

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas – UFPE

Avaliação da carga máxima por espera através de lei de
atenuação visando à minimização de danos decorrentes das
operações de desmonte de rochas nas escavações da Arena
Pernambuco

Tiago da Costa Silva
Engenheiro de Minas

Recife, 2012

Ministério da Educação
Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Programa de Pos-Graduação em Engenharia Mineral
PPGEMinas - UFPE

Avaliação da carga máxima por espera através de lei de
atenuação visando à minimização de danos decorrentes das
operações de desmonte de rochas nas escavações da Arena
Pernambuco

por

Tiago da Costa Silva
Engenheiro de Minas

Trabalho realizado no Laboratório de Controle Ambiental na Mineração
do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral – PPGEMinas,
UFPE.

Recife, 2012

AVALIAÇÃO DA CARGA MÁXIMA POR ESPERA ATRAVÉS DE LEI DE
ATENUAÇÃO VISANDO À MINIMIZAÇÃO DE DANOS DECORRENTES
DAS OPERAÇÕES DE DESMONTE DE ROCHAS NAS ESCAVAÇÕES
DA ARENA PERNAMBUCO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral –
PPGEMinas, como parte dos requisitos para obtenção de Título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de concentração: Minerais Industriais
Linha de pesquisa: Gestão Ambiental na Mineração

por

Tiago da Costa Silva
Engenheiro de Minas

2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Raquel Cortizo, CRB-4 664

S586a

Silva, Tiago da Costa.

Avaliação da carga máxima por espera através de lei de atenuação visando à minimização de danos decorrentes das operações de desmonte de rochas nas escavações da Arena Pernambuco / Tiago da Costa Silva. - Recife: O Autor, 2012.
vii, 64 folhas, il., gráfs., tabs., figs.

Orientador: Prof. Dr: Carlos Magno Muniz e Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2012.

Inclui Referências Bibliográficas, apêndices e anexos.

1. Engenharia Mineral 2.Desmonte de rochas 3.Vibrações de detonações 4.Lei de atenuação. 5. Monitoramento sismográfico I. Silva, Carlos magno Muniz e (orientador). II. Título.

622.35 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2012-037



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
TIAGO DA COSTA SILVA

“AVALIAÇÃO DA CARGA MÁXIMA POR ESPERA ATRAVÉS DE LEI DE
ATENUAÇÃO VISANDO À MINIMIZAÇÃO DE DANOS DECORRENTES DAS
OPERAÇÕES DE DESMONTE DE ROCHAS NAS ESCAVAÇÕES DA ARENA
PERNAMBUCO”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato **TIAGO DA COSTA SILVA** aprovado.

Recife, 16 de janeiro de 2012.

PROF. Dr. CARLOS MAGNO MUNIZ E SILVA (UFPE), Orientador

PROF. Dr. MÁRCIO LUIZ SEIQUEIRA CAMPOS BARROS (UFPE)

PROF. Dr. VALDIR COSTA E SILVA (UFOP)

Dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre abrir portas e iluminar os nossos caminhos.

A meus pais, José Geraldo da Silva e Luzenilda Rodrigues da Costa, pelo amor, pela educação, pelos cuidados, e apoio incondicional que têm demonstrado para comigo em todo o tempo.

Ao meu orientador Prof. Carlos Magno Muniz e Silva, pelo apoio e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

À DETEX pelo fornecimento dos dados dos planos de fogo e sismogramas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral/UFPE e os professores da graduação em Engenharia de Minas/UFCG pelo apoio e solidariedade demonstrada em diversos momentos.

Ao Srs. Engs. de Minas e amigos Wilson Marques da Silva, Rodrigo Oliveira Sabino e Riquett Bezerra, pela amizade, ajuda em diversos momentos e muitas lições aprendidas.

À banca examinadora, pela contribuição intelectual.

À UFPE/PROPESQ/CAPES, pelo auxílio financeiro durante os meses de vigência do mestrado.

Aos colegas do PPGEMinas/UFPE, pela convivência acadêmica.

Ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, funcionários e colaboradores.

Meu muito obrigado!

RESUMO

As vibrações no terreno (e/ou maciço rochoso) causadas pelas detonações com uso de explosivos nas operações unitárias de desmonte de rochas; seja para mineração, seja para obras civis, são objetos de preocupação quanto aos danos estruturais que possam causar. As vibrações de baixa frequência com elevada velocidade de pico de partícula apresentam grande risco e devem ser levadas em consideração. Para tanto, visando a predição dos riscos e controle das vibrações, a *Lei de Atenuação* é capaz de prever níveis de vibração seguros com base em dados de campo – monitoramento sismográfico -. O presente trabalho se baseia na análise de Planos de Fogo e medições sismográficas para a obtenção de parâmetros físicos para a elaboração da Lei de Atenuação (específica ao caso de estudo) que relacione de forma satisfatória os valores de cargas máximas por espera, distância dos pontos de detonação às estruturas que devem ser preservadas e a velocidade de pico de partícula atingida em função da detonação de explosivos. A referida lei será ferramenta útil para a comparação, correção e redimensionamento dos Planos de Fogo executados das obras de escavação da Arena Pernambuco, localizada no município de São Lourenço da Mata, Região Metropolitana de Recife/PE.

Palavras-chave: Desmonte de rochas, Vibrações de detonações, Lei de atenuação, Monitoramento sismográfico.

ABSTRACT

The vibrations in the ground (and/or rock mass) caused by blasting with explosives used in operations disassemble rock, for mining or civil works, are objects of concern about structural damage they may be generated. The low-frequency vibrations with high peak particle velocities have a high risk and should be taken into consideration. To do so, in order to predict the risks and control of vibrations, the Propagation Law is enable to predict safe levels of vibration based on field data - seismic monitoring -. This work is based on analysis of blasting designs and seismographic monitoring to obtainment of physical parameters for the elaboration of the Propagation Law (specific to the case study) that relates satisfactorily the values of maximum loads by waiting, distance between the points of detonation and structures to be preserved and the peak particle velocity achieved according to the detonation of explosives. The law will be a useful tool for comparison, correction and resizing of the blasting designs to the excavation works carried out in Arena Pernambuco, located in São Lourenço da Mata, Metropolitan Region of Recife/PE

Key-words: Rock blasting, Ground vibrations, Propagation law, Monitoring seismographic.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Metodologia para a construção do modelo de lei de atenuação	4
Fig. 2.1 – Mecanismo de quebra por flexão	9
Fig. 2.2 – Influência do afastamento sobre o sistema de fraturas radiais	10
Fig. 2.3 – Gráfico de um movimento harmônico simples, deslocamento em função do tempo	14
Fig. 2.4 – Gráfico de deslocamento de partícula em função do tempo	16
Fig. 2.5 – Efeito da distância sobre as vibrações	20
Fig. 2.6 – Onda compressiva (P)	21
Fig. 2.7 – Onda transversal (S)	21
Fig. 2.8 – Onda de Rayleigh (R)	23
Fig. 2.9 – Onda de Love (L)	23
Fig. 2.10 – Sismógrafo de engenharia	24
Fig. 2.11 – Sismograma	25
Fig. 2.12 – Ábaco de Langefors	28
Fig. 2.13 – Limites de velocidade de partícula (UNE 22-381:1983)	32
Fig. 2.14 – Gráfico mostrando a relação da carga corrigida com a distância e os fatores relacionados ao tipo de rocha e ao tipo de estrutura a se proteger	34
Fig. 2.15 – Curvas para os valores limite de velocidade de partícula registrados nas fundações (DIN 4150-3:1999)	36
Fig. 2.16 – Limites de velocidade de partícula (RI 8507:1980)	37
Fig. 2.17 – Limites de velocidade de partícula (NBR 9653:2005)	38
Fig. 2.18 – Variáveis de integração para determinação de velocidade de partícula num ponto próximo	41
Fig. 3.1 – Localização da área de estudo	44
Fig. 3.2 – Vista do canteiro de obras da Arena Pernambuco	45
Fig. 3.3 – Geologia do município de São Lourenço da Mata/PE	46
Fig. 3.4 – Afloramento gnaisse-granítico no interior da área de construção da Arena Pernambuco	47
Fig. 3.5 – Estruturas já construídas na área da Arena Pernambuco passíveis de danos causados por vibrações	48
Fig. 3.6 – Imagens dos monitoramentos sismográficos executados nas estruturas da Arena Pernambuco e nas estruturas residenciais nas proximidades	51
Fig. 4.1 – Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada com todas as medições sismográficas obtidas	56

