q_u / Q =$	0,0721				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$					
$\mu =$	0,0039				
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z =$	7,20				
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0028				
Para z igual a 0					
$z =$	0,00				
$w (z=0) =$	0,0028				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 85A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{total} (m)	11,00	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{total} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{total})$ Kr_1 (KN/mm) 307,10	
L _{rodha} (m)	5,10	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{total} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 4.1cm - E85-A

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.437,84	
Alr(kN)=	1497,61	43,56%
P ₁ (kN)=	1761,75	51,25%
P ₂ (kN)=	178,48	5,19%
AS=	0,00	
f _{s_rodha} (MPa)=	0,35	
f _{s_total} (MPa)=	0,11	
E=	173,30	

Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	500	1000	
x2	3222	3222	
y1	0	0	
y2	10,89	10,89	
m	0,004	0,0049	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2	-4,9	$n = y - mx$

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	500	0
	500	0
	3222	10,89
Reta Vermelha	1000	0
	1000	0
	3222	10,89

Isolando a variável X

$y = 0,004x - 2$
 $x = 500 + 250y$

$C_1 = 500,00$
 $C_2 = 250,00$

$y = 0,0049x - 4,9$
 $x = 1000 + 204,08y$

$C_1 = 1.000,00$
 $C_2 = 204,08$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * Z * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS= 608,36

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$z * Kr * \beta =$ 250,00

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	1,98
β=	1,09

Z1=	0,74
Lambda=	2,66
β=	1,23

Z2=	0,66
Lambda=	2,99
β=	1,31

Z3=	0,62
Lambda=	3,18
β=	1,35

Z4=	0,60
Lambda=	3,29
β=	1,38

Z5=	0,59
Lambda=	3,36
β=	1,40

Z6=	0,58
Lambda=	3,41
β=	1,41

Z7=	0,58
Lambda=	3,43
β=	1,42

Z8=	0,57
Lambda=	3,45
β=	1,42

Z9=	0,57
Lambda=	3,47
β=	1,43

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * B' / z = z * Kr * \beta$

$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$ 100,15

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * B' / (z * C_2)$ e chamando $b = B' / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

b=	0,010				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	3222,22				
$Y_0 =$	10,89				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	250,00				
E					
$\beta' / z =$	2,50				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	100,15				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	100,15				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.222,22				
$Y_0 =$	10,89				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	250,00				
E					
$\beta' / z =$	2,50				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	100,15				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.222,22				
$Y_0 =$	10,89				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr * C2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr / C2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(P_0 - (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C2) * 2Kr / C2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1		d2 = C2		
$\mu * Alr + A * S =$	1.497,61				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	3.222,22				
$Y_0 =$	10,89				
$C_2 =$	204,08	$C_2 * Y_0 =$	2.222,22		
$Kr =$	307,10	$2 * Kr / C_2 =$	3,01		
$A * S =$	0,00				
$\mu * Alr + A * S =$	1497,61				
$\mu * Alr =$	1497,61				
$ReqS =$	608,36				
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	105,75				
$f_{s_{solo}}$ (MPa)	0,11				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	14,95	Como $\mu * Alr =$	1497,61	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	100,15
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.437,84				
Recalque da carga máxima mobilizada=	12,20				
$P_{rocha} =$	1940,23				
Deslocamento no topo=	3,19				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.437,84				
L=	11,00				
$P_{rocha} =$	1940,23				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.689,04				
ΔL (mm)=	8,76				
	11,95	12,20	0,25	Ok	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.437,84				
r_m	10,20				
r_o	0,16				
ζ	4,19				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = Alr * qsi / 2 * 3,14 * L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
$P_p / P_L =$	0,1013				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$					
Temos que $1,1 * P_L = P_{rocha}$	1,10				
$P_L =$	1.761,75				
$P_p =$	178,48				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	354,88				

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

$f_{s,rocha}$ (MPa) = 0,35

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_o/[2*(1+0,2)] = 0,06$

Depois o valor de $4/(1-0,2) = 5,00$

Depois $2*3,14*L/qsi*r_o = 49,35$

Q/w = 3,51

Temos então que $ReqS = 3,51*E$

E (MPa) = 173,30

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 3.437,84

Adesão (AS) =

$L_{solo} = 11,00$

$L_{rocha} = 5,10$

$P_{rocha} = 1940,23$

$P_p = 178,48$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$

N (Média) = 2.689,04

$\Delta L_{solo}(mm) = 8,76$

N (Média) = 1.059,36

$\Delta L_{rocha}(mm) = 2,80$

$\Delta L_{total}(mm) = 11,55$

O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 3,44

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS = 563,39$

E (MPa) = 160,49

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

$\zeta = 4,19$

E (MPa) = 173,30

$G_o = 72.209,70$

$P_{rocha} = 1.940,23$

Lambda = 354,52

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_o/Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + ((2*3,14*L_{rocha}) / (qsi*r_o)))$

$Q_o/Q = 0,0920$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_o/(r_o * G_o)] * (0,8/4) * \cosh [\mu*(L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1/r_o)*(2/qsi*lambda)$

$\mu = 0,0043$

Para z igual ao comprimento da rocha

$z = 5,10$

$w (z = L_{rocha}) = 0,0032$

Para z igual a 0

$z = 0,00$

$w (z=0) = 0,0032$

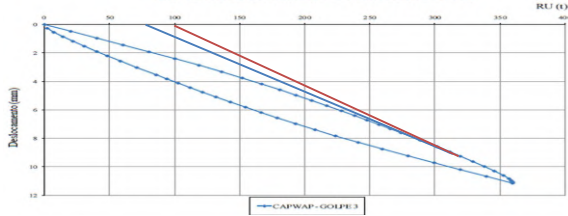
Como $w_o = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



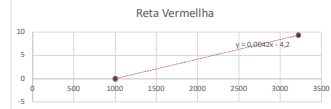
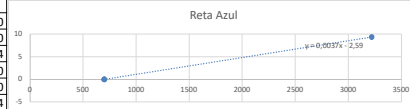
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 90A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	11,20	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$	
L _{rocha} (m)	6,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
			Kr ₁ (KN/mm)	301,62	

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E90-A



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	700	1000	
x2	3220	3220	
y1	0	0	
y2	9,32	9,32	
m	0,0037	0,0042	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	-2,59	-4,2	$n = y - mx$
Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	700	0	
	700	0	
	3220	9,324	
Reta Vermelha	1000	0	
	1000	0	
	3220	9,324	



Resultado			
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.527,02		
Alr(kN)=	1652,06	46,84%	
P _r (kN)=	1721,01	48,79%	
P _d (kN)=	153,95	4,36%	
AS=	0,00		
f _{s,calculado} (MPa)=	0,29		
f _{s,solo} (MPa)=	0,11		
E=	287,46		
E(retro-análise)=	222,26		

Isolando a variável X

$$y = 0,0037x - 2,59$$

$$x = 700 + 270,27y$$

$$C_1 = 700,00$$

$$C_2 = 270,27$$

$$y = 0,0042x - 4,2$$

$$x = 1000 + 238,1y$$

$$C_1 = 1.000,00$$

$$C_2 = 238,10$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (Y_0/\mu * Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * K_r}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 1.130,50$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 270,27$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 3,75$$

$$\beta = 1,17$$

$$Z1 = 0,77$$

$$\lambda = 4,89$$

$$\beta = 1,33$$

$$Z2 = 0,67$$

$$\lambda = 5,58$$

$$\beta = 1,44$$

$$Z3 = 0,62$$

$$\lambda = 6,04$$

$$\beta = 1,52$$

$$Z4 = 0,59$$

$$\lambda = 6,36$$

$$\beta = 1,58$$

$$Z5 = 0,57$$

$$\lambda = 6,60$$

$$\beta = 1,62$$

$$Z6 = 0,55$$

$$\lambda = 6,78$$

$$\beta = 1,65$$

$$Z7 = 0,54$$

$$\lambda = 6,91$$

$$\beta = 1,68$$

$$Z8 = 0,53$$

$$\lambda = 7,01$$

$$\beta = 1,69$$

$$Z9 = 0,53$$

$$\lambda = 7,08$$

$$\beta = 1,71$$

Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$

$$((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) = 83,78$$

Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$

$$b = 0,012$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:				
	P ₀ =	3220		
	Y ₀ =	9,324		
Utilizando a expressão P ₀ = μ *Alr*(β'/z)*(Y ₀ /μ*Y ₁) + A*S*W ₂				
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀				
	μ*Alr*β'/(z*Y ₁)=	270,27		
E	β'/z=	3,23		
Dessa forma tem-se				
	(μ*Alr) / (μ*Y ₁) =	83,78		
Entretanto, sabendo que μ*Y ₁ = μ*Alr*b temos que 1/b = (μ*Alr) / (μ*Y ₁)				
	(μ*Alr) / (μ*Y ₁) =	83,78		
Os valores são próximos mas não são iguais.				
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:				
	P ₀ =	3.220,00		
	Y ₀ =	9,32		
Pela Reta Azul				
Utilizando a expressão Po = μ*Alr*(β'/z)*(Y ₀ /μ*Y ₁) + A*S*W ₂				
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀				
	μ * Alr * β'/(z*Y1)=	270,27		
E	β'/z=	3,23		
Dessa forma tem-se				
	(μ * Alr) / (μ * Y1) =	83,78		
Pela reta vermelha				
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:				
	P ₀ =	3.220,00		
	Y ₀ =	9,32		
$Po = (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$				
$Po - (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$				
Sabendo que 1/(1/ReqS + 1/kr) = C2, temos que 1/ReqS + 1/kr = 1/C2				
Então,				
$Po - (\mu * Alr + A * S) \cdot \frac{y_0 * 1}{1/C2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$				
$(-Po + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C2) * 2Kr * C2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$				
$(-Po + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C2) * 2Kr / C2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$				
$(-Po + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C2) * 2Kr / C2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$				
Primeiro, sabendo que				
	(μ * Alr + A * S) = d1/(1 - (d2/(2 * Kr)))	d1 = C1	d2 = C2	
	μ*Alr + A*S =	1.652,06		
Substituindo na equação, temos				
	P ₀ =	3.220,00		
	Y ₀ =	9,32		
	C ₂ =	238,10	C ₂ *Y ₀ =	2.220,00
	Kr=	301,62	2*Kr/C ₂ =	2,53
	A*S=	0,00		
	μ*Alr + A*S =	1652,06		
	μ*Alr =	1652,06		
	ReqS=	1130,50		
	f _{S_{20k}} (KPa)	114,58		
	f _{S_{20k}} (MPa)	0,11		
Utilizando as expressões μ*Alr e μ*Alr/μ*Y ₁ , temos que μ*Y ₁				
	μ*Y ₁ =	19,72	Como μ * Alr =	1652,06 e (μ*Alr)/(μ*y1)= 83,78
Para a maior carga e o maior recalque, temos				
	Carga máxima mobilizada=	3.527,02		
	Recalque da carga máxima mobilizada=	11,10		
	P _{rocha} =	1874,96		
	Deslocamento no topo=	1,66		
	Carga máxima mobilizada -	3.527,02		
	Adesão (AS)=			
	L=	11,20		
	P _{rocha} =	1874,96		
Calculando o encurtamento do fuste, ΔL = N*L/E*A				
	N (Média)=	2.700,99		
	ΔL(mm)=	8,95		
		10,61	11,10	0,49 Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que W _p = W _i =W				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
	Qu= Carga máxima mobilizada	3.527,02		
	r _m	12,00		
	r _o	0,16		
	ζ	4,35		
Como W _p = W _i =W				
Logo (1 - 0,2)*P _p /4 *r _o = Alr * qsi / 2*3,14*L				
Dessa forma encontramos a Relação de P _p e P _i				
	P _p /P _i =	0,0895		
Substituindo a relação de P _p em função de P _i na expressão P _p + P _i = P _{rocha}				
	Temos que 1,09*PL = Procha	1,09		
	P _i =	1.721,01		
	P _o =	153,95		
Passamos a calcular o f _{S_{rocha}}				
	f _{S_{rocha}} (KPa)	294,67		

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

$f_{s,rocha}$ (MPa) = 0,29

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_o/[2*(1+0,2)] = 0,06$

Depois o valor de $4/(1-0,2) = 5,00$

Depois $2*3,14*L/qsi*r_o = 55,89$

Q/w = 3,93

Temos então que $ReqS = 3,93*E$

E (MPa) = 287,46

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 3.527,02

Adesão (AS)=

$L_{solo} = 11,20$

$L_{rocha} = 6,00$

$P_{rocha} = 1874,96$

$P_p = 153,95$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$

N (Média) = 2.700,99

$\Delta L_{solo}(mm) = 8,95$

N (Média) = 1.014,46

$\Delta L_{rocha}(mm) = 3,15$

$\Delta L_{total}(mm) = 12,11$

O recalque na ponta fictícia (entre solo e rocha) = 2,15

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS = 874,09$

E (MPa) = 222,26

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

$\zeta = 4,35$

E (MPa) = 287,46

$G_o = 119.774,26$

$P_{rocha} = 1.874,96$

Lambda = 213,74

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_o/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)+((2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_o)))$