- Fig. 4.2** – Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada com todas as medições sismográficas efetivamente utilizadas na construção do modelo de lei de atenuação 57
- Fig. 5.1** – Representação gráfica do modelo de lei de atenuação proposto com eventos de leituras sismográficas utilizados para sua construção 64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Distribuição da energia da onda de choque	12
Tabela 2.2 – Fatores que influenciam o nível de vibrações – Konya	18
Tabela 2.3 – Velocidade média das ondas sísmicas nas rochas	22
Tabela 2.4 – Intervalo médio de registros em sismogramas	26
Tabela 2.5 – Carga explosiva em função da distância e coeficiente de segurança – Langefors	28
Tabela 2.6 – Relações de danos por vários autores	29
Tabela 2.7 – Relação de velocidade de partícula e possibilidade de danos – Langefors e Kihlström	30
Tabela 2.8 – Velocidade de partícula e frequência – Siskind	30
Tabela 2.9 – Limites de velocidade de partícula (NP 2074:1983)	31
Tabela 2.10 – Limites de velocidade de partícula (UNE 22-381:1983)	33
Tabela 2.11 – Exemplo de tabela para carga máxima por espera/distância	34
Tabela 2.12 – Limites de velocidade de partícula (DIN 4150-3:1999)	35
Tabela 2.13 – Limites de velocidade de partícula (RI 88507:1980)	37
Tabela 2.14 – Limites de velocidade de partícula (NBR 9653:2005)	38
Tabela 3.1 – Resumo dos planos de fogo monitorados pelo LACAM/UFPE	49
Tabela 3.2 – Dados dos monitoramentos sismográficos, por plano de fogo	52
Tabela 3.3 – Dados dos monitoramentos sismográficos, por evento de leitura	53
Tabela 3.4 – Resumo dos eventos de leitura sismográfica obtidos	54
Tabela 4.1 – Dados de velocidade de vibração de partícula de pico e distância escalonada	56
Tabela 4.2 – Dados utilizados para a construção do modelo de lei de atenuação	57
Tabela 4.3 – Análise de variância para o ajuste do modelo de lei de atenuação	59
Tabela 4.4 – Valores de referência para carga máxima por espera, limite de velocidade de vibração de partícula de pico = 50 mm/s	60
Tabela 4.5 – Valores de referência para carga máxima por espera, limite de velocidade de vibração de partícula de pico = 15 mm/s	61
Tabela 4.6 – Dados dos eventos acima do estimado pelo modelo de lei de atenuação	62

LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS

ω	Velocidade angular
t	Tempo
φ_0	Ângulo de fase
F	Frequência
T	Período
v	Velocidade de partícula
Q	Carga máxima por espera
D	Distância
c_P	Velocidade da onda compressiva
E	Módulo de elasticidade
ρ	Densidade
ν	Coefficiente de Poisson
λ e G	Constantes de Lamé
c_S	Velocidade da onda cisalhante
c_R	Velocidade da onda de Rayleigh
g	Aceleração da gravidade
DR ou DE	Distância escalonada

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	2
1.3 OBJETIVOS:	3
GERAL	3
ESPECÍFICOS	3
1.4 METODOLOGIA	3
1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 A PRÁTICA DO DESMONTE DE ROCHAS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS	6
2.2 OS MECANISMOS DE RUPTURA E FRAGMENTAÇÃO DE ROCHAS	8
2.3 OS FENÔMENOS DE VIBRAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE CHOQUE	11
2.4 O MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO AMBIENTAL E OPERACIONAL	24
2.5 NORMAS E TEORIAS DE DANOS ESTRUTURAIS PROVOCADOS POR DETONAÇÕES	27
2.5.1 NORMA PORTUGUESA NP 2074	30
2.5.2 NORMA ESPANHOLA UNE 22-381	32
2.5.3 NORMA ALEMÃ DIN 4150-3	34
2.5.4 NORMA AMERICANA RI 8507	36
2.5.5 NORMA BRASILEIRA NBR 9653	37
2.6 A LEI DE ATENUAÇÃO COMO FATOR DE CORREÇÃO DA CARGA MÁXIMA POR ESPERA	39
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	44
3.2 DESCRIÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO	46
3.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS PLANOS DE FOGO EXECUTADOS	47

3.4	INSTRUMENTAÇÕES SISMOGRÁFICAS	51
4.	ANÁLISES E CORRELAÇÃO DO MODELO DE LEI DE ATENUAÇÃO	55
4.1	ELABORAÇÃO DO MODELO DE LEI DE ATENUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	55
4.2	ANÁLISE E CORRELAÇÃO DE RISCO DE DANOS	60
4.3	CORREÇÕES DO FATOR DE CARGA MÁXIMA POR ESPERA	61
5.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES	63
5.1	CONCLUSÕES	63
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DO MODELO DE LEI DE ATENUAÇÃO PARA O CASO DE ESTUDO – ARENA PERNAMBUCO

ANEXO A – PLANOS DE FOGO

ANEXO B – MEDIÇÕES SISMOGRÁFICAS

ANEXO C – ABNT NBR 9653:2005

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Sabe-se que o processo de desmonte de rocha com uso de explosivos seja para fins de mineração, ou mesmo de obras urbanas, causa impactos adversos ao meio ambiente, tais como, liberação de gases que eventualmente podem ser tóxicos, poeiras, dispersão de partículas na atmosfera, ultralancamentos, sobrepressão atmosférica (sopros de ar), vibrações no solo, principalmente.

As vibrações estão presentes em todo e qualquer lugar que se possa imaginar. De acordo com os físicos, elas estão em cada átomo do nosso corpo, são presentes em cada grão do universo, mesmo um objeto parado vibra, a baixa frequência. Em situações específicas essas vibrações de baixa frequência podem ser amplificadas quando submetidos a um agente externo.

As vibrações transmitidas ao solo geradas pelas atividades de desmonte de rocha com uso de explosivos, seja para obras civis ou mineração, quando atingem uma configuração adequada de comprimento de onda, velocidade de partícula e frequência, podem se tornar o agente externo necessário para a produção de sérios danos a estruturas civis nas áreas ao redor das detonações. Esse quadro é bem conhecido quando há mineração em áreas urbanas e/ou a prática de desmontes de rocha em obras civis.

Muitos estudos já foram desenvolvidos e normas são empregadas ao redor do mundo para limitar a níveis seguros as vibrações causadas por detonações de cargas explosivas, por meio de parâmetros característicos que possam ser adequadamente manejados, os principais atualmente são velocidade de vibração de partícula e carga máxima por espera.

Metodologias experimentais foram desenvolvidas por diversos estudiosos no decorrer do tempo a fim de relacionar esses e outros parâmetros para um controle dos níveis de vibrações gerados por detonações, sendo considerado o método mais adequado para este fim a construção de modelos de leis de atenuação ou leis de propagação de velocidade de partícula.

O modelo de lei de atenuação se baseia em dados reais de medições de velocidade de partícula obtidas através de um monitoramento sismográfico das atividades de desmonte de rocha junto a estruturas passíveis de sofrer danos.

Além da velocidade de vibração de partícula, outro parâmetro fundamental para o desenvolvimento do modelo de lei de atenuação é a distância escalonada ou distância reduzida (DR). Este é um parâmetro que relaciona a carga de explosivo detonada num

mesmo instante, seja de um único furo ou de vários furos simultâneos e a distância do ponto de detonação aos possíveis alvos de danos.

A construção de um gráfico relacionando os valores de velocidade de partícula e distância escalonada permite a obtenção de uma reta, quando os pares ordenados (v, DR) , são plotados em papel di-logarítmico, esta reta se constitui no modelo de lei de atenuação a ser utilizado, desde que apresente um ajuste seguro da reta aos pontos obtidos experimentalmente, com um coeficiente de correlação o mais próximo de 100%.

Entretanto, tal modelo de lei de atenuação não se constitui um modelo genérico, a lei de atenuação se aplica satisfatoriamente apenas no local para onde foi desenvolvida. Tendo em vista que cada situação de desmonte é única, suas características como conformação do plano de fogo, litologias e características geomecânicas dos maciços rochosos, descontinuidades, falhas, bem como as estruturas a se proteger são variáveis singulares de cada local de estudo.

No presente trabalho de dissertação iremos tratar das vibrações advindas de atividades de desmonte de rocha com uso de explosivos realizadas nas obras de escavação para a construção da Arena Pernambuco, conhecida como Arena da Copa, estádio que será utilizado para jogos do Campeonato Mundial de Futebol de 2014, e, o desenvolvimento de um modelo de lei de atenuação para ser utilizado neste caso de estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

De acordo com Konya (1985), desde a década de 1930 estudiosos vêm procurando uma forma de caracterizar as vibrações advindas do desmonte de rochas, com o intuito de poder prever o índice de vibrações gerados, e, assim, produzir menos impactos ao meio ambiente e menores danos às estruturas ao redor dos locais de detonação.

Para tanto, no decorrer do tempo, chegou-se a formulação da chamada “Lei de Atenuação”, equação relacionando diretamente a carga de explosivo detonada instantaneamente num desmonte e a velocidade de partícula (tido como o parâmetro mais confiável de caracterização dessas vibrações), e, por fim, à distância aos locais de detonação.

Assim, por meio da construção de uma lei de atenuação baseada nos parâmetros medidos próximo aos locais das detonações, pode-se controlar o nível de vibração causado pelos eventos de detonação. Isto motivou a elaboração do presente trabalho, a possibilidade de contribuir para a gestão operacional das atividades de desmonte de rocha efetuadas, proporcionando segurança às comunidades no entorno, por meio da elaboração de uma equação capaz de fornecer informações como qual carga de explosivo seria adequada para

se utilizar sem ocasionar danos estruturais na obra de construção do estádio (Arena Pernambuco) nem danos às estruturas residenciais nas proximidades.

E assim, poder assegurar maior ritmo às obras para estarem concluídas a tempo de sediarem não apenas a COPA de 2014, mas também outros eventos em 2013. Outrossim, um ritmo acelerado de obras, pode ser associado uma menor capacidade de prevenir danos, e, com uma forma de prever e controlar os níveis velocidades de vibração de partícula ocasionados pelos desmontes de rocha na construção, essa menor capacidade de prevenir os danos é satisfatoriamente sanada.

1.3 OBJETIVOS:

GERAL

Construir com base em dados sismográficos, planos de fogo executados e as medidas das distâncias dos pontos de monitoramento, um modelo de lei de atenuação para a região próxima aos desmontes de rocha (confinado) executados para construção da Arena Pernambuco, visando a predição de danos em estruturas da obra (estacas, sapatas, rampas, etc) e edificações residenciais circunvizinhas.

ESPECÍFICOS

Analisar dados sismográficos, tais como níveis de velocidade de pico de partícula e frequências associadas, apresentados nas medições de monitoramento sismográfico das detonações realizadas pela DETEX na obra de construção da Arena Pernambuco;

Analisar os planos de fogo executados, suas respectivas cargas máximas por espera e demais informações que sejam relevantes para o presente estudo;

Propor, com base nas informações obtidas, um modelo de lei de atenuação que possa prever o nível de vibração gerado pelas detonações no local da obra.

1.4 METODOLOGIA

Para a execução deste trabalho foi feito um levantamento bibliográfico sobre as atividades de desmonte de rocha (confinado) com uso de explosivo, seus impactos ambientais, especificamente, a propagação de vibrações no terreno, as formas de monitoramento e previsão desses parâmetros por meio da formulação da lei de atenuação.

Somado a isso, foram analisados os sismogramas dos monitoramentos sismográficos realizados pelo LACAM/UFPE na área de estudo, juntamente com os

respectivos planos de fogo (DETEX) utilizados para cada evento de detonação, para assim, formular o modelo de lei de atenuação para o local (estudo de caso). Para a partir dessas análises se construir o gráfico de velocidade de vibração de partícula em função da distância escalonada, partiu-se para a determinação dos coeficientes da reta pela obtenção do gráfico do modelo de Lei de Atenuação local.

De posse dos coeficientes, foi determinado o grau de ajuste do modelo de lei de atenuação obtido, e, baseando-se no modelo proposto, foram feitas algumas considerações sobre as atividades de desmonte de rochas nas obras de escavação para a construção da Arena Pernambuco. Os trabalhos desenvolvidos no presente trabalho estão em conformidade ao fluxograma proposto na Fig. 1.1.