$Q_o/Q = 0,0821$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_o/(r_o * G_o)] * (0,8/4) * \cosh [\mu*(L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1/r_o)*(Z/qsi*lambda)$

$\mu = 0,0069$

Para z igual ao comprimento da rocha

$z = 6,00$

$w (z = L_{rocha}) = 0,0017$

Para z igual a 0

$z = 0,00$

$w (z=0) = 0,0017$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 96A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{so} (m)	8,40	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{so} = (E * (\pi * r^4)) / (4 * L \text{ solo})$ Kr ₁ (KN/mm) 402,16	
L _{rocha} (m)	7,50	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{so} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E96-A					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 3.307,50 Alr(kN)= 1196,51 36,18% P _r (kN)= 1963,28 59,36% P _r (kN)= 147,71 4,47% AS= 0,00 f _{s100k} (MPa)= 0,27 f _{s100k} (MPa)= 0,11 E= 97,90		
x1	700	880			
x2	2815	2815			
y1	0	0			
y2	9,09	9,09			
m	0,0043	0,0047			
n	-3,01	-4,136	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
	X	Y			
	700	0			
	700	0			
	2815	9,09			
	880	0			
	880	0			
	2815	9,09			
Isolando a variável X					
y = 0,0043x - 3,01			y = 0,0047x - 4,136		
x = 700 + 232,56y			x = 880 + 212,77y		
	C ₁ =	700,00		C ₁ =	880,00
	C ₂ =	232,56		C ₂ =	212,77
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_2) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_2)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{2 * Kr} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ $\frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 451,79					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β = 232,56					
E sabendo que lambda = (ReqS/ Kr)/z					
Z0=	1				
Lambda=	1,12				
β=	1,02				
Z1=	0,57				
Lambda=	1,97				
β=	1,23				
Z2=	0,47				
Lambda=	2,40				
β=	1,38				
Z3=	0,42				
Lambda=	2,69				
β=	1,50				
Z4=	0,39				
Lambda=	2,91				
β=	1,58				
Z5=	0,37				
Lambda=	3,07				
β=	1,65				
Z6=	0,35				
Lambda=	3,20				
β=	1,70				
Z7=	0,34				
Lambda=	3,31				
β=	1,75				
Z8=	0,33				
Lambda=	3,39				
β=	1,78				
Z9=	0,32				
Lambda=	3,46				
β=	1,81				
Z10=	0,32				
Lambda=	3,51				
β=	1,83				

Z11=	0,32				
Lambda=	3,56				
β=	1,85				
Z12=	0,31				
Lambda=	3,60				
β=	1,87				
Z13=	0,31				
Lambda=	3,63				
β=	1,88				
Z14=	0,31				
Lambda=	3,65				
β=	1,89				
Z15=	0,31				
Lambda=	3,67				
β=	1,90				
Z16=	0,30				
Lambda=	3,69				
β=	1,91				
Z17=	0,30				
Lambda=	3,71				
β=	1,91				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta' / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) =$	36,84				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta' / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
b=	0,027				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P ₀ =	2815				
Y ₀ =	9,0945				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1) + A * S * W_2)$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	232,56				
E					
$\beta' / z =$	6,31				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	36,84				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	36,84				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.815,00				
Y ₀ =	9,09				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta' / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1) + A * S * W_2)$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta' / (z * Y_1) =$	232,56				
E					
$\beta' / z =$	6,31				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	36,84				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P ₀ =	2.815,00				
Y ₀ =	9,09				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 * (1 / ReqS + 1 / Kr) = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 * (1 / ReqS + 1 / Kr) - \frac{y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 * (1 / ReqS + 1 / Kr) - \frac{y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(P_0 * (1 / ReqS + 1 / Kr) - y_0 * C_2) * 2 * Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(P_0 * (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2 * Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(P_0 * (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2 * Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.196,51				
Substituindo na equação, temos					
P ₀ =	2.815,00				
Y ₀ =	9,09				
C ₂ =	212,77	C ₂ *Y ₀ =	1.935,00		
Kr=	402,16	2*Kr/C ₂ =	3,78		
A*S=	0,00				
$\mu * Alr + A * S =$	1196,51				
$\mu * Alr =$	1196,51				
ReqS=	451,79				
f _{S₀₁₀} (KPa)	110,64				
f _{S₀₁₀} (MPa)	0,11				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	32,48	Como $\mu * Alr =$	1196,51	e $(\mu * Alr) / (\mu * y1) =$	36,84
Para a maior carga e o maior recalque, temos					

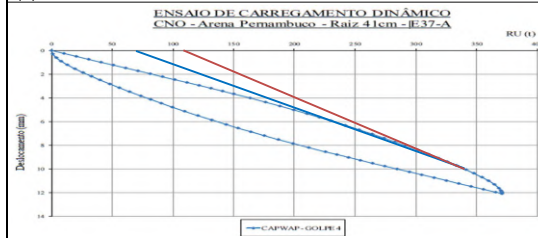
Carga máxima mobilizada=	3.307,50				
Recalque da carga máxima mobilizada=	12,30				
P_{rocha} =	2110,99				
Deslocamento no topo=	4,67				
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.307,50				
L=	8,40				
P_{rocha} =	2110,99				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$					
N (Média)=	2.709,24				
ΔL (mm)=	6,74				
	11,41	12,30	0,89	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.307,50				
r_m	15,00				
r_o	0,16				
ζ	4,57				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot \zeta / 2 \cdot 3,14 \cdot L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
P_p / P_L =	0,0752				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$					
Temos que $1,08 \cdot P_L = P_{rocha}$					
P_L =	1.963,28				
P_o =	147,71				
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$					
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	268,92				
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,27				
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w					
Primeiro encontrando a					
constantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)]$ =					
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2)$ =					
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / \zeta \cdot r_o$ =					
Q/w	4,61				
Temos então que $\text{ReqS} = 4,61 \cdot E$					
E (MPa)=	97,90				
Verificação para a carga máxima de topo da estaca					
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.307,50				
L_{solo} =	8,40				
L_{rocha} =	7,50				
P_{rocha} =	2110,99				
P_p =	147,71				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$					
N (Média)=	2.709,24				
ΔL_{solo} (mm)=	6,74				
N (Média)=	1.129,35				
ΔL_{rocha} (mm)=	4,39				
ΔL_{total} (mm)=	11,12				
O recalque na ponta fictícia					
(entre solo e rocha)=	5,56				
E para $\text{ReqS} = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$					
ReqS=	379,45				
E (MPa)=	82,22				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:					
ζ	4,57				
E (MPa)=	97,90				
G_s =	40.790,07				
P_{rocha} =	2.110,99				
Lambda=	627,60				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:					
$Q_b / Q = (4 / 0,8) / \{ (4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (\zeta \cdot r_o)] \}$					
$Q_b / Q = 0,0700$					
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:					
$w(z) = [Q_b / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8/4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$					
Calculando o $\mu = (1/r_o) \cdot (Z / \zeta \cdot \lambda)$					
$\mu = 0,0022$					
Para z igual ao comprimento da rocha					
$z = 7,50$					
$w (z = L_{rocha}) = 0,0047$					
Para z igual a 0					
$z = 0,00$					
$w (z=0) = 0,0047$					
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.					



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca E 37A

Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	10,70	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)		Kr ₁ (KN/mm)	315,71



Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	800	1250
x2	3350	3350
y1	0	0
y2	10,00	10,00
m	0,0039	0,0048
n	-3,12	-6

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	800	0
	800	0
	3350	10
	3350	10
Reta Vermelha	1250	0
	1250	0
	3350	10
	3350	10

Isolando a variável X

$$y = 0,0039x - 3,12$$

$$x = 800 + 256,41y$$

$$C_1 = 800,00$$

$$C_2 = 256,41$$

Isolando a variável Y

$$y = 0,0048x - 6$$

$$x = 1250 + 208,33y$$

$$C_1 = 1.250,00$$

$$C_2 = 208,33$$

Sabendo que $P_0 = \mu \cdot A \cdot r \cdot (B/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 \cdot Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A \cdot S \cdot W_2$ e $C_2 = \mu \cdot A \cdot r \cdot (B/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_1)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu \cdot A \cdot r \cdot A \cdot S)}{Y_0 - \mu \cdot A \cdot r \cdot 2 \cdot A \cdot S} = \frac{1}{R \cdot S} + \frac{1}{R \cdot Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 \cdot Y_0 = a \cdot Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 612,53$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z \cdot Kr \cdot \beta = 256,41$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$Z0 = 1$$

$$\lambda = 1,94$$

$$\beta = 1,09$$

$$Z1 = 0,74$$

$$\lambda = 2,60$$

$$\beta = 1,22$$

$$Z2 = 0,66$$

$$\lambda = 2,92$$

$$\beta = 1,30$$

$$Z3 = 0,63$$

$$\lambda = 3,10$$

$$\beta = 1,34$$

$$Z4 = 0,60$$

$$\lambda = 3,21$$

$$\beta = 1,37$$

$$Z5 = 0,59$$

$$\lambda = 3,28$$

$$\beta = 1,39$$

$$Z6 = 0,58$$

$$\lambda = 3,32$$

$$\beta = 1,40$$

$$Z7 = 0,58$$

$$\lambda = 3,35$$

$$\beta = 1,41$$

$$Z8 = 0,58$$

$$\lambda = 3,36$$

$$\beta = 1,41$$

$$Z9 = 0,58$$

$$\lambda = 3,37$$

$$\beta = 1,41$$

Sabendo que $((\mu \cdot A \cdot r) / (\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta / z = z \cdot Kr \cdot \beta$

$$((\mu \cdot A \cdot r) / (\mu \cdot Y_1)) = 104,27$$

Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot A \cdot r \cdot \beta / (z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta / (z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot A \cdot r \cdot b$

$$b = 0,010$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$P_0 = 3350$$

$$Y_0 = 10$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^* Alr \cdot (\beta'/z) \cdot (Y_0/\mu^* Y_1) + A^* S \cdot W_2$
 Reestruturando temos $\mu^* Alr \cdot \beta'/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A^* S \cdot W_2)/Y_0$

$$\mu^* Alr \cdot \beta'/(z \cdot Y_1) = 255,00$$

E

$$\beta'/z = 2,46$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) = 103,70$$

Entretanto, sabendo que $\mu^* Y_1 = \mu^* Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1)$

$$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) = 104,27$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 3.350,00$$

$$Y_0 = 10,00$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^* Alr \cdot (\beta'/z) \cdot (Y_0/\mu^* Y_1) + A^* S \cdot W_2$
 Reestruturando temos $\mu^* Alr \cdot \beta'/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A^* S \cdot W_2)/Y_0$

$$\mu^* Alr \cdot \beta'/(z \cdot Y_1) = 255,00$$

E

$$\beta'/z = 2,46$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^* Alr) / (\mu^* Y_1) = 103,70$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 3.350,00$$

$$Y_0 = 10,00$$

$$P_0 = (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{(\mu + Alr + 2 \cdot A + S)}{2 \cdot Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu + Alr + 2 \cdot A + S)}{2 \cdot Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C2$

Então,

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C2} = \frac{(\mu + Alr + 2 \cdot A + S)}{2 \cdot Kr} \cdot \frac{1}{1/C2}$$

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) + y_0 \cdot C2 = (\mu + Alr + 2 \cdot A + S)$$

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) + y_0 \cdot C2 = 2K \cdot C2 = (\mu + Alr + A + S + A + S)$$

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) + y_0 \cdot C2 = 2Kr/C2 \cdot (\mu + Alr + A + S) = A + S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu + Alr + A + S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^* Alr + A^* S = 1.865,51$$

Substituindo na equação, temos

$$P_0 = 3.350,00$$

$$Y_0 = 10,00$$

$$C_2 = 208,33$$

$$Kr = 315,71$$

$$C_2 \cdot Y_0 = 2.083,33$$

$$2 \cdot Kr / C_2 = 3,03$$

$$A^* S = -50,51$$

$$\mu^* Alr + A^* S = 1865,51$$

$$\mu^* Alr = 1865,51$$

$$ReqS = 612,53$$

$$f_{s_{solo}} (KPa) = 135,43$$

$$f_{s_{solo}} (MPa) = 0,14$$

Utilizando as expressões $\mu^* Alr$ e $\mu^* Alr/\mu^* Y_1$, temos que $\mu^* Y_1$

$$\mu^* Y_1 = 17,99$$

$$\text{Como } \mu^* Alr =$$

$$1865,51$$

$$\text{e } (\mu^* Alr)/(\mu^* Y_1) =$$

$$103,70$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.633,84$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 12,00$$

$$P_{rocha} = 1768,33$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 2,89$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.633,84$$

$$\text{Adesão (AS)} = 10,70$$

$$P_{rocha} = 1768,33$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

$$N \text{ (Média)} = 2.701,09$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 8,56$$

$$11,44$$

$$12,00$$

$$0,56$$

Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

$$Q_u = \text{Carga máxima mobilizada} = 3.633,84$$

$$r_m = 10,00$$

$$r_o = 0,16$$

$$\zeta = 4,17$$

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot \psi / 2 \cdot 3,14 \cdot L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L

$$P_p / P_L = 0,1028$$

Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$

$$\text{Temos que } 1,1 \cdot PL = Procha$$

$$P_L = 1.603,43$$

$$P_p = 164,91$$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$$f_{s_{rocha}} (KPa) = 329,45$$

$$f_{s_{rocha}} (MPa) = 0,33$$

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a	
contantes $r_g/[2*(1+0,2)]$ =	0,06
Depois o valor de $4/(1-0,2)$ =	5,00
Depois $2*3,14*L/qsi*r_g$ =	48,62
Q/w	3,46
Temos então que $ReqS = 3,46*E$	
E (MPa)=	176,89