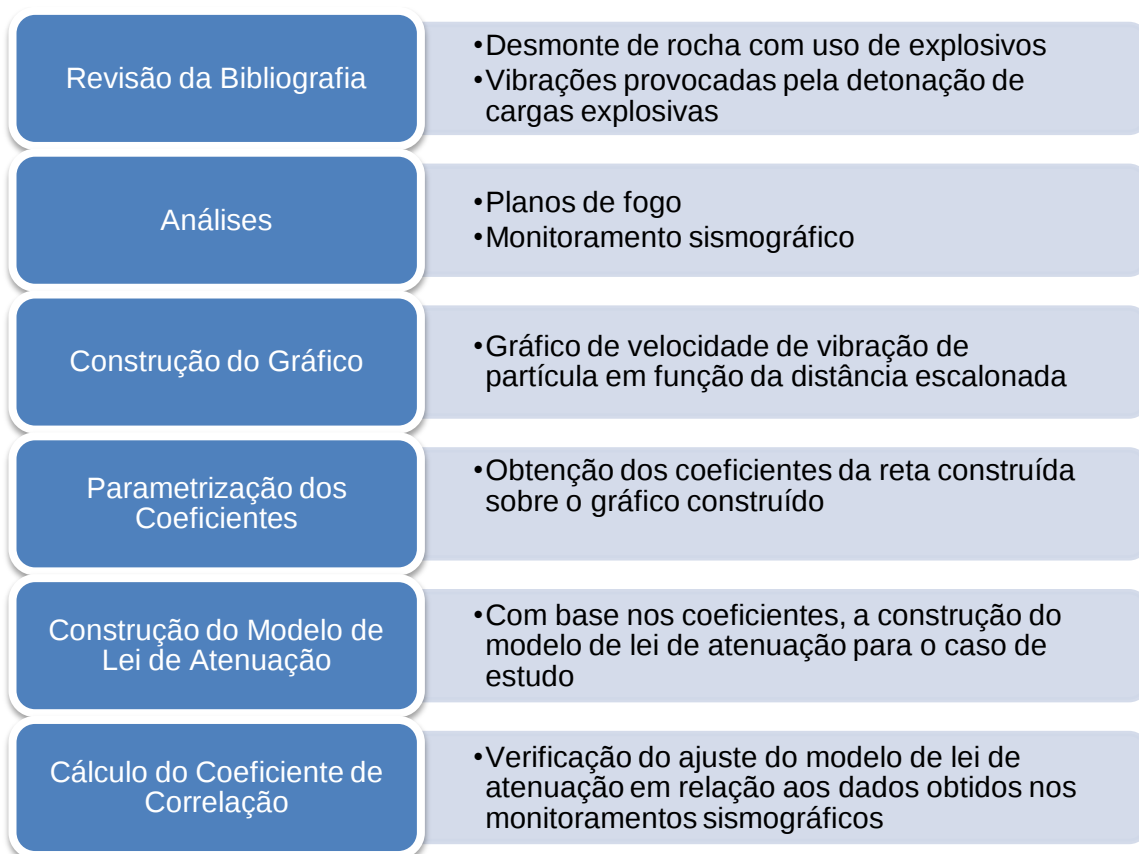


Fig. 1.1 – Metodologia para a construção do modelo de lei de atenuação.

1.5 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente Dissertação se apresenta em cinco capítulos. O primeiro tratando da apresentação do tema que se propõe discutir, uma visão da geral da importância e da necessidade da execução do presente estudo, enfocando os objetivos e as metodologias utilizadas para tanto, e, por fim, a apresentação da estrutura da dissertação.

O Capítulo 2 constitui-se da revisão bibliográfica, onde são apresentados mais detalhadamente tópicos sobre o desmonte de rocha com uso de explosivos e seus impactos ambientais, os mecanismos de ruptura e fragmentação associados, os fenômenos das vibrações causadas pelas detonações e as ondas associadas, a importância de um efetivo monitoramento sismográfico como ferramenta de controle ambiental e operacional, apresentação das normas e teorias de danos a estruturas provocados por eventos de detonação, e, conceituação da lei de atenuação como uma forte ferramenta para a correção da carga máxima por espera utilizada nos desmontes com explosivos.

O Capítulo 3, por sua vez, trata da localização e caracterização da área de estudo, onde se apresenta uma breve descrição do maciço rochoso. Também são introduzidos os levantamentos dos planos de fogo executados pela empresa DETEX e os monitoramentos sismográficos efetuados pelo LACAM/UFPE.

No Capítulo 4 é apresentada a elaboração do modelo da lei de atenuação com base nos dados coletados de plano de fogo e monitoramento sismográfico, onde são feitas também algumas considerações sobre riscos de danos e correções da carga máxima por espera.

Por fim, o capítulo 5 que compreende as conclusões da presente Dissertação e sugestões para futuros trabalhos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A PRÁTICA DO DESMONTE DE ROCHAS E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

As operações de desmonte de rochas são atividades imprescindíveis à mineração. Além disso, as operações de desmonte de rochas também se encontram associadas à construção civil, seja para escavação e terraplenagem (etapa de nivelamento de terreno), seja para como cortes e aterros em estradas, barragens e para fundação de estruturas.

É de conhecimento público que o desmonte de rochas, assim como qualquer outra atividade produtiva, provoca impactos ambientais adversos. Entretanto, esses impactos, na maioria das vezes, chamam mais a atenção, por se tratar de uma das poucas atividades que faz uso de explosivos, e suas implicações à população circunvizinha.

De acordo com Dinis da Gama (1998), os impactos ambientais resultantes do uso de explosivos são fenômenos explicáveis, mensuráveis e controláveis, ocorrendo rotineiramente sem atingirem os limites estabelecidos oficialmente.

Dallora Neto (2004) afirma que os principais impactos ambientais devido às atividades de desmonte de rocha estão associados à perda de energia no processo de detonação da carga explosiva, quando a energia liberada não resulta em trabalho útil. Também coloca como os principais impactos as poeiras e gases tóxicos, ultralançamentos, danos ao maciço remanescente, ruídos, sobrepressão atmosférica e vibrações propagadas pelo terreno.

As poeiras sendo liberadas pela fragmentação da rocha ou mesmo pelas atividades de perfuração e os gases tóxicos advindos da transformação do explosivo em gás. Normalmente, os únicos gases liberados são vapor d'água, gás carbônico e nitrogênio, entretanto, formulações inadequadas e a “queima” incompleta do explosivo podem gerar gases nitratos (NO_x) e monóxido de carbono (CO), considerados tóxicos, ou ainda gases sulfatados (SO_x) (Dias, 2001 apud Dallora Neto, 2004).

Os ultralançamentos, que segundo ABNT (2005), são arremessos de fragmentos de rocha decorrentes do desmonte com uso de explosivos que conseguem ir além da área de operação, esta tida como a área licenciada para a execução das atividades minerárias.

Dallora Neto (2004) ainda coloca os ultralançamentos como os maiores riscos às pessoas e estruturas nas proximidades dos locais onde são efetuados desmonte de rochas. De fato, um fragmento lançado numa detonação pode atingir grandes velocidades e ser lançado a centenas de metros de distância podendo ocasionar acidentes graves, e até acidentes fatais.

Quanto aos danos ao maciço remanescente, quando a carga de explosivo ou configuração do desmonte não foi bem planejada e/ou mal executada, resultando numa quebra maior do que o esperado, de forma a reduzir ou mesmo comprometer a estabilidade

do talude onde as atividades estão sendo desenvolvidas. Além de facilitar a possibilidade de ultralancamentos em desmontes subsequentes.

A sobrepressão atmosférica, definida por Eston (1998) apud Dallora Neto (2004), como toda propagação de uma onda elástica pelo ar, definida por Sanches (1995) apud Dallora Neto (2004) como termo que se refere à propagação pelo ar de ondas de choque provenientes da detonação de cargas explosivas, ou ainda, pela norma brasileira que a intitula como pressão acústica (ABNT, 2005), como a pressão provocada por uma onda de choque aérea com componentes na faixa audível (20 a 20.000 Hz) e não audível, com duração menor que um segundo.

A sobrepressão está relacionada à liberação de gases através de fraturas ou mesmo problemas de dimensionamento de tampão, situações de detonações não confinadas, refração das ondas sísmicas na atmosfera e o próprio deslocamento do maciço rochoso submetido à fragmentação e deslocamento pelo desmonte com uso de explosivos.

Existem ainda, as condições meteorológicas que também favorecem essa ocorrência, tais como inversão térmica, temperatura, velocidade e direção dos ventos, nebulosidade, pressão atmosférica, entre outros.