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada	3.633,84
Adesão (AS)=	
L_{solo} =	10,70
L_{rocha} =	5,00
P_{rocha} =	1768,33
P_p =	164,91

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$

N (Média)=	2.701,09
$\Delta L_{solo}(mm)$ =	8,56
N (Média)=	966,62
$\Delta L_{rocha}(mm)$ =	2,50
$\Delta L_{total}(mm)$ =	11,06

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha)=	3,44
-----------------------	------

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

ReqS=	513,38
E (MPa)=	148,26

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa)=	176,89
G_s =	73.705,11
P_{rocha} =	1.768,33
Lambda=	347,33

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u/Q = (4/0,8)/((4/0,8)+\{[2*3,14*L_{rocha}]/(qsi*r_g)\})$$

$$Q_u/Q = 0,0933$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u/(r_g * G_s)] * (0,8/4) * \cosh[\mu * (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o $\mu = (1/r_g)*(2/qsi*lambda)$

$$\mu = 0,0045$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 5,00$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0029$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0029$$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 37A					
Dados					
L _{solo} (m)	9,30	Fck (KN/m²)	20000	Calculando o Kr1 com os dados de entrada $Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ Kr_1 (KN/mm) 363,24	
L _{rodha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E42-A					
Cálculo da Equação da Reta					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
x1	500	980			
x2	3000	3000			
y1	0	0			
y2	9,00	9,00			
m	0,0036	0,0045	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$		
n	-1,8	-4,41	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	X	Y			
Reta Azul	500	0			
	500	0			
	3000	9			
Reta Vermelha	980	0			
	980	0			
	3000	9,00			
Isolando a variável X					
$y = 0,0036x - 1,8$ $x = 500 + 277,78y$			$y = 0,0045x - 4,41$ $x = 980 + 222,22y$		
$C_1 = 500,00$ $C_2 = 277,78$			$C_1 = 980,00$ $C_2 = 222,22$		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_0$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$					
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_0$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$					
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_0)}{Y_0 - \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$					
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5					
Req5 = 572,41					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta = 277,78$					
E sabendo que $\lambda = (Req5 / Kr) / z$					
Z0 =	1				
Lambda =	1,58				
β =	1,06				
Z1 =	0,72				
Lambda =	2,19				
β =	1,19				
Z2 =	0,64				
Lambda =	2,46				
β =	1,27				
Z3 =	0,60				
Lambda =	2,61				
β =	1,31				
Z4 =	0,59				
Lambda =	2,69				
β =	1,33				
Z5 =	0,57				
Lambda =	2,74				
β =	1,35				
Z6 =	0,57				
Lambda =	2,78				
β =	1,36				
Z7 =	0,56				
Lambda =	2,79				
β =	1,36				
Z8 =	0,56				
Lambda =	2,81				
β =	1,36				
Z9 =	0,56				
Lambda =	2,81				
β =	1,37				
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_0)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_0) = 113,87$					

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,009$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$P_0 = 3000$$

$$Y_0 = 9$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta' / z) \cdot (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = 277,78$$

E

$$\beta' / z = 2,44$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 113,87$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 113,87$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 3.000,00$$

$$Y_0 = 9,00$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta' / z) \cdot (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = 277,78$$

E

$$\beta' / z = 2,44$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 113,87$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 3.000,00$$

$$Y_0 = 9,00$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr / C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr / C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1 / (1 - (d2 / (2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.411,88$$

Substituindo na equação, temos

$$P_0 = 3.000,00$$

$$Y_0 = 9,00$$

$$C_2 = 222,22$$

$$Kr = 363,24$$

$$C_2 \cdot Y_0 =$$

$$2.000,00$$

$$2^*Kr / C_2 =$$

$$3,27$$

$$A^*S = -65,38$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1411,88$$

$$\mu^*Alr = 1411,88$$

$$ReqS = 572,41$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (KPa)} = 117,92$$

$$f_{s_{calc}} \text{ (MPa)} = 0,12$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr / μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 12,40$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1411,88$$

$$\text{e } (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$$

$$113,87$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.136,00$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 10,30$$

$$P_{rocha} = 1724,12$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 3,01$$

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.136,00$$

$$\text{Adesão (AS)} = 9,30$$

$$P_{rocha} = 1724,12$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L / E^*A$

$$N \text{ (Média)} = 2.430,06$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 6,69$$

$$9,70$$

$$10,30$$

$$0,60$$

$$\text{Revisar}$$

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

$$Q_u = \text{Carga máxima mobilizada} = 3.136,00$$

$$r_m = 10,00$$

$$r_o = 0,16$$

$$\zeta = 4,17$$

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot \zeta / 2^*3,14^*L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$$P_p / P_l = 0,1028$$

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{rocha}$

Temos que $1,1^*P_l = P_{rocha}$

$$P_l = 1.563,34$$

$$P_o = 160,78$$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$$f_{s_{rocha}} \text{ (KPa)} = 321,21$$

$$f_{s_{rocha}} \text{ (MPa)} = 0,32$$

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

$$\text{contantes } r_d/[2*(1+0,2)] = 0,06$$

$$\text{Depois o valor de } 4/(1-0,2) = 5,00$$

$$\text{Depois } 2*3,14*L/qsi*r_d = 48,62$$

$$Q/w = 3,46$$

Temos então que $ReqS = 3,46 * E$

$$E \text{ (MPa)} = 165,31$$

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.136,00$$

$$\text{Adesão (AS)} =$$

$$L_{solo} = 9,30$$

$$L_{rocha} = 5,00$$

$$P_{rocha} = 1724,12$$

$$P_p = 160,78$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$

$$N \text{ (Média)} = 2.430,06$$

$$\Delta L_{solo} \text{ (mm)} = 6,69$$

$$N \text{ (Média)} = 942,45$$

$$\Delta L_{rocha} \text{ (mm)} = 2,44$$

$$\Delta L_{total} \text{ (mm)} = 9,13$$

O recalque na ponta fictícia

$$\text{(entre solo e rocha)} = 3,61$$

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$$ReqS = 477,59$$

$$E \text{ (MPa)} = 137,92$$

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

$$\zeta = 4,17$$

$$E \text{ (MPa)} = 165,31$$

$$G_s = 68.877,51$$

$$P_{rocha} = 1.724,12$$

$$\text{Lambda} = 371,67$$

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u/Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + ((2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_d)))$$

$$Q_u/Q = 0,0933$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u/(r_d * G_s)] * (0,8/4) * \cosh[\mu * (L_{rocha} - z)]$$

$$\text{Calculando o } \mu = (1/r_d) * (2/qsi * \text{lambda})$$

$$\mu = 0,0042$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 5,00$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0030$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0030$$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 49A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,47	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$ Kr ₁ (KN/mm) 617,58	
L _{rocha} (m)	5,23	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E49A

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	700	1350
x2	3250	3250
y1	0	0
y2	10,00	10,00
m	0,0039	0,0053
n	-2,73	-7,155

Plotagem das Retas		
	Reta Azul	Reta Vermelha
X	700	1350
Y	0	0
	3250	10
	1350	0
	1350	0
	3250	10,00

Reta Azul

Reta Vermelha

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.352,58	
Alr(kN)=	1593,41	47,53%
P _r (kN)=	1600,15	47,73%
P _r (kN)=	159,03	4,74%
AS=	-86,46	
f _{s_{rocha}} (MPa)=	0,31	
f _{s_{solo}} (MPa)=	0,23	
E=	76,06	

Isolando a variável X

y = 0,0039x - 2,73
x = 700 + 256,41y

C₁ = 700,00
C₂ = 256,41

y = 0,0053x - 7,155
x = 1350 + 188,68y

C₁ = 1.350,00
C₂ = 188,68

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

b= 0,010	
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:	
P ₀ = 3250	
Y ₀ = 10	
Utilizando a expressão P ₀ = μ*Alr*(β'/z)*(Y ₀ /μ*Y ₁) + A*S*W ₂	
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀	
μ*Alr*β'/(z*Y ₁)= 255,00	
E β'/z= 2,65	
Dessa forma tem-se (μ*Alr) / (μ*Y ₁) = 96,27	
Entretanto, sabendo que μ*Y ₁ = μ*Alr*b temos que 1/b = (μ*Alr) / (μ*Y ₁)	
(μ*Alr) / (μ*Y ₁) = 96,80	
Os valores são próximos mas não são iguais.	
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:	
P ₀ = 3.250,00	
Y ₀ = 10,00	
Pela Reta Azul	
Utilizando a expressão Po = μ*Alr*(β'/z)*(Y ₀ /μ*Y ₁) + A*S*W ₂	
Reestruturando temos μ*Alr*β'/(z*Y ₁) = (P ₀ - A*S*W ₂)/Y ₀	
μ * Alr * β'/(z*Y1)= 255,00	
E β'/z= 2,65	
Dessa forma tem-se (μ * Alr) / (μ * Y1) = 96,27	
Pela reta vermelha	
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:	
P ₀ = 3.250,00	
Y ₀ = 10,00	
$Po = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$	
$Po - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$	
Sabendo que 1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2, temos que 1/ReqS + 1/Kr = 1/C2	
Então,	
$Po - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/C2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{1/C2}$	
(-Po + (μ * Alr + A * S) + Y0*C2) * 2Kr*C2 = (μ * Alr + 2 * A * S)	
(-Po + (μ * Alr + A * S) + y0*C2) * 2Kr/C2 = (μ * Alr + A * S + A * S)	
(-Po + (μ * Alr + A * S) + y0*C2) * 2Kr/C2 - (μ * Alr + A * S) = A * S	
Primeiro, sabendo que	
(μ * Alr + A * S) = d1/(1 - (d2/(2 * Kr)))	d1 = C1 d2 = C2
μ*Alr + A*S = 1.593,41	
Substituindo na equação, temos	
P ₀ = 3.250,00	
Y ₀ = 10,00	
C ₂ = 188,68	C ₂ *Y ₀ = 1.886,79
Kr= 617,58	2*Kr/C ₂ = 6,55
A*S= -86,46	
μ*Alr + A*S = 1593,41	
μ*Alr = 1593,41	
ReqS= 271,68	
f _{S_{20k}} (KPa) 226,27	
f _{S_{20k}} (MPa) 0,23	
Utilizando as expressões μ*Alr e μ*Alr/μ*Y ₁ , temos que μ*Y ₁	
μ*Y ₁ = 16,55	Como μ * Alr = 1593,41 e (μ*Alr)/(μ*y1)= 96,27
Para a maior carga e o maior recalque, temos	
Carga máxima mobilizada= 3.352,58	
Recalque da carga máxima mobilizada= 11,40	
P _{rocha} = 1759,17	
Deslocamento no topo= 6,48	
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)= 3.352,58	
L= 5,47	
P _{rocha} = 1759,17	
Calculando o encurtamento do fuste, ΔL = N*L/E*A	
N (Média)= 2.555,88	
ΔL(mm)= 4,14	
10,61	11,40 0,79 Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)	
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que W _p = W _i =W	
Vamos utilizar os seguintes valores:	
Qu= Carga máxima mobilizada 3.352,58	
r _m 10,46	
r _o 0,16	
ζ 4,21	
Como W _p = W _i =W	
Logo (1 - 0,2)*P _p /4 *r _o = Alr * qsi / 2*3,14*L	
Dessa forma encontramos a Relação de P _p e P _i	
P _p /P _i = 0,0994	
Substituindo a relação de P _p em função de P _i na expressão P _p + P _i = P _{rocha}	
Temos que 1,1*PL = Procha 1,10	
P _i = 1.600,15	
P _p = 159,03	
Passamos a calcular o f _{S_{rocha}}	

Expressão de Randolp=
$$R_{eq\ S} = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa) 314,32
 $f_{s_{rocha}}$ (MPa) 0,31
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a
constantes $r_u/[2*(1+0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4/(1-0,2) = 5,00$
Depois $2*3,14*L/(qsi*r_u) = 50,31$
Q/w 3,57
Temos então que $ReqS = 3,57*E$
E (MPa) 76,06

Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - 3.352,58
Adesão (AS) =
 $L_{solo} = 5,47$
 $L_{rocha} = 5,23$
 $P_{rocha} = 1759,17$
 $P_p = 159,03$
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$
N (Média) = 2.555,88
 $\Delta L_{solo}(mm) = 4,14$

N (Média) = 959,10
 $\Delta L_{rocha}(mm) = 2,60$
 $\Delta L_{total}(mm) = 6,74$

O recalque na ponta fictícia
(entre solo e rocha) = 7,26
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS = 242,26$
E (MPa) 67,82

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ 4,21
E (MPa) 76,06
 $G_u = 31.690,11$
 $P_{rocha} = 1.759,17$
Lambda = 807,82

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_u/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)+[(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_u)])$
 $Q_u/Q = 0,0904$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_u/(r_u * G_u)] * (0,8/4) * \cosh [\mu*(L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1/r_u)*(2/qsi*lambda)$

$\mu = 0,0019$
Para z igual ao comprimento da rocha
 $z = 5,23$
 $w (z = L_{rocha}) = 0,0065$

Para z igual a 0
 $z = 0,00$
 $w (z=0) = 0,0065$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO																																																																	
Estaca E 54A																																																																	
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada																																																														
L _{solo} (m)	11,10	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L_{solo})$ Kr ₁ (KN/mm) 304,34																																																													
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000																																																														
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075																																																														
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14																																																														
L (m)																																																																	
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E54-A																																																																	
Cálculo da Equação da Reta			Resultado																																																														
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																															
x1	833	1273	Carga máxima mobilizada (kN)=	3.546,62																																																													
x2	3500	3500	Alr(kN)=	1829,66	51,59%																																																												
y1	0	0	P _r (kN)=	1556,84	43,90%																																																												
y2	12,00	12,00	P _r (kN)=	160,11	4,51%																																																												
m	0,0045	0,0054	AS=	-15,70																																																													
n	-3,7485	-6,8742	fs _{rocha} (MPa)=	0,32																																																													
			fs _{solo} (MPa)=	0,13																																																													
			E=	113,92																																																													
Plotagem das Retas																																																																	
	Reta Azul	Reta Vermelha																																																															
X	833	1273																																																															
Y	0	0																																																															
	3500	12,00																																																															
	1273	0																																																															
	1273	0																																																															
	3500	12,00																																																															
Isolando a variável X																																																																	
y=0,0045x - 3,749			y=0,0054x - 6,874																																																														
x=833+222,22y			x=1273+185,19y																																																														
C ₁ =	833,00		C ₁ =	1.273,00																																																													
C ₂ =	222,22		C ₂ =	185,19																																																													
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_1)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja: $\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr * A * S}{2 * Kr}} = \frac{1}{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a" Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS ReqS= 473,00 Voltando a Reta Azul, tem-se que: $z * Kr * \beta =$ 222,22 E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$ <table style="width: 100%;"> <tr><td>Z0=</td><td>1</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>1,55</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,06</td></tr> <tr><td>Z1=</td><td>0,69</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>2,26</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,22</td></tr> <tr><td>Z2=</td><td>0,60</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>2,59</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,31</td></tr> <tr><td>Z3=</td><td>0,56</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>2,78</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,36</td></tr> <tr><td>Z4=</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>2,90</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,40</td></tr> <tr><td>Z5=</td><td>0,52</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>2,98</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,43</td></tr> <tr><td>Z6=</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>3,04</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,44</td></tr> <tr><td>Z7=</td><td>0,51</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>3,07</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,45</td></tr> <tr><td>Z8=</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>3,09</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,46</td></tr> <tr><td>Z9=</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>Lambda=</td><td>3,11</td></tr> <tr><td>β=</td><td>1,47</td></tr> </table> Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$ $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$ 75,78						Z0=	1	Lambda=	1,55	β=	1,06	Z1=	0,69	Lambda=	2,26	β=	1,22	Z2=	0,60	Lambda=	2,59	β=	1,31	Z3=	0,56	Lambda=	2,78	β=	1,36	Z4=	0,54	Lambda=	2,90	β=	1,40	Z5=	0,52	Lambda=	2,98	β=	1,43	Z6=	0,51	Lambda=	3,04	β=	1,44	Z7=	0,51	Lambda=	3,07	β=	1,45	Z8=	0,50	Lambda=	3,09	β=	1,46	Z9=	0,50	Lambda=	3,11	β=	1,47
Z0=	1																																																																
Lambda=	1,55																																																																
β=	1,06																																																																
Z1=	0,69																																																																
Lambda=	2,26																																																																
β=	1,22																																																																
Z2=	0,60																																																																
Lambda=	2,59																																																																
β=	1,31																																																																
Z3=	0,56																																																																
Lambda=	2,78																																																																
β=	1,36																																																																
Z4=	0,54																																																																
Lambda=	2,90																																																																
β=	1,40																																																																
Z5=	0,52																																																																
Lambda=	2,98																																																																
β=	1,43																																																																
Z6=	0,51																																																																
Lambda=	3,04																																																																
β=	1,44																																																																
Z7=	0,51																																																																
Lambda=	3,07																																																																
β=	1,45																																																																
Z8=	0,50																																																																
Lambda=	3,09																																																																
β=	1,46																																																																
Z9=	0,50																																																																
Lambda=	3,11																																																																
β=	1,47																																																																

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*\beta'/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta'/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*b$					
b=	0,013				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0=$	3500				
$Y_0=$	12				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr*(\beta'/z)*(Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1)=$	222,25				
E					
$\beta'/z=$	2,93				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	75,79				
Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	75,78				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0=$	3.500,00				
$Y_0=$	12,00				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr*(\beta'/z)*(Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr * \beta'/(z^*Y1)=$	222,25				
E					
$\beta'/z=$	2,93				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y1) =$	75,79				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0=$	3.500,00				
$Y_0=$	12,00				
$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0^*1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0^*1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{2^*Kr}$					
$\frac{1/ReqS + 1/Kr}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{1/ReqS + 1/Kr}{1/ReqS + 1/Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/kr = 1/C2$					
Então,					
$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0^*1}{1/C2} = \frac{-(\mu^*Alr + 2^*A^*S)}{2^*Kr}$					
$\frac{1}{1/C2} = \frac{1}{1/C2}$					
$\{-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + Y0^*C2\} * 2Kr^*C2 = (\mu^*Alr + 2^*A^*S)$					
$\{-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C2\} * 2Kr/C2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$					
$\{-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0^*C2\} * 2Kr/C2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2^*Kr)))$					
d1 = C1		d2 = C2			
$\mu^*Alr + A^*S =$	1.829,66				
Substituindo na equação, temos					
$P_0=$	3.500,00				
$Y_0=$	12,00				
$C_2=$	185,19	$C_2^*Y_0=$	2.222,22		
$Kr=$	304,34	$2^*Kr/C_2=$	3,29		
$A^*S=$	-15,70				
$\mu^*Alr + A^*S =$	1829,66				
$\mu^*Alr =$	1829,66				
$ReqS=$	473,00				
$f_{s_{calc}}$ (KPa)	128,04				
$f_{s_{calc}}$ (MPa)	0,13				
Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1					
$\mu^*Y_1 =$	24,14	Como $\mu^*Alr =$	1829,66	e $(\mu^*Alr)/(\mu^*y1)=$	75,79
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=					
Recalque da carga máxima mobilizada=					
$P_{rocha}=$	1716,96				
Deslocamento no topo=	3,63				
Carga máxima mobilizada =					
Adesão (AS)=	3.546,62				
L=	11,10				
$P_{rocha}=$	1716,96				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$					
N (Média)=	2.631,79				
ΔL (mm)=	8,65				
	12,28	13,00	0,72	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
$Q_u =$ Carga máxima mobilizada	3.546,62				
$r_m =$	10,00				
$r_o =$	0,16				
$\zeta =$	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4^*r_o = Alr^*q_{si} / 2^*3,14^*L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
$P_p/P_L=$	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$					
Temos que $1,1^*PL = Procha$					
$P_L=$	1.556,84				

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

$P_{cr} =$	160,11
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$	
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	319,88
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,32
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w	
Primeiro encontrando a	
contantes $r_d/[2*(1+0,2)] =$	0,06
Depois o valor de $4/(1-0,2) =$	5,00
Depois $2*3,14*L/qsi*r_d =$	48,62
Q/w	3,46
Temos então que $ReqS = 3,46*E$	
E (MPa) =	136,60

Verificação para a carga máxima de topo da estaca	
Carga máxima mobilizada -	3.546,62
Adesão (AS) =	
$L_{solo} =$	11,10
$L_{rocha} =$	5,00
$P_{rocha} =$	1716,96
$P_{cr} =$	160,11
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$	
N (Média) =	2.631,79
ΔL_{solo} (mm) =	8,65

N (Média) =	938,54
ΔL_{rocha} (mm) =	2,43
ΔL_{total} (mm) =	11,08

O recalque na ponta fictícia	
(entre solo e rocha) =	4,35
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$	

$ReqS =$	394,49
E (MPa) =	113,92

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa) =	136,60
$G_s =$	56.915,60
$P_{rocha} =$	1.716,96
Lambda =	449,79

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_u/Q = (4/0,8)/((4/0,8) + [(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_d)])$
 $Q_u/Q =$ 0,0933

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_u/(r_d * G_s)] * (0,8/4) * \cosh[\mu * (L_{rocha} - z)]$
 Calculando o $\mu = (1/r_d) * (2/qsi*lambda)$

$$\mu = 0,0034$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 5,00$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0036$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0036$$

Como $w_0 = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 92A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,40	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ $Kr_1 \text{ (KN/mm)} = 625,58$	
L _{rodha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E92A

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	800	1080
x2	2650	2650
y1	0	0
y2	12,00	12,00
m	0,0065	0,0076
n	-5,2	-8,208

Plotagem das Retas		
	X	Y
Reta Azul	800	0
	800	0
	2650	12,00
Reta Vermelha	1080	0
	1080	0
	2650	12,00

Isolando a variável X

$y = 0,0065x - 5,2$
 $x = 800 + 153,85y$

$C_1 = 800,00$
 $C_2 = 153,85$

$y = 0,0076x - 8,208$
 $x = 1080 + 131,58y$

$C_1 = 1.080,00$
 $C_2 = 131,58$

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	2.680,30	
Alr(kN)=	1121,85	41,86%
P _r (kN)=	1335,97	49,84%
P _r (kN)=	137,40	5,13%
AS=	85,08	3,17%
f _{s_{rodha}} (MPa)=	0,27	
f _{s_{solo}} (MPa)=	0,17	
E=	48,12	
E(retro-análise)=	35,03	

Reta Azul

Reta Vermelha

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*C_2)$ e chamando $b = \beta' / (z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,035$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$P_0 = 2650$$

$$Y_0 = 12$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta' / z) \cdot (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = 154,17$$

E

$$\beta' / z = 5,35$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 28,79$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 28,73$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 2.650,00$$

$$Y_0 = 12,00$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta' / z) \cdot (Y_0 / \mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2) / Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta' / (z^*Y_1) = 154,17$$

E

$$\beta' / z = 5,35$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 28,79$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$P_0 = 2.650,00$$

$$Y_0 = 12,00$$

$$P_0 = (\mu + Alr + A + S) - \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2^*Kr} + \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) - \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2^*Kr}$$

$$\frac{1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C2$

Então,

$$P_0 - (\mu + Alr + A + S) - \frac{Y_0 \cdot 1}{1/C2} = \frac{-(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2^*Kr}$$

$$\frac{1}{1/C2} = \frac{1}{1/C2}$$

$$(-P_0 + (\mu + Alr + A + S) + Y_0 \cdot C2) \cdot 2Kr \cdot C2 = (\mu + Alr + 2 + A + S)$$

$$(-P_0 + (\mu + Alr + A + S) + Y_0 \cdot C2) \cdot 2Kr / C2 = (\mu + Alr + A + S + A + S)$$

$$(-P_0 + (\mu + Alr + A + S) + Y_0 \cdot C2) \cdot 2Kr / C2 - (\mu + Alr + A + S) = A + S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu + Alr + A + S) = d1 / (1 - (d2 / (2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.206,93$$

Substituindo na equação, temos

$$P_0 = 2.650,00$$

$$Y_0 = 12,00$$

$$C_2 = 131,58$$

$$Kr = 625,58$$

$$C_2 \cdot Y_0 =$$

$$1.578,95$$

$$2^*Kr / C_2 =$$

$$9,51$$

$$A^*S = 85,08$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1206,93$$

$$\mu^*Alr = 1121,85$$

$$ReqS = 166,63$$

$$f_{s_{calc}} (KPa) = 173,61$$

$$f_{s_{calc}} (MPa) = 0,17$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr / μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 38,97$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1121,85$$

$$\text{e } (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$$

$$28,79$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

Carga máxima mobilizada=

Recalque da carga máxima mobilizada=

15,40

$$P_{procha} = 1473,37$$

Deslocamento no topo=

8,84

Carga máxima mobilizada =

$$\text{Adesão (AS)} = 2.595,22$$

$$L = 5,40$$

$$P_{procha} = 1473,37$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

$$N (\text{Média}) = 2.034,30$$

$$\Delta L (\text{mm}) = 3,25$$

$$12,09$$

$$15,40$$

$$3,31$$

Revisar

Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

Qu= Carga máxima mobilizada

$$r_m = 10,00$$

$$r_o = 0,16$$

$$\zeta = 4,17$$

Como $W_p = W_s = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_l

$$P_p / P_l = 0,1028$$

Substituindo a relação de P_p em função de P_l na expressão $P_p + P_l = P_{procha}$

Temos que $1,1 \cdot P_l = P_{procha}$

$$P_l = 1.335,97$$

$$P_o = 137,40$$

Expressão de Randolp=

$$R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\zeta r_o} \right]$$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	274,50
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,27

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_d/[2*(1+0,2)]$	0,06
Depois o valor de $4/(1-0,2)$	5,00
Depois $2*3,14*L/qsi*r_d$	48,62

Q/w	3,46
-----	------

Temos então que $ReqS = 3,46 * E$

E (MPa)	48,12
---------	-------

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada -	2.595,22
---------------------------	----------

Adesão (AS)=

L_{solo}	5,40
L_{rocha}	5,00
P_{rocha}	1473,37
P_p	137,40

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$

N (Média)	2.034,30
ΔL_{solo} (mm)	3,25

N (Média)	805,39
ΔL_{rocha} (mm)	2,09
ΔL_{total} (mm)	5,34

O recalque na ponta fictícia
(entre solo e rocha)=

	12,15
--	-------

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

ReqS	121,28
E (MPa)	35,03

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

ζ	4,17
E (MPa)	48,12
G_s	20.050,42
P_{rocha}	1.473,37
Lambda	1.276,78

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u/Q = (4 / 0,8) / ((4/0,8) + ((2*3,14*L_{rocha}) / (qsi*r_d)))$$

Q_u/Q	0,0933
---------	--------

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u / (r_d * G_s)] * (0,8/4) * \cosh[\mu * (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o $\mu = (1/r_d) * (2/qsi * \text{lambda})$

μ	0,0012
-------	--------

Para z igual ao comprimento da rocha

z	5,00
w (z = L_{rocha})	0,0088

Para z igual a 0

z	0,00
w (z=0)	0,0088

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



</

$\beta =$	1,81				
Z12=	0,48				
Lambda=	7,06				
$\beta =$	1,81				
Sabendo que $((\mu * Alr) / (\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	77,41				
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$					
$b =$	0,013				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
$P_0 =$	3000				
$Y_0 =$	8				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	293,75				
E					
$\beta / z =$	3,80				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	77,31				
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	77,41				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.000,00				
$Y_0 =$	8,00				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / (\mu * Y_1)) + A * S * W_2$					
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$					
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	293,75				
E					
$\beta / z =$	3,80				
Dessa forma tem-se					
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	77,31				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
$P_0 =$	3.000,00				
$Y_0 =$	8,00				
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) * \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr}$					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / ReqS + 1 / Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1 / (1 / ReqS + 1 / Kr) = C_2$, temos que $1 / ReqS + 1 / Kr = 1 / C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) * \frac{Y_0 * 1}{1 / C_2} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$					
$(- P_0 + (\mu * Alr + A * S) + Y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2			
$\mu * Alr + A * S =$	1.464,86				
Substituindo na equação, temos					
$P_0 =$	3.000,00				
$Y_0 =$	8,00				
$C_2 =$	263,16	$C_2 * Y_0 =$	2.105,26		
$Kr =$	341,23	$2 * Kr / C_2 =$	2,59		
$A * S =$	13,65				
$\mu * Alr + A * S =$	1464,86				
$\mu * Alr =$	1451,21				
$ReqS =$	1150,23				
$f_{s_{\text{rota}}} \text{ (KPa)}$	114,93				
$f_{s_{\text{rota}}} \text{ (MPa)}$	0,11				
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / (\mu * Y_1)$, temos que $\mu * Y_1$					
$\mu * Y_1 =$	18,77	Como $\mu * Alr =$	1451,21	e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	77,31
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.185,00				
Recalque da carga máxima mobilizada=	11,40				
$P_{\text{rocha}} =$	1720,14				
Deslocamento no topo=	1,50				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	3.171,35				
L=	9,90				
$P_{\text{rocha}} =$	1720,14				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$					
N (Média)=	2.445,75				
$\Delta L \text{ (mm)} =$	7,17				
	8,66	11,40	2,74	Revisar	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	3.185,00				
f_m	10,00				
Expressão de Randolph= $R_{ss} S = \frac{P}{\pi r_0} \left[\frac{r_0 E}{L} + \frac{4}{\pi r_0} + \frac{2 \pi L_1}{\pi r_0} \right]$					

r_o 0,16
 ζ 4,17

Como $W_p = W_i = W$
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = A l r \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_i
 $P_p / P_i = 0,1028$
Substituindo a relação de P_p em função de P_i na expressão $P_p + P_i = P_{rocha}$
Temos que $1,1 \cdot P_i = P_{rocha}$ 1,10
 $P_i = 1.559,73$
 $P_p = 160,41$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$
 $f_{s_{rocha}}$ (KPa) 320,47
 $f_{s_{rocha}}$ (MPa) 0,32

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w
Primeiro encontrando a
constantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] = 0,06$
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) = 5,00$
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o = 48,62$
Q/w 3,46

Temos então que $ReqS = 3,46 \cdot E$
E (MPa) 332,17

Verificação para a carga máxima de topo da estaca
Carga máxima mobilizada - 3.171,35
Adesão (AS) =
 $L_{solo} = 9,90$
 $L_{rocha} = 5,00$
 $P_{rocha} = 1720,14$
 $P_p = 160,41$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$
N (Média) 2.445,75
 ΔL_{solo} (mm) 7,17

N (Média) 940,28
 ΔL_{rocha} (mm) 2,43
 ΔL_{total} (mm) 9,60

O recalque na ponta fictícia
(entre solo e rocha) 4,23
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$
 $ReqS = 406,41$
E (MPa) 117,37

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:
 ζ 4,17
E (MPa) 332,17
 $G_o = 138.406,00$
 $P_{rocha} = 1.720,14$
Lambda 184,96

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:
 $Q_o / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (q_{si} \cdot r_o)])$
 $Q_o / Q = 0,0933$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:
 $w(z) = [Q_o / (r_o \cdot G_o)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$
 $\mu = 0,0084$

Para z igual ao comprimento da rocha
 $z = 5,00$
 $w (z = L_{rocha}) = 0,0015$

Para z igual a 0
 $z = 0,00$
 $w (z=0) = 0,0015$

Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.

$$w = \frac{2(1 + \mu)}{\zeta r_o} \cdot \xi r_o \cdot z$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 104B					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{total} (m)	8,40	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{total} = (E * (\pi * r^2)) / (4 * L \text{ solo})$ $Kr_1 \text{ (KN/mm)} = 402,16$	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{total} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E104B					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.522,52		
x1	900	1400	Alr(kN)=	1671,51	66,26%
x2	2350	2350	P ₁ (kN)=	738,83	29,29%
y1	0	0	P ₂ (kN)=	75,99	3,01%
y2	6,60	6,60	AS=	36,19	1,43%
m	0,0046	0,0069	f _{solto} (MPa)=	0,15	
n	-4,14	-9,66	f _{solo} (MPa)=	0,16	
			E=	65,43	
Plotagem das Retas					
	Reta Azul	Reta Vermelha			
X	900	Y			
	900	0			
	2350	6,60			
Reta Vermelha	1400	0			
	1400	0			
	2350	6,60			
Isolando a variável X					
y=0,0046x -4,14			y=0,0069x -9,66		
x=900+217,39y			x=1400+144,93y		
C ₁ = 900,00			C ₁ = 1.400,00		
C ₂ = 217,39			C ₂ = 144,93		
Calculando o Ponto em comum das retas					
y= 6,90			x= 2.400,00		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_1) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B/z) * (V_0/\mu * Y_1)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr + A * S)}{Y_0 - \frac{\mu * Alr + 2 * A * S}{2 * Kr}} = \frac{\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}}{}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$					
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 226,58					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
z * Kr * β = 217,39					
E sabendo que lambda = (ReqS/ Kr)/z					
Z0=	1				
Lambda=	0,56				
β=	0,93				
Z1=	0,58				
Lambda=	0,97				
β=	0,99				
Z2=	0,55				
Lambda=	1,03				
β=	1,01				
Z3=	0,54				
Lambda=	1,05				
β=	1,02				
Z4=	0,53				
Lambda=	1,06				
β=	1,02				
Z5=	0,53				
Lambda=	1,06				
β=	1,02				
Z6=	0,53				
Lambda=	1,06				
β=	1,02				
Z7=	0,53				
Lambda=	1,07				
β=	1,02				
Z8=	0,53				
Lambda=	1,07				
β=	1,02				
Z9=	0,53				
Lambda=	1,07				
β=	1,02				
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$					
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) = 112,45$					

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*\beta'/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta'/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*b$					
b=	0,009				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P_0 =	2350				
Y_0 =	6,6				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr*(\beta'/z)*(Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1)$ =	219,70				
E					
β'/z =	1,93				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	113,65				
Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr*b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	112,46				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	2.350,00				
Y_0 =	6,60				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr*(\beta'/z)*(Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S^*W_2$					
Reestruturando temos $\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$					
$\mu^*Alr*\beta'/(z^*Y_1)$ =	219,70				
E					
β'/z =	1,93				
Dessa forma tem-se					
$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) =$	113,65				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	2.350,00				
Y_0 =	6,60				
$Po = (\mu + Alr + A + S) - \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2 * Kr} + \frac{y0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$Po - (\mu + Alr + A + S) - \frac{y0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2 * Kr}$					
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C2$					
Então,					
$Po - (\mu + Alr + A + S) - \frac{y0 * 1}{1/ C2} = \frac{-(\mu + Alr + 2 + A + S)}{2 * Kr}$					
$(-Po + (\mu + Alr + A + S) + y0 * C2) * 2Kr * C2 = (\mu + Alr + 2 + A + S)$					
$(-Po + (\mu + Alr + A + S) + y0 * C2) * 2Kr / C2 = (\mu + Alr + A + S + A + S)$					
$(-Po + (\mu + Alr + A + S) + y0 * C2) * 2Kr / C2 - (\mu + Alr + A + S) = A + S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu + Alr + A + S) = d1 / (1 - (d2 / (2 + Kr)))$		d1 = C1	d2 = C2		
$\mu^*Alr + A^*S =$	1.707,71				
Substituindo na equação, temos					
P_0 =	2.350,00				
Y_0 =	6,60				
C_2 =	144,93	$C_2^*Y_0$ =	956,52		
Kr =	402,16	$2 * Kr / C_2$ =	5,55		
A^*S =	36,19				
$\mu^*Alr + A^*S =$	1707,71				
$\mu^*Alr =$	1671,51				
$ReqS$ =	226,58				
$f_{s_{calc}}$ (KPa)	157,91				
$f_{s_{calc}}$ (MPa)	0,16				
Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1					
$\mu^*Y_1 =$	14,71	Como $\mu^*Alr =$	1671,51	e $(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)$ =	113,65
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=					
Recalque da carga máxima mobilizada=					
P_{rocha} =	814,81				
Deslocamento no topo=	3,60				
Carga máxima mobilizada -					
Adesão (AS)=	2.486,33				
L=	8,40				
P_{rocha} =	814,81				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$					
N (Média)=	1.650,57				
ΔL (mm)=	4,10				
	7,70	7,80	0,10	Ok	
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígica (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)					
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$					
Vamos utilizar os seguintes valores:					
Qu= Carga máxima mobilizada	2.522,52				
r_m	10,00				
r_o	0,16				
ζ	4,17				
Como $W_p = W_s = W$					
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4 *r_o = Alr * qsi / 2^*3,14^*L$					
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L					
P_p/P_L =	0,1028				
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$					
Temos que $1,1^*PL = Procha$					
P_L =	738,83				

Expressão de Randolph= $R_{eq} S = \frac{P}{W} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$

Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$

$P_p = 75,99$

$f_{s_{rocha}}$ (KPa) = 151,80

$f_{s_{rocha}}$ (MPa) = 0,15

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a

contantes $r_0/[2*(1+0,2)] = 0,06$

Depois o valor de $4/(1-0,2) = 5,00$

Depois $2*3,14*L/qsi*r_p = 48,62$

Q/w = 3,46

Temos então que $ReqS = 3,46*E$

E (MPa) = 65,43

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

Carga máxima mobilizada - 2.486,33

Adesão (AS) =

$L_{solo} = 8,40$

$L_{rocha} = 5,00$

$P_{rocha} = 814,81$

$P_p = 75,99$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$

N (Média) = 1.650,57

ΔL_{solo} (mm) = 4,10

N (Média) = 445,40

ΔL_{rocha} (mm) = 1,15

ΔL_{total} (mm) = 5,26

O recalque na ponta fictícia

(entre solo e rocha) = 3,70

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$ReqS = 220,47$

E (MPa) = 63,67

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

$\zeta = 4,17$

E (MPa) = 65,43

$G_s = 27.264,14$

$P_{rocha} = 814,81$

Lambda = 938,96

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$Q_u/Q = (4/0,8)/((4/0,8)+[(2*3,14*L_{rocha})/(qsi*r_p)])$