Por fim, as vibrações que são propagadas através do terreno, relacionadas com a energia liberada no desmonte, mas não absorvida na fragmentação e lançamento da rocha, provocando perturbações, entretanto, sem deformar o material atravessado pelas ondas de choque.

Para cada um dos impactos adversos gerados pela atividade de desmonte de rocha com uso de explosivos, existe um grupo de medidas mitigadores que pode contribuir efetivamente para evitar possíveis impasses com as comunidades vizinhas e com os órgãos ambientais.

Dinis da Gama (1998) afirma que diferentemente de outros segmentos da indústria, onde as soluções mais econômicas são as que apresentam maiores impactos ambientais, no desmonte de rocha com uso de explosivos, a minimização dos impactos geralmente acompanha a minimização dos custos, constituindo por vezes, um incentivo para o uso de tecnologias mais adequadas.

Muito embora a diminuição dos níveis de vibração esteja associada à diminuição da carga máxima por espera, as medidas mitigadoras necessárias para a redução da carga detonada instantaneamente passam pela adição de um maior número de retardos e espaçadores, acarretando em uma operação mais onerosa, de forma que nem sempre o pensamento apresentado por Dinis da Gama se torna factível.

2.2 OS MECANISMOS DE RUPTURA E FRAGMENTAÇÃO DE ROCHAS

A carga de explosivo confinada nos furos produz altas pressões e temperaturas em seu processo termodinâmico de transformação em gases e expansão.

De acordo com Jimeno (1995), são pelo menos oito os processos envolvidos na fragmentação da rocha com uso de explosivos. Alguns com maior outros com menor importância, mas todos compreendidos em duas fases, uma sendo a fase ligada diretamente à onda de choque produzida pela detonação da carga explosiva, e, a segunda correspondendo à ação dos gases após a detonação.

Esses processos de ruptura e fragmentação são assim enumerados: trituração da rocha, formação de fraturas radiais, quebra por reflexão ou “spalling”, prolongação das fraturas pelos gases, fraturas de liberação de carga, fraturas ao longo dos diferentes módulos de elasticidade, quebra por flexão, e, por fim, colisões durante o lançamento.

Quando a detonação do explosivo acontece, a rocha que o envolve é submetida a pressões muito maiores que sua resistência, fazendo com que essa rocha de contato imediato ao furo sofra quebra de sua estrutura cristalina e intergranular, sendo pulverizada. De acordo com Hagan (1977) apud Jimeno (1995), esse processo consome cerca de 30% da energia liberada pelo explosivo, sendo responsável, entretanto, por apenas 0,1% do volume total desmontado por furo. No entanto, segundo Duvall e Atchinson (1957) apud Jimeno (1995) atribuem que essa zona de trituração depende da carga explosiva, acoplamento e o tipo de rocha. E pode chegar a 8 vezes o diâmetro de furação, mas na maioria das vezes, fica em torno de 2 a 4 vezes o diâmetro do furo.

Logo após a pulverização, tem-se a formação das fraturas radiais provocadas pela compressão gerada pela onda de choque liberada na detonação. A compressão se dá em todas as direções ao redor do furo, e quando excede a resistência dinâmica da rocha provoca a sua quebra nas diversas direções. Quando o maciço rochoso apresenta planos de fratura e descontinuidades, essas fraturas radiais irão se desenvolver preferencialmente na direção das já existentes. O número e o comprimento dessas fraturas aumentam proporcionalmente à intensidade da onda de choque liberada na parede dos furos, e, inversamente à resistência da rocha.

A quebra por reflexão ou “spalling” acontece nas imediações do furo carregado, entre este e a face livre, especialmente nas descontinuidades do maciço, onde a onda de choque é refletida parcialmente como onda de tração e parte como onda de cisalhamento. Esse não é o processo mais importante de fragmentação, mas tem sua relevância quando as descontinuidades próximas ao furo não são preenchidas, favorecendo a quebra pela diferença de impedâncias.

A presença de fraturas favorece a liberação de gases, de forma que estes encontram ambientes de menores pressões onde possam escapar. Esse “escape” dos gases, a saída do maciço rochoso onde se encontra confinado, provoca uma maior extensão das fraturas formadas e em formação, proporcionando a quebra do material rochoso.

Quando da presença de diferentes litologias e diferentes módulos de elasticidade, a fragmentação acontece nessas interfaces pela deformação diferencial gerada pela passagem da onda de choque.

A quebra por flexão acontece após as fraturas radiais e “spalling”, nela a pressão gerada pela detonação da carga explosiva faz com que a rocha se comporte semelhantemente a uma viga engastada no fundo do furo e na área do tampão, gerando a fragmentação do maciço por flexão. A Fig. 2.1 ilustra a teoria descrita.

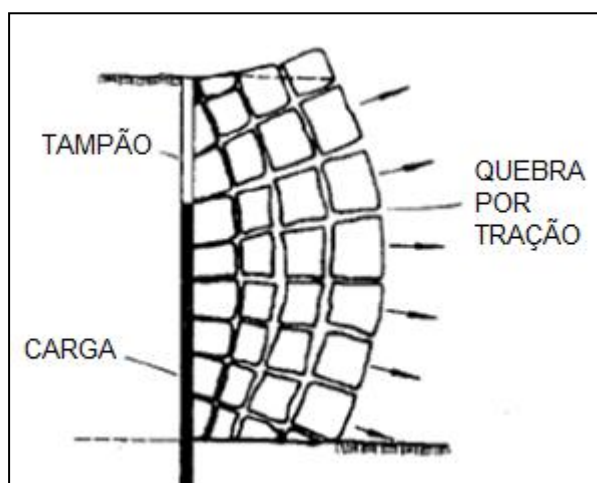


Fig. 2.1 – Mecanismo de quebra por flexão (Jimeno, 1995).

Por fim, as fraturas por colisões no ar, o material fragmentado é lançado na direção da face livre, e, durante esse lançamento para a formação da pilha, os blocos colidem entre si gerando uma maior fragmentação do material.

Para Konya (1985), por sua vez, são três os mecanismos de fragmentação da rocha com uso de explosivo confinado em furos: um associado à onda de choque e os outros dois associados aos gases liberados na detonação.

O mecanismo associado à onda de choque é de pouca importância para a fragmentação, sendo responsável apenas pelo surgimento de micro-fraturas nas paredes dos furos e nas descontinuidades do maciço.

Quanto ao mecanismo resultante da liberação dos gases, como a liberação da energia é instantânea, a energia não “procura” locais de menor pressão para escapar, ela atinge a parede de furo de forma uniforme, fazendo com que as fraturas nas paredes dos furos se prolonguem paralelamente à direção do eixo do furo, de forma a aparecerem as

chamadas fraturas radiais. A direção e extensão dessas falhas podem ser controladas pelo dimensionamento adequado do afastamento, a distância do furo à face livre do maciço. A Fig. 2.2 ilustra a teoria apresentada.