$Q_u/Q = 0,0933$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$w(z) = [Q_u/(r_0 * G_s)] * (0,8/4) * \cosh[\mu * (L_{rocha} - z)]$

Calculando o $\mu = (1/r_0)*(2/qsi*lambda)$

$\mu = 0,0016$

Para z igual ao comprimento da rocha

$z = 5,00$

$w(z = L_{rocha}) = 0,0036$

Para z igual a 0

$z = 0,00$

$w(z=0) = 0,0036$

Como $w_0 = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



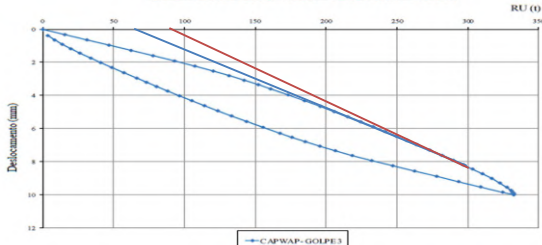
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO

Estaca E 108A

Dados		Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	7,80	Fck (KN/m²)	20000
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	2,6E+07
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14
L (m)		Kr ₁ (KN/mm)	433,09

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E108A

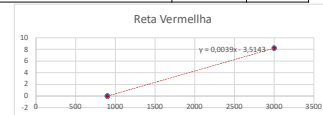
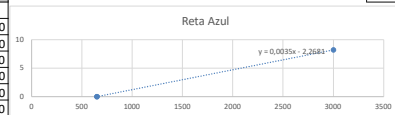


→ CAPWAP - GOLPE3

Cálculo da Equação da Reta		
	Reta Azul	Reta Vermelha
x1	650	900
x2	3000	3000
y1	0	0
y2	8,20	8,20
m	0,0035	0,0039
n	-2,275	-3,51

Plotagem das Retas

	X	Y
Reta Azul	650	0
	3000	8,20
Reta Vermelha	900	0
	3000	8,20



Isolando a variável X

$$y = 0,0035x - 2,275$$

$$x = 650 + 285,71y$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 650,00 \\ C_2 &= 285,71 \end{aligned}$$

$$y = 0,0039x - 3,51$$

$$x = 900 + 256,41y$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 900,00 \\ C_2 &= 256,41 \end{aligned}$$

Sabendo que $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (B/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_0) + A \cdot S \cdot W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 \cdot Y_0$

Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A \cdot S \cdot W_2$ e $C_2 = \mu \cdot Alr \cdot (B/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_0)$

A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu \cdot Alr \cdot A \cdot S)}{Y_0 - \mu \cdot Alr \cdot 2 \cdot A \cdot S} = \frac{1}{R \cdot S} + \frac{1}{R \cdot Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 \cdot Y_0 = a \cdot Y_0$

Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

$$ReqS = 628,52$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z \cdot Kr \cdot \beta = 285,71$$

E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$

$$\begin{aligned} Z0 &= 1 \\ \lambda &= 1,45 \\ \beta &= 1,05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z1 &= 0,63 \\ \lambda &= 2,31 \\ \beta &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= 0,53 \\ \lambda &= 2,76 \\ \beta &= 1,39 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z3 &= 0,47 \\ \lambda &= 3,06 \\ \beta &= 1,49 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z4 &= 0,44 \\ \lambda &= 3,28 \\ \beta &= 1,56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z5 &= 0,42 \\ \lambda &= 3,44 \\ \beta &= 1,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z6 &= 0,41 \\ \lambda &= 3,56 \\ \beta &= 1,66 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z7 &= 0,40 \\ \lambda &= 3,65 \\ \beta &= 1,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z8 &= 0,39 \\ \lambda &= 3,73 \\ \beta &= 1,72 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z9 &= 0,38 \\ \lambda &= 3,78 \\ \beta &= 1,74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z10 &= 0,38 \\ \lambda &= 3,83 \\ \beta &= 1,76 \end{aligned}$$

$$Z11 = 0,38$$

Lambda=	3,86				
β =	1,77				
Z12=	0,37				
Lambda=	3,89				
β =	1,78				
Z13=	0,37				
Lambda=	3,92				
β =	1,79				
Z14=	0,37				
Lambda=	3,93				
β =	1,79				
Sabendo que $((\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)) \cdot \beta/z = z \cdot Kr \cdot \beta$					
$(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1)$ =	58,76				
Sendo a expressão $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot C_2)$ e chamando $b = \beta/(z \cdot C_2)$, temos $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$					
b=	0,017				
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:					
P_0 =	3000				
Y_0 =	8,2				
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1)$ =	286,59				
E					
β/z =	4,86				
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	58,94				
Entretanto, sabendo que $\mu \cdot Y_1 = \mu \cdot Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1)$					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	58,76				
Os valores são próximos mas não são iguais.					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	8,20				
Pela Reta Azul					
Utilizando a expressão $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu \cdot Y_1) + A \cdot S \cdot W_2$					
Reestruturando temos $\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1) = (P_0 - A \cdot S \cdot W_2)/Y_0$					
$\mu \cdot Alr \cdot \beta/(z \cdot Y_1)$ =	286,59				
E					
β/z =	4,86				
Dessa forma tem-se					
$(\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) =$	58,94				
Pela reta vermelha					
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	8,20				
$P_0 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr} + \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$					
$P_0 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$Sabe-se que 1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2, \text{ temos que } 1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$					
Então,					
$P_0 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) \cdot \frac{Y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)}{2 \cdot Kr}$					
$\{ P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2 \} \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu \cdot Alr + 2 \cdot A \cdot S)$					
$\{ P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2 \} \cdot 2Kr/C_2 = (\mu \cdot Alr + A \cdot S + A \cdot S)$					
$\{ P_0 + (\mu \cdot Alr + A \cdot S) + Y_0 \cdot C_2 \} \cdot 2Kr/C_2 - (\mu \cdot Alr + A \cdot S) = A \cdot S$					
Primeiro, sabendo que					
$(\mu \cdot Alr + A \cdot S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$		d1 = C1		d2 = C2	
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1.278,45				
Substituindo na equação, temos					
P_0 =	3.000,00				
Y_0 =	8,20				
C_2 =	256,41	$C_2 \cdot Y_0$ =	2.102,56		
Kr =	433,09	$2 \cdot Kr/C_2$ =	3,38		
$A \cdot S$ =	8,66				
$\mu \cdot Alr + A \cdot S =$	1278,45				
$\mu \cdot Alr =$	1269,79				
$ReqS$ =	628,52				
$f_{s_{100}}$ (KPa)	127,31				
$f_{s_{100}}$ (MPa)	0,13				
Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr/\mu \cdot Y_1$, temos que $\mu \cdot Y_1$					
$\mu \cdot Y_1 =$	21,54	Como $\mu \cdot Alr =$	1269,79	e $(\mu \cdot Alr)/(\mu \cdot Y_1) =$	58,94
Para a maior carga e o maior recalque, temos					
Carga máxima mobilizada=	3.255,56				
Recalque da carga máxima mobilizada=	9,90				
P_{rocha} =	1977,11				
Deslocamento no topo=	3,15				
Carga máxima mobilizada =					
Adesão (AS)=	3.246,90				
L=	7,80				
P_{rocha} =	1977,11				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L/E \cdot A$					
N (Média)=	2.612,01				
ΔL (mm)=	6,03				

	9,18	9,90	0,72	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	3.255,56			
r_{fm}	10,00			
r_o	0,16			
ζ	4,17			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) * P_p / 4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2 * 3,14 * L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,1028			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$				
Temos que $1,1 * P_L = P_{rocha}$	1,10			
$P_L =$	1.792,74			
$P_p =$	184,38			
Passamos a calcular o $f_{s,rocha}$				
$f_{s,rocha}$ (KPa)	368,35			
$f_{s,rocha}$ (MPa)	0,37			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 * (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 * 3,14 * L / q_{si} * r_o =$	48,62			
Q/w	3,46			
Temos então que $ReqS = 3,46 * E$				
E (MPa) =	181,51			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -	3.246,90			
Adesão (AS) =				
$L_{solo} =$	7,80			
$L_{rocha} =$	5,00			
$P_{rocha} =$	1977,11			
$P_p =$	184,38			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N * L / E * A$				
N (Média) =	2.612,01			
ΔL_{solo} (mm) =	6,03			
N (Média) =	1.080,74			
ΔL_{rocha} (mm) =	2,80			
ΔL_{total} (mm) =	8,83			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	3,87			
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	511,02			
E (MPa) =	147,58			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,17			
E (MPa) =	181,51			
$G_s =$	75.629,17			
$P_{rocha} =$	1.977,11			
Lambda =	338,49			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 * 3,14 * L_{rocha}) / (q_{si} * r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0933			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o * G_s)] * (0,8 / 4) * \cosh [\mu * (L_{rocha} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) * (2 / q_{si} * \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0046			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	5,00			
$w (z = L_{rocha}) =$	0,0031			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0031			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARÍLIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO					
Estaca E 109A					
Dados			Calculando o Kr1 com os dados de entrada		
L _{solo} (m)	5,10	Fck (KN/m²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$ $Kr_1 \text{ (KN/mm)}$ 662,38	
L _{rocha} (m)	5,00	E (KN/m²)	2,6E+07		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)					
ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E109A					
Cálculo da Equação da Reta			Resultado		
	Reta Azul	Reta Vermelha	Carga máxima mobilizada (kN)= 2.897,86 Alr(kN)= 1574,82 54,34% P ₁ (kN)= 1199,66 41,40% P ₂ (kN)= 123,38 4,26% AS= 0,00 f _{srocha} (MPa)= 0,25 f _{solo} (MPa)= 0,24 E= 54,59		
x1	505	1400			
x2	2400	2400			
y1	0	0			
y2	6,80	6,80			
m	0,0036	0,0068	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$		
n	-1,818	-9,52	$n = y - mx$		
Plotagem das Retas					
	X	Y			
Reta Azul	505	0			
	505	0			
	2400	6,80			
Reta Vermelha	1400	0			
	1400	0			
	2400	6,80			
Isolando a variável X					
$y = 0,0036x - 1,818$ $x = 505 + 277,78y$			$y = 0,0068x - 9,52$ $x = 1400 + 147,06y$		
$C_1 = 505,00$ $C_2 = 277,78$			$C_1 = 1.400,00$ $C_2 = 147,06$		
Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$ Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (B'/z) * (V_0/\mu * Y_0)$ A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:					
$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ $\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$ Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"					
Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$ Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS					
ReqS= 189,03					
Voltando a Reta Azul, tem-se que:					
$z * Kr * \beta =$ 277,78					
E sabendo que $\lambda = (ReqS / Kr) / z$					
Z0=	1				
Lambda=	0,29				
$\beta =$	0,86				
Z1=	0,49				
Lambda=	0,59				
$\beta =$	0,82				
Z2=	0,51				
Lambda=	0,56				
$\beta =$	0,81				
Z3=	0,51				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z4=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z5=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z6=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z7=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z8=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z9=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				
Z10=	0,52				
Lambda=	0,55				
$\beta =$	0,81				

$$\begin{aligned} Z_{11} &= 0,52 \\ \text{Lambda} &= 0,55 \\ \beta &= 0,81 \\ Z_{12} &= 0,52 \\ \text{Lambda} &= 0,55 \\ \beta &= 0,81 \\ Z_{13} &= 0,52 \\ \text{Lambda} &= 0,55 \\ \beta &= 0,81 \\ Z_{14} &= 0,52 \\ \text{Lambda} &= 0,55 \\ \beta &= 0,81 \end{aligned}$$

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) \cdot \beta/z = z^*Kr \cdot \beta$

$$((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1)) = 175,73$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot \beta/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$

$$b = 0,006$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2400 \\ Y_0 &= 6,8 \end{aligned}$$

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = 278,68$$

E

$$\beta/z = 1,58$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 176,30$$

Entretanto, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 175,73$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.400,00 \\ Y_0 &= 6,80 \end{aligned}$$

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr \cdot (\beta/z) \cdot (Y_0/\mu^*Y_1) + A^*S \cdot W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S \cdot W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr \cdot \beta/(z^*Y_1) = 278,68$$

E

$$\beta/z = 1,58$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 176,30$$

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.400,00 \\ Y_0 &= 6,80 \end{aligned}$$

$$P_0 = (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} + \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$