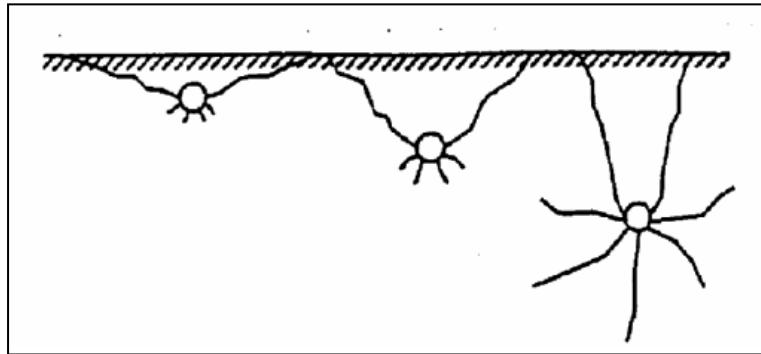


Fig. 2.2 – Influência do afastamento sobre o sistema de fraturas radiais (Konya, 1985).

Após a passagem da onda de choque e a formação das fraturas radiais paralelamente ao eixo dos furos, o maciço encontra-se particionado em estruturas semelhantes a cunhas, blocos, que como colunas sustentam o peso do maciço, os gases liberados nas cargas detonadas fazem pressão sobre as paredes de forma a empurrar essas cunhas perpendicularmente ao eixo dos furos em direção a pontos de alívio ou de menor resistência. Sem a existência desse alívio perpendicular ao eixo do furo, haveria apenas a formação de fraturas radiais e os furos se tornariam crateras ou o tampão seria arremessado para fora, o que ocasionaria uma menor fragmentação e maiores problemas ambientais.

Segundo Atlas (1987) apud Dallora Neto (2004), são quatro os processos de fragmentação que ocorrem durante e após a detonação da carga de explosivos, sendo estes quatro responsáveis pela fragmentação e deslocamento do material fragmentado.

O primeiro processo ou primeira fase sendo a detonação da carga do explosivo, onde há a transformação do explosivo em gases submetidos a elevadas pressões e temperaturas.

Após a detonação se segue a propagação de ondas de compressão, essas ondas de compressão provocarão o esmagamento, pulverização e/ou deslocamento de material. Ou seja, uma quebra violenta nas imediações do furo. Essa zona se caracteriza como zona hidrodinâmica, onde a rigidez da rocha é muito pequena diante da compressão sofrida pelo maciço.

À medida que as ondas de compressão se afastam do furo, surgem esforços cisalhantes que provocam o surgimento de fraturas radiais. Quanto mais longe do furo, menores serão os impactos sobre a rocha até o momento em que não haja mais quebra da

rocha. Entretanto, durante a sua jornada, ao se depararem com descontinuidades ou interfaces de forma geral, como a face livre da bancada, parte da energia dessas ondas compressivas é transmitida por essa interface e parte refletida. Essa proporção é determinada pela diferença de impedância de cada meio. Especificamente na face livre, toda a energia é refletida na forma de ondas de tração, o que ocasiona a formação de fraturas e a quebra do material.

A terceira fase corresponde à expansão dos gases oriundos da detonação, não há uma conceituação precisa de como isso ocorre. Os gases migram para as regiões que apresentem menores resistências, descontinuidades e fraturas, advindas da propagação de ondas ou já existentes, essa fase também se apresenta como responsável pelo deslocamento do maciço fragmentado.

A última fase seria o movimento da massa, mais precisamente uma situação onde os fragmentos de rocha colidiriam entre si no ar, durante a expansão dos gases, ou contra o piso, ao caírem na praça de detonação.

Existe também a conceituação da fragmentação de rocha pelo uso de explosivos acontecendo em duas fases distintas, uma fase dinâmica e outra semi-estática (Scott, 1996 apud Valdir, 2008).

A fase dinâmica correspondendo à detonação do explosivo e propagação de ondas de compressão e cisalhamento, além da formação de fraturas a partir da face livre. Já a fase semi-estática, corresponde à expansão dos gases, por meio das fraturas originadas na fase dinâmica, aumentando a separação dos blocos e proporcionando o lançamento do material, em seguida.

De qualquer forma, independente das teorias postuladas, observa-se que em todas elas há a presença de dois atores principais do processo de fragmentação de rochas com uso de explosivos, a propagação de ondas de choque advindas da detonação da carga explosiva e a expansão dos gases liberados. É por meio da interação desses dois fatores, seja fracionada em dois, três, quatro, oito ou mais mecanismos, que ocorre a fragmentação e deslocamento do maciço a ser desmontado.

2.3 OS FENÔMENOS DE VIBRAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE ONDAS DE CHOQUE

Na prática do desmonte de rocha com utilização de explosivos sabe-se que a detonação da carga explosiva gerará, além da fragmentação e deslocamento do maciço, vibrações sobre o terreno, como um dos principais impactos ambientais adversos dessa atividade.

Essas vibrações resultam da energia liberada que não é aproveitada para o desmonte. Segundo Hagan (1977) apud Jimeno (1995), cerca de 15% da energia gerada no desmonte é efetivamente utilizada para a fragmentação e deslocamento.

Rascheff e Goemans (1977) apud Jimeno (1995) postularam modelos teóricos que distribuem a energia de deformação. Segundo eles, a onda de choque gerada na detonação da carga explosiva corresponde a aproximadamente 53% da energia liberada no desmonte de rocha. Na Tabela 2.1, a seguir, é apresentada distribuição da energia da onda de choque.

Tabela 2.1 – Distribuição da energia da onda de choque.

Processo	Bloco de granito em confinamento infinito	Desmonte de bancada convencional de granito	Bloco de granito submerso em água
Pulverização	15%	15%	15%
Fraturas radiais primárias	3%	3%	2%
Expansão das fraturas	0%	16%	39%
Energia transmitida	82%	34%	22%
Energia útil	18%	34%	56%

Fonte: Jimeno (1995).

A Tabela 2.1, indica que muito da energia do desmonte é dissipada para o meio ambiente na forma de vibrações e sobrepressão atmosférica. Entretanto, para ter um melhor entendimento do assunto, será feita maior descrição acerca de vibrações e como elas são caracterizadas.

Segundo Mancini (1994) apud Santos (2009), o fenômeno físico vibração é um tipo particular de movimento caracterizado por deslocamentos repetidos ao redor de uma posição de repouso.

Para Louro (2009), vibrações são movimentos ondulatórios de um dado material, sólido ou fluido, que foi afastado da sua posição de equilíbrio.

Klen (2010) apresenta também definições de vibração, por exemplo, Hibbeler (2005) apud Klen (2010), afirma que vibração é todo movimento periódico de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio. Hallyday (2009) apud Klen (2010) considera vibrações como consequência de perturbações a um estado de equilíbrio estável, surgindo forças em seguida para neutralizar a perturbação.

Entretanto, para French (2001), vibrações são oscilações de sistemas mecânicos, sendo um dos temas mais importantes nos estudos da Física. A vibração se faz presente nos mais diversos sistemas que se possa imaginar e de várias formas diferentes.

“Afinal de contas nossos corações batem, nossos pulmões oscilam, trememos quando estamos com frio, algumas vezes roncamos, podemos ouvir e falar porque nossos tímpanos e laringes vibram. As ondas de luz que nos permitem ver são sequências de vibração. Andamos devido a oscilação de nossas pernas. Não podemos pronunciar a palavra ‘vibração’ sem que a ponta de nossa língua oscile... Até os átomos do nosso corpo vibram.” Bishop (1965) em French (2001).