Então,

$$P_0 - (\mu^*Alr + A^*S) \cdot \frac{y_0 \cdot 1}{1/C_2} = \frac{(\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)}{2^*Kr} \cdot \frac{1}{1/C_2}$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr \cdot C_2 = (\mu^*Alr + 2 \cdot A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 = (\mu^*Alr + A^*S + A^*S)$$

$$(-P_0 + (\mu^*Alr + A^*S) + y_0 \cdot C_2) \cdot 2Kr/C_2 - (\mu^*Alr + A^*S) = A^*S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu^*Alr + A^*S) = d1/(1 - (d2/(2 \cdot Kr)))$$

$$d1 = C1$$

$$d2 = C2$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1.574,82$$

Substituindo na equação, temos

$$\begin{aligned} P_0 &= 2.400,00 \\ Y_0 &= 6,80 \\ C_2 &= 147,06 \\ Kr &= 662,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_2 \cdot Y_0 &= 1.000,00 \\ 2^*Kr/C_2 &= 9,01 \end{aligned}$$

$$A^*S = 0,00$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 1574,82$$

$$\mu^*Alr = 1574,82$$

$$ReqS = 189,03$$

$$\begin{aligned} f_{s_{100}} \text{ (KPa)} &= 239,85 \\ f_{s_{100}} \text{ (MPa)} &= 0,24 \end{aligned}$$

Utilizando as expressões μ^*Alr e μ^*Alr/μ^*Y_1 , temos que μ^*Y_1

$$\mu^*Y_1 = 8,93$$

$$\text{Como } \mu^*Alr =$$

$$1574,82 \text{ e } (\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) =$$

$$176,30$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada} &= 2.897,86 \\ \text{Recalque da carga máxima mobilizada} &= 11,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{mocha} &= 1323,04 \\ \text{Deslocamento no topo} &= 7,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} &= 2.897,86 \\ L &= 5,10 \\ P_{mocha} &= 1323,04 \end{aligned}$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N^*L/E^*A$

$$N \text{ (Média)} = 2.110,45$$

$\Delta L(\text{mm}) =$	3,19			
	10,19	11,80	1,61	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
QU= Carga máxima mobilizada	2.897,86			
r_m	10,00			
r_o	0,16			
ζ	4,17			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = \text{Alr} \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p / P_L =$	0,1028			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{\text{rocha}}$				
Temos que $1,1 \cdot P_L = P_{\text{rocha}}$				
$P_L =$	1.199,66			
$P_p =$	123,38			
Passamos a calcular o $f_{s_{\text{rocha}}}$				
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{KPa})$	246,49			
$f_{s_{\text{rocha}}} (\text{MPa})$	0,25			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] =$	0,06			
Depois o valor de $4 / (1 - 0,2) =$	5,00			
Depois $2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o =$	48,62			
Q/w	3,46			
Temos então que $\text{ReqS} = 3,46 \cdot E$				
E (MPa) =	54,59			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS) =	2.897,86			
$L_{\text{solo}} =$	5,10			
$L_{\text{rocha}} =$	5,00			
$P_{\text{rocha}} =$	1323,04			
$P_p =$	123,38			
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{\text{solo}} = N \cdot L / E \cdot A$				
N (Média) =	2.110,45			
$\Delta L_{\text{solo}} (\text{mm}) =$	3,19			
N (Média) =	723,21			
$\Delta L_{\text{rocha}} (\text{mm}) =$	1,87			
$\Delta L_{\text{total}} (\text{mm}) =$	5,06			
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha) =	8,61			
E para $\text{ReqS} = P_{\text{rocha}} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS =	153,60			
E (MPa) =	44,36			
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ	4,17			
E (MPa) =	54,59			
$G_s =$	22.745,79			
$P_{\text{rocha}} =$	1.323,04			
Lambda =	1.125,48			
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u / Q = (4 / 0,8) / ((4 / 0,8) + [(2 \cdot 3,14 \cdot L_{\text{rocha}}) / (q_{si} \cdot r_o)])$				
$Q_u / Q =$	0,0933			
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_s)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{\text{rocha}} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$				
$\mu =$	0,0014			
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z =$	5,00			
$w (z = L_{\text{rocha}}) =$	0,0070			
Para z igual a 0				
$z =$	0,00			
$w (z=0) =$	0,0070			
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				

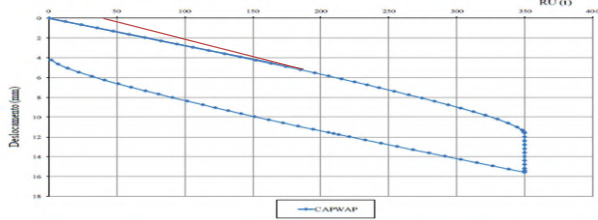


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARILIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO
Estaca E 122

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	4,80	Fck (KN/m ²)	20000	$Kr_1 = ES / L_{solo} = (E * (\pi * r^2)) / 4 * L_{solo}$	
L _{rocha} (m)	4,40	E (KN/m ²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m ²)	0,075		
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14		
L (m)				Kr ₁ (KN/mm)	703,78

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz D410mm - E122



Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	0	400	
x2	1800	1800	
y1	0	0	
y2	5,00	5,00	
m	0,0028	0,0036	$m = (y2 - y1) / (x2 - x1)$
n	0	-1,44	$n = y - mx$
Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	0	0	
	0	0	
	1800	5,00	
Reta Vermelha	400	0	
	400	0	
	1800	5,00	

Resultado		
Carga máxima mobilizada (kN)=	3.430,98	
Alr (kN)=	498,35	14,52%
P ₁ (kN)=	2634,22	76,78%
P ₂ (kN)=	298,42	8,70%
AS=	-56,30	
f _{s,rocha} (MPa)=	0,62	
f _{s,solo} (MPa)=	0,08	
E=	144,61	
E(retro-análise)=	130,55	

Isolando a variável X

$$y = 0,0028x - 0$$

$$x = 0 + 357,14y$$

$$y = 0,0036x - 1,44$$

$$x = 400 + 277,78y$$

$$C_1 = -$$

$$C_2 = 357,14$$

$$C_1 = 400,00$$

$$C_2 = 277,78$$

Sabendo que $P_0 = \mu * Alr * (\beta/z) * (V_0/\mu * Y_0) + A * S * W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 * Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A * S * W_2$ e $C_2 = \mu * Alr * (\beta/z) * (V_0/\mu * Y_0)$
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu * Alr * A * S)}{Y_0 - \mu * Alr * 2 * A * S} = \frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

$$\frac{1}{R * S} + \frac{1}{R * Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 * Y_0 = a * Y_0$
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de Req5

$$Req5 = 458,91$$

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

$$z * Kr * \beta = 357,14$$

E sabendo que $lambda = (Req5 / Kr) / z$

Z0=	1
Lambda=	0,65
β=	0,94
Z1=	0,54
Lambda=	1,21
β=	1,07
Z2=	0,48
Lambda=	1,37
β=	1,13
Z3=	0,45
Lambda=	1,45
β=	1,16
Z4=	0,44
Lambda=	1,49
β=	1,18
Z5=	0,43
Lambda=	1,52
β=	1,19
Z6=	0,43
Lambda=	1,53
β=	1,20
Z7=	0,42
Lambda=	1,54
β=	1,20
Z8=	0,42
Lambda=	1,54
β=	1,20
Z9=	0,42
Lambda=	1,54
β=	1,20
Z10=	0,42
Lambda=	1,54
β=	1,20
Z11=	0,42
Lambda=	1,55
β=	1,20
Z12=	0,42
Lambda=	1,55
β=	1,20
Z13=	0,42
Lambda=	1,55
β=	1,20

Z14=	0,42
Lambda=	1,55
β=	1,20

Sabendo que $((\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1))^{\beta}/z = z^*Kr^{\beta}$

$$(\mu^*Alr)/(\mu^*Y_1) = 125,17$$

Sendo a expressão $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr^{\beta}/(z^*C_2)$ e chamando $b = \beta/(z^*C_2)$, temos $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr^{\beta} \cdot b$

$$b = 0,008$$

Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:

P ₀ =	1800
Y ₀ =	5

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr^{\beta}/z^*(Y_0/(\mu^*Y_1)) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr^{\beta}/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr^{\beta}/(z^*Y_1) = 360,00$$

E

$$\beta/z = 2,85$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 126,18$$

Entrentato, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr^{\beta} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 125,18$$

Os valores são próximos mas não são iguais.

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

P ₀ =	1.800,00
Y ₀ =	5,00

Pela Reta Azul

Utilizando a expressão $P_0 = \mu^*Alr^{\beta}/z^*(Y_0/(\mu^*Y_1)) + A^*S^*W_2$

Reestruturando temos $\mu^*Alr^{\beta}/(z^*Y_1) = (P_0 - A^*S^*W_2)/Y_0$

$$\mu^*Alr^{\beta}/(z^*Y_1) = 360,00$$

E

$$\beta/z = 2,85$$

Dessa forma tem-se

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 126,18$$

Entrentato, sabendo que $\mu^*Y_1 = \mu^*Alr^{\beta} \cdot b$ temos que $1/b = (\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1)$

$$(\mu^*Alr) / (\mu^*Y_1) = 125,18$$

Os valores são aproximadamente iguais porém não são satisfatórios

Pela reta vermelha

Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:

P ₀ =	1.800,00
Y ₀ =	5,00

$$P_0 = (\mu \times Alr + A \times S) \cdot \frac{(\mu \times Alr + 2 \times A \times S)}{2^{\beta} Kr} + \frac{Y_0^{\beta} \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

$$P_0 \cdot (\mu \times Alr + A \times S) \cdot \frac{Y_0^{\beta} \cdot 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu \times Alr + 2 \times A \times S)}{2^{\beta} Kr} \cdot \frac{1}{1/ReqS + 1/Kr}$$

Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C2$

Então,

$$P_0 \cdot (\mu \times Alr + A \times S) \cdot \frac{Y_0^{\beta} \cdot 1}{1/C2} = \frac{(\mu \times Alr + 2 \times A \times S)}{2^{\beta} Kr} \cdot \frac{1}{1/C2}$$

$$(-P_0 + (\mu \times Alr + A \times S) + Y_0^{\beta} C2) \cdot 2K^{\beta} C2 = (\mu \times Alr + 2 \times A \times S)$$

$$(-P_0 + (\mu \times Alr + A \times S) + Y_0^{\beta} C2) \cdot 2K^{\beta} / C2 = (\mu \times Alr + A \times S + A \times S)$$

$$(-P_0 + (\mu \times Alr + A \times S) + Y_0^{\beta} C2) \cdot 2K^{\beta} / C2 - (\mu \times Alr + A \times S) = A \times S$$

Primeiro, sabendo que

$$(\mu \times Alr + A \times S) = C1 / (1 - (C2 / (2 \times Kr)))$$

$$\mu^*Alr + A^*S = 498,35$$

Substituindo na equação, temos

P_0 =	1.800,00
Y_0 =	5,00
C_2 =	277,78
Kr =	703,78

$$C_3 \cdot Y_0 = 1.388,89$$

$$2 \cdot Kr / C_2 = 5,07$$

$$A \cdot S = -56,30$$

$$\mu \cdot Alr + A \cdot S = 498,35$$

$$\mu \cdot Alr = 498,35$$

$$ReqS = 458,91$$

$$f_{solo} \text{ (KPa)} = 80,65$$

$$f_{solo} \text{ (MPa)} = 0,08$$

Utilizando as expressões $\mu \cdot Alr$ e $\mu \cdot Alr / (\mu \cdot Y_1)$, temos que $\mu \cdot Y_1$

$$\mu \cdot Y_1 = 3,95$$

$$\text{Como } \mu \cdot Alr = 498,35 \text{ e } (\mu \cdot Alr) / (\mu \cdot Y_1) = 126,18$$

Para a maior carga e o maior recalque, temos

$$\text{Carga máxima mobilizada} = 3.430,98$$

$$\text{Recalque da carga máxima mobilizada} = 11,60$$

$$P_{rocha} = 2932,63$$

$$\text{Deslocamento no topo} = 6,39$$

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 3.430,98$$

$$L = 4,80$$

$$P_{rocha} = 2932,63$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N \cdot L / E \cdot A$

$$N \text{ (Média)} = 3.181,81$$

$$\Delta L \text{ (mm)} = 4,52$$

$$10,91 \quad 11,60 \quad 0,69 \quad \text{Revisar}$$

Para separa a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)

E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_t = W$

Vamos utilizar os seguintes valores:

$$Q_u = \text{Carga máxima mobilizada} = 3.430,98$$

$$r_m = 8,80$$

$$r_o = 0,16$$

$$\xi = 4,04$$

Expressão de Randolph=

$$R_{eq} S = \frac{P}{w} = \frac{r_o E}{2(1 + \mu)} \left[\frac{4}{(1 - \mu)} + \frac{2\pi L}{\xi r_o} \right]$$

Como $W_p = W_t = W$

Logo $(1 - 0,2) \cdot P_p / 4 \cdot r_o = Alr \cdot q_{si} / 2 \cdot 3,14 \cdot L$

Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L

$$P_p / P_L = 0,1133$$

Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$

$$\text{Temos que } 1,11 \cdot P_L = P_{rocha} \quad 1,11$$

$$P_L = 2.634,22$$

$$P_p = 298,42$$

Passamos a calcular o $f_{s,rocha}$

$$f_{s,rocha} \text{ (KPa)} = 615,05$$

$$f_{s,rocha} \text{ (MPa)} = 0,62$$

Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w

Primeiro encontrando a constantes

$$r_o / [2 \cdot (1 + 0,2)] = 0,06$$

$$\text{Depois o valor de } 4 / (1 - 0,2) = 5,00$$

$$\text{Depois } 2 \cdot 3,14 \cdot L / q_{si} \cdot r_o = 44,14$$

$$Q/w = 3,17$$

Temos então que $ReqS = 3,17 \cdot E$

$$E \text{ (MPa)} = 144,61$$

Verificação para a carga máxima de topo da estaca

$$\text{Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)} = 3.430,98$$

$$L_{solo} = 4,80$$

$$L_{rocha} = 4,40$$

$$P_{rocha} = 2932,63$$

$$P_p = 298,42$$

Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N \cdot L / E \cdot A$

$$N \text{ (Média)} = 3.181,81$$

$$\Delta L_{solo} \text{ (mm)} = 4,52$$

$$N \text{ (Média)} = 1.615,52$$

$$\Delta L_{rocha} \text{ (mm)} = 3,68$$

$$\Delta L_{total} \text{ (mm)} = 8,20$$

O recalque na ponta fictícia (entre

$$\text{solo e rocha)} = 7,08$$

E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$

$$ReqS = 414,27$$

$$E \text{ (MPa)} = 130,55$$

Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:

$$\xi = 4,04$$

$$E \text{ (MPa)} = 144,61$$

$$G_c = 60.254,78$$

$$P_{rocha} = 2.932,63$$

$$\text{Lambda} = 424,86$$

Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:

$$Q_u / Q = (4 / 0,8) / [(4 / 0,8) + (2 \cdot 3,14 \cdot L_{rocha}) / (q_{si} \cdot r_o)]$$

$$Q_u / Q = 0,1018$$

Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:

$$w(z) = [Q_u / (r_o \cdot G_c)] \cdot (0,8 / 4) \cdot \cosh [\mu \cdot (L_{rocha} - z)]$$

Calculando o $\mu = (1 / r_o) \cdot (2 / q_{si} \cdot \text{lambda})$

$$\mu = 0,0037596$$

Para z igual ao comprimento da rocha

$$z = 4,40$$

$$w(z = L_{rocha}) = 0,0064$$

Para z igual a 0

$$z = 0,00$$

$$w(z=0) = 0,0064$$

Como $w_0 = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS - CTG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ALUNA: MARILIA DANTAS

MEMÓRIA DE CÁLCULO

Estaca E 150A

Dados				Calculando o Kr1 com os dados de entrada	
L _{solo} (m)	10,10	Fck (KN/m²)	20000	K _{r1} = ES / L _{solo} = (E * (π * r²)) / 4 * L solo	
L _{rocha} (m)	5,60	E (KN/m²)	25600000		
D (m)	0,31	Ap (m²)	0,075	K _{r1} (KN/mm)	
D _{solo} (m)	0,41	π	3,14	334,47	
L (m)					

ENSAIO DE CARREGAMENTO DINÂMICO
CNO - Arena Pernambuco - Raiz 41cm - E150-A

Cálculo da Equação da Reta			
	Reta Azul	Reta Vermelha	
x1	700	1150	
x2	3200	3200	
y1	0	0	
y2	8,80	8,80	
m	0,0035	0,0043	m = (y2 - y1) / (x2 - x1)
n	-2,45	-4,945	n = y - mx

Plotagem das Retas			
	X	Y	
Reta Azul	700	0	
	700	0	
	3200	8,80	
Reta Vermelha	1150	0	
	1150	0	
	3200	8,80	

Isolando a variável X			
y = 0,0035x - 2,45		y = 0,0043x - 4,945	
x = 700 + 285,71y		x = 1150 + 232,56y	
C ₁ = 700,00		C ₁ = 1.150,00	
C ₂ = 285,71		C ₂ = 232,56	

Sabendo que $P_0 = \mu \cdot Alr \cdot (B'/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_0) + A \cdot S \cdot W_2$ e que $P_0 = C_1 + C_2 \cdot Y_0$
Comparando ambas as equações temos que $C_1 = A \cdot S \cdot W_2$ e $C_2 = \mu \cdot Alr \cdot (B'/z) \cdot (V_0/\mu \cdot Y_0)$
A Reta Vermelha é equivalente ao trecho 4 e 5 da Figura Massad, ou seja:

$$\frac{P_0 - (\mu \cdot Alr \cdot A \cdot S)}{Y_0 - \mu \cdot Alr \cdot 2 \cdot A \cdot S} = \frac{1}{R \cdot S} + \frac{1}{R \cdot Kr}$$

Simplificando a expressão e nomeando essa parte como "a"

Dessa forma temos que $C_2 \cdot Y_0 = a \cdot Y_0$
Logo $C_2 = a$, com isso é possível calcular o valor de ReqS

ReqS = 763,25

Voltando a Reta Azul, tem-se que:

z * Kr * β = 285,71

E sabendo que lambda = (ReqS / Kr) / z

Z0 =	1
Lambda =	2,28
β =	1,11
Z1 =	0,77
Lambda =	2,97
β =	1,24
Z2 =	0,69
Lambda =	3,31
β =	1,31
Z3 =	0,65
Lambda =	3,50
β =	1,36
Z4 =	0,63
Lambda =	3,62
β =	1,38
Z5 =	0,62
Lambda =	3,70
β =	1,40
Z6 =	0,61
Lambda =	3,74
β =	1,41
Z7 =	0,60
Lambda =	3,77
β =	1,42
Z8 =	0,60
Lambda =	3,79
β =	1,42
Z9 =	0,60
Lambda =	3,80
β =	1,43
Z10 =	0,60
Lambda =	3,81
β =	1,43

Z11=	0,60		
Lambda=	3,82		
β=	1,43		
Z12=	0,60		
Lambda=	3,82		
β=	1,43		
Z13=	0,60		
Lambda=	3,82		
β=	1,43		
Z14=	0,60		
Lambda=	3,82		
β=	1,43		
Sabendo que $((\mu * Alr)/(\mu * Y_1)) * \beta / z = z * Kr * \beta$			
$(\mu * Alr)/(\mu * Y_1) =$	119,20		
Sendo a expressão $\mu * Y_1 = \mu * Alr * \beta / (z * C_2)$ e chamando $b = \beta / (z * C_2)$, temos $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$			
b=	0,008		
Tomando como referência o Ponto 4 da Reta Azul, em que temos:			
P ₀ =	3200		
Y ₀ =	8,8		
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$			
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$			
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	284,09		
E			
$\beta / z =$	2,40		
Dessa forma tem-se			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	118,53		
Entretanto, sabendo que $\mu * Y_1 = \mu * Alr * b$ temos que $1/b = (\mu * Alr) / (\mu * Y_1)$			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	119,20		
Os valores são próximos mas não são iguais.			
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:			
P ₀ =	3.200,00		
Y ₀ =	8,80		
Pela Reta Azul			
Utilizando a expressão $P_0 = \mu * Alr * (\beta / z) * (Y_0 / \mu * Y_1) + A * S * W_2$			
Reestruturando temos $\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) = (P_0 - A * S * W_2) / Y_0$			
$\mu * Alr * \beta / (z * Y_1) =$	284,09		
E			
$\beta / z =$	2,40		
Dessa forma tem-se			
$(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$	118,53		
Pela reta vermelha			
Tomando como referência o Ponto 4 que pertence a ambas as retas, em que temos:			
P ₀ =	3.200,00		
Y ₀ =	8,80		
$P_0 = (\mu * Alr + A * S) - \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr} + \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr}$			
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/ReqS + 1/Kr} = \frac{(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$			
Sabendo que $1/(1/ReqS + 1/Kr) = C_2$, temos que $1/ReqS + 1/Kr = 1/C_2$			
Então,			
$P_0 - (\mu * Alr + A * S) - \frac{y_0 * 1}{1/C_2} = \frac{-(\mu * Alr + 2 * A * S)}{2 * Kr}$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr * C_2 = (\mu * Alr + 2 * A * S)$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 = (\mu * Alr + A * S + A * S)$			
$(-P_0 + (\mu * Alr + A * S) + y_0 * C_2) * 2Kr / C_2 - (\mu * Alr + A * S) = A * S$			
Primeiro, sabendo que			
$(\mu * Alr + A * S) = d1 / (1 - (d2 / (2 * Kr)))$	d1 = C1	d2 = C2	
$\mu * Alr + A * S =$	1.762,86		
Substituindo na equação, temos			
P ₀ =	3.200,00		
Y ₀ =	8,80		
C ₂ =	232,56	C ₂ *Y ₀ =	2.046,51
Kr=	334,47	2*Kr/C ₂ =	2,88
A*S=	-10,03		
$\mu * Alr + A * S =$	1762,86		
$\mu * Alr =$	1762,86		
ReqS=	763,25		
f _{s, solo} (KPa)	135,58		
f _{s, solo} (MPa)	0,14		
Utilizando as expressões $\mu * Alr$ e $\mu * Alr / \mu * Y_1$, temos que $\mu * Y_1$			
$\mu * Y_1 =$	14,87	Como $\mu * Alr =$	1762,86 e $(\mu * Alr) / (\mu * Y_1) =$
Para a maior carga e o maior recalque, temos			
Carga máxima mobilizada=	3.381,00		
Recalque da carga máxima mobilizada=	10,40		
P _{rocha} =	1618,14		
Deslocamento no topo=	2,12		
Carga máxima mobilizada - Adesão (AS)=	3.381,00		
L=	10,10		
P _{rocha} =	1618,14		
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L = N * L / E * A$			
N (Média)=	2.499,57		

$\Delta L(\text{mm})=$	7,47			
	9,59	10,40	0,81	Revisar
Para separar a parcela de ponta e atrito, vamos partir da expressão de Randolph para estaca rígida (considerando que esta seja apenas a carga mobilizada longe da ruptura)				
E sendo a estaca rígida, neste trecho temos que $W_p = W_s = W$				
Vamos utilizar os seguintes valores:				
Qu= Carga máxima mobilizada	3.381,00			
r_m	11,20			
r_o	0,16			
ζ	4,28			
Como $W_p = W_s = W$				
Logo $(1 - 0,2)*P_p/4 * r_o = \text{Alr} * q_{si} / 2*3,14*L$				
Dessa forma encontramos a Relação de P_p e P_L				
$P_p/P_L=$	0,0943			
Substituindo a relação de P_p em função de P_L na expressão $P_p + P_L = P_{rocha}$				
Temos que $1,09*PL = Procha$				
$P_L=$	1.478,66			
$P_o=$	139,47			
Passamos a calcular o $f_{s_{rocha}}$				
$f_{s_{rocha}}$ (KPa)	271,26			
$f_{s_{rocha}}$ (MPa)	0,27			
Fazendo a retro-análise do valor de E vamos utilizar a expressão de Q/w				
Primeiro encontrando a				
contantes $r_o/[2*(1+0,2)]=$				
Depois o valor de $4/(1-0,2)=$				
Depois $2*3,14*L/q_{si}*r_o=$				
Q/w	3,75			
Temos então que $ReqS = 3,75*E$				
E (MPa)=	203,73			
Verificação para a carga máxima de topo da estaca				
Carga máxima mobilizada -				
Adesão (AS)=				
$L_{solo} =$				
$L_{rocha} =$				
$P_{rocha} =$				
$P_p =$				
Calculando o encurtamento do fuste, $\Delta L_{solo} = N*L/E*A$				
N (Média)=				
$\Delta L_{solo}(\text{mm})=$				
N (Média)=				
$\Delta L_{rocha}(\text{mm})=$				
$\Delta L_{total}(\text{mm})=$				
O recalque na ponta fictícia				
(entre solo e rocha)=				
E para $ReqS = P_{rocha} / \text{Recalque na ponta fictícia}$				
ReqS=				
E (MPa)=				
Anteriormente, pelo método de Randolph, foram obtidos os seguintes valores:				
ζ				
E (MPa)=				
$G_o =$				
$P_{rocha} =$				
Lambda=				
Para estaca rígida, utilizando a seguinte equação:				
$Q_u/Q = (4 / 0,8)/((4/0,8)+\{[(2*3,14*L_{rocha})/(q_{si}*r_o)]\})$				
$Q_u/Q =$				
Considerando a estaca compressível. Podemos utilizar a seguinte equação:				
$w(z) = [Q_u/(r_o * G_o)]*(0,8/4) * \cosh [\mu*(L_{rocha} - z)]$				
Calculando o $\mu = (1/r_o)*(2/q_{si}*lambda)$				
$\mu =$				
Para z igual ao comprimento da rocha				
$z=$				
$w(z = L_{rocha}) =$				
Para z igual a 0				
$z=$				
$w(z=0) =$				
Como $w_b = w(z=0)$, temos que o trecho em solo é rígido.				