Por tratar-se de oscilação, as vibrações são movimentos periódicos, ou seja, apresentam movimento ou deslocamento que se repete continuamente. As vibrações podem ser simples ou altamente complexas, mas de forma geral elas se comportam como funções senoidais, devido às forças restauradoras proporcionais ao deslocamento do equilíbrio, e, em conformidade ao proposto no teorema de Fourier, “qualquer perturbação que se repete regularmente com o período T pode ser construída (ou analisada) por um conjunto de vibrações senoidais puras de períodos T , $T/2$, $T/3$ etc., com amplitudes adequadamente escolhidas. Isto é, construir uma série infinita com frequência fundamental e todos os seus harmônicos” (French, 2001).

Todavia, não se deve restringir para o sentido puramente físico e matemático se deseja-se entender o que são vibrações e como elas estão associadas ao processo de desmonte de rochas com uso de explosivos.

Dallora Neto (2004) afirma que vibrações são o resultado de perturbações ao maciço rochoso. Sanchidrián (2000), por sua vez, também descreve as vibrações como resultantes de perturbações causadas pela onda de choque gerada pela detonação de uma dada quantidade de explosivo.

Já Konya (1985) afirma que as vibrações são ondas sísmicas, que representam a propagação de energia através do terreno, criadas pelo homem e que podem ser sentidas.

Outrossim, Jimeno (1995) considera que vibração é o movimento das partículas de um maciço rochoso quando este é submetido a passagem de ondas sísmicas.

As vibrações podem ser de dois tipos, livres e forçadas. Vibrações livres ocorrem quando a perturbação faz parte do sistema, não existindo a influência de forças externas. Em contrapartida, vibrações forçadas são aquelas produzidas pela interferência de forças externas ao sistema. Independente do tipo, elas oscilarão numa dada frequência e

apresentarão amortecimento devido à absorção de energia pelo atrito e outras resistências. (Dallora Neto, 2004).

Para o caso de estudo, considera-se vibrações como oscilações mecânicas causadas pela detonação de uma carga explosiva num maciço rochoso. Essas oscilações são propagadas através do terreno podendo ser fonte de danos a estruturas próximas à região do desmorte ou mesmo para o próprio maciço rochoso. E, como a maioria das oscilações, se comporta semelhantemente ao movimento harmônico simples (MHS).

O MHS pode ser descrito pela expressão 2.1 e seu deslocamento em função do tempo representado graficamente conforme Fig. 2.3 seguinte. Este tipo de movimento também apresenta como características básicas, uma amplitude confinada a um intervalo $-A < x < +A$ e um período T igual ao tempo entre máximos sucessivos ou ocasiões sucessivas, onde o deslocamento e a velocidade se repetem.

$$x = A \cdot \text{sen}(\omega t + \varphi_0) \quad (2.1)$$

Onde,

x corresponde ao deslocamento;

A corresponde a máxima amplitude do movimento;

ω corresponde a velocidade angular;

t corresponde ao tempo;

φ_0 corresponde ao ângulo de fase.

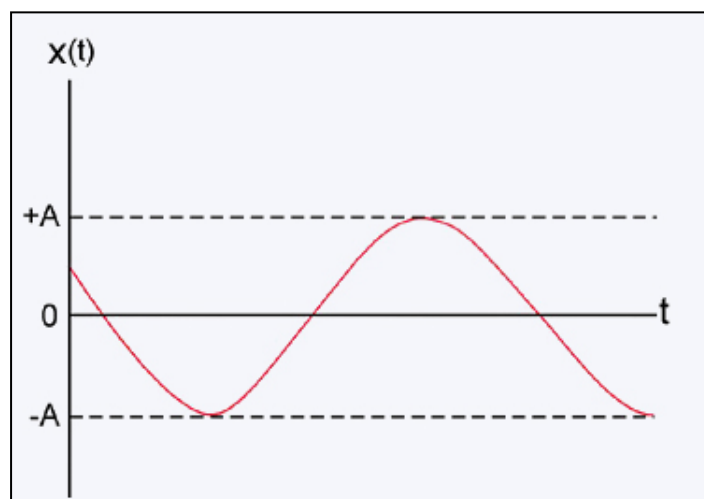


Fig. 2.3 – Gráfico de um movimento harmônico simples, deslocamento em função do tempo

Fonte: e-física (2007).

De acordo com Bacci (2000) apud Santos (2009), para que haja uma vibração é imprescindível a existência de uma massa (que possa ser considerada massa vibratória),

um agente perturbador (que retire a massa do equilíbrio estático) e uma força restauradora (que retorne a massa à posição de equilíbrio).

No desmonte de rocha com uso de explosivos, a massa vibratória seria o maciço rochoso ao redor da área a ser detonada, o agente perturbador seria a onda de choque gerada pela detonação do explosivo e a força restauradora, o comportamento elástico do material.

Da mesma forma que o MHS, as vibrações no desmonte de rocha com uso de explosivos são caracterizadas através de grandezas, tais como, amplitude, velocidade, aceleração, frequência e período.

- Amplitude ou deslocamento de partícula: deslocamento máximo de uma partícula a partir de sua posição de repouso, segundo as direções das três componentes ortogonais (ABNT, 2005). É diretamente proporcional à carga explosiva detonada e inversamente proporcional à distância ao ponto de observação/medição/instrumentação. A amplitude representa o impacto máximo sofrido pelo maciço, ela atinge um valor máximo provocado pela detonação em seguida sendo reduzida ou amortecida pelo maciço (Geraldi, 2011). A representação gráfica do deslocamento segue a seguinte expressão 2.2:

$$x = A.\text{sen}(\omega t) = A.\text{sen}(2\pi.F.t) \quad (2.2)$$

Onde,

x corresponde ao deslocamento;

A corresponde a máxima amplitude do movimento;

ω corresponde a velocidade angular;

t corresponde ao tempo;

F corresponde à frequência do movimento.

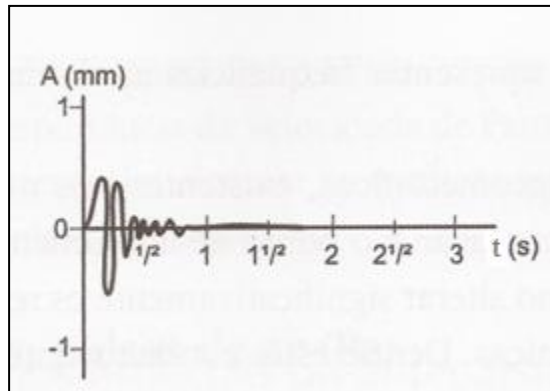


Fig. 2.4 – Gráfico deslocamento de partícula em função do tempo (Geraldi, 2011).

- Velocidade ou velocidade de vibração de partícula: é a velocidade em que as partículas do maciço se movem, devido à detonação, em um dado intervalo de tempo. Pode ser considerada como a derivada do deslocamento, apresentando a seguinte expressão 2.3:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cdot \cos(\omega t) = A \cdot 2\pi \cdot F \cdot \cos(\omega t) \quad (2.3)$$

Onde,

v corresponde à velocidade;

A corresponde a máxima amplitude do movimento;

ω corresponde a velocidade angular;

t corresponde ao tempo;

F corresponde à frequência do movimento.

A velocidade máxima de partícula se relaciona diretamente com a amplitude máxima e a frequência na seguinte forma:

$$v = 2\pi \cdot F \cdot A \quad (2.4)$$

Onde,

v corresponde à velocidade;

A corresponde a máxima amplitude do movimento;

F corresponde à frequência do movimento.

- Aceleração ou aceleração de partícula: definida como velocidade por unidade de tempo, é a derivada segunda do deslocamento, sendo representada pela expressão 2.5 a seguir.

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A \cdot \omega^2 \sin(\omega t) = -A(2\pi \cdot F)^2 \cdot \sin(\omega t) \quad (2.5)$$

$$a = \omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega t + \pi)$$

Onde,

a corresponde à aceleração;

A corresponde a máxima amplitude do movimento;

ω corresponde a velocidade angular;

t corresponde ao tempo;

F corresponde à frequência do movimento.

- Frequência ou frequência de vibração de partícula: corresponde ao número de oscilações por segundo (1 Hz = 1 ciclo por segundo) em que o terreno vibra devido a detonação da carga de explosivos, ela se relaciona diretamente com o meio de propagação, varia de acordo com as propriedades físicas e geomecânicas do maciço em que se origina e se propaga. Maciços duros geralmente apresentam altas frequências, acima de 40 Hz, brandos, entre 20 e 40 Hz, maciços extremamente alterados e solos, entre 5 e 20 Hz (Geraldi, 2011).

Como em desmonte de rochas com uso de explosivos, as frequências geradas geralmente são elevadas e de curta duração, a frequência analisada em avaliação de danos à estruturas é a frequência de maior amplitude medida, sendo por isso chamada de frequência principal. (Santos, 2009).

- Período: corresponde ao tempo decorrido entre duas oscilações completas ou duas ocasiões sucessivas nas quais o deslocamento e a velocidade se repetem. (French, 2001). Numericamente, é o inverso do período, conforme a expressão 2.6:

$$T = \frac{1}{F} \quad (2.6)$$

Onde,

T corresponde ao período do movimento;

F corresponde à frequência.

As vibrações geradas pela detonação não se comportam da mesma forma em todas as situações como o MHS. Elas são amplificadas, atenuadas, alteradas por uma gama muito grande de fatores.

Konya (1985) afirma que os níveis de vibração no desmonte de rochas com explosivos podem ser afetados por diversos fatores, tais como afastamento, espaçamento, número de linhas, etc. A Tabela 2.2 apresenta esses e outros fatores apresentados pelo mesmo autor.

Além dos fatores acima, Konya e outros autores, afirmam que mesmo desmontes planejados identicamente apresentarão resultados diferentes. Como dizia o filósofo Heráclito, um homem não pode atravessar duas vezes o mesmo rio. Mesmo sendo bem semelhantes e mesmo sendo em áreas vizinhas ou na mesma área, a intensidade de vibrações geradas pode ser drasticamente diferente, tendo em vista que mesmo com o mesmo planejamento, estes encontrarão situações diferentes em campo.

Tabela 2.2 – Fatores que influenciam o nível de vibrações – Konya

Afastamento	Número de reforçadores
Espaçamento	Composição dos detonadores
Subfuração	Reforçadores
Profundidade do furo	Fatores geológicos
Altura do tampão	Número de furos por linha
Material do tampão	Número de linhas
Presença de materiais inertes no furo para diminuir a razão de carga	Tipo de iniciador
Geometria da carga	Retardo entre linhas
Altura da coluna de explosivo	Retardo entre furos
Tipo de rocha	Precisão do iniciador
Propriedades físicas da rocha	Distância a estrutura ou ponto de medição
Energia do explosivo	Ângulo inclinação do furo
Energia realmente transmitida	

Fonte: Konya (1985).

Jimeno (1995) também assevera que os fatores que influem nas características das vibrações são os mesmos que determinam o resultado do desmonte de rocha, podendo ser classificados em dois grupos: controláveis e não-controláveis. Nas imediações do desmonte, os parâmetros mais significativos estão relacionados ao plano de fogo e sua geometria, já em distâncias maiores, os que predominam estão relacionados com as características geológicas da região.

Ainda segundo Jimeno (1995), em maciços rochosos as vibrações são transmitidas em todas as direções. Entretanto, estruturas geológicas complicadas podem influenciar a direção de propagação, resultando em diferentes índices de atenuação. Quando a rocha é recoberta por solo, geralmente, a velocidade de propagação, bem como, a sua frequência diminui, enquanto que há um significativo incremento na amplitude, aumentando sensivelmente a possibilidade de danos a estruturas.

Um dos fatores de maior significância para as vibrações diz respeito à carga de explosivo detonada, denominada carga máxima por espera. É assim chamada pela possibilidade de ser um único furo ou vários furos carregados detonados simultaneamente, num arranjo determinado pelo posicionamento de retardos na amarração dos furos. Sendo chamado nessas situações de carga cooperante.

A carga máxima por espera é diretamente proporcional a intensidade das vibrações. E pode ser expressa pela relação:

$$v \propto Q \quad (2.7)$$

De forma análoga, a distância também é de grande influência, quanto menor a distância do local do desmonte, maior a intensidade de vibrações, quanto mais distante menor essa intensidade. Resultando que a distância pode ser descrita como inversamente proporcional a intensidade de vibrações, dada pela expressão 2.8.

$$v \propto \frac{1}{D} \quad (2.8)$$

Além da diminuição da quantidade de vibrações, a distância também neutraliza as componentes de ondas de altas frequências. O terreno age como um filtro através do qual apenas as ondas de baixa frequência conseguem atravessar. Isto resulta numa maior concentração de energia nas regiões de baixa frequência, conforme ilustrado na Fig. 2.5.

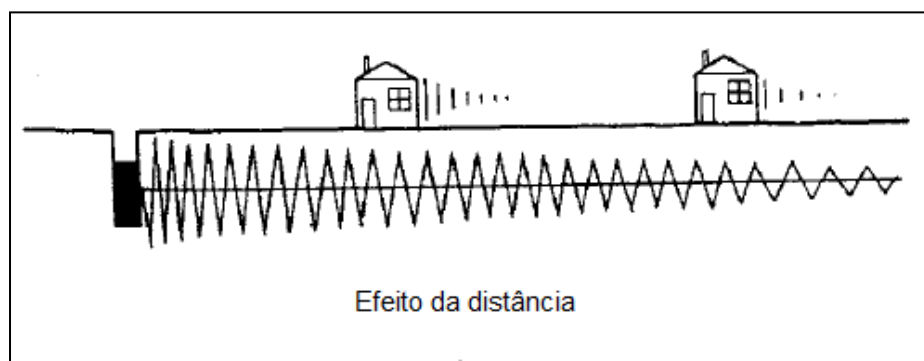


Fig. 2.5 – Efeito da distância sobre vibrações (adaptado de Jimeno, 1995).

O tipo de explosivo utilizado também interfere, quanto maior a pressão de detonação maior será a intensidade das vibrações. Isto é devido à relação existente entre a velocidade de partícula e as tensões induzidas no maciço, que correspondem à relação de impedância.

O tempo é outro fator importante, pois dependendo da disposição dos tempos de retardo é possível que haja interação ou interferências construtivas entre as ondas de choque. Para evitar essa cooperação, estudiosos têm sugerido intervalos que variam de 8 a 25 ms, a partir de onde não haveria possibilidade de interação entre as ondas geradas.

Como já mencionado, a pequenas distâncias os parâmetros de maior influência são os relacionados ao plano de fogo e sua geometria, tais como o diâmetro de perfuração, a altura da bancada, malha de furação (afastamento x espaçamento), subfuração, tampão, inclinação do furo, acoplamento do explosivo nas paredes do furo, tamanho do desmonte a ser executado etc.

Após a detonação, a onda de choque atinge seu valor máximo sendo reduzida rapidamente até se tornar uma onda elástica, com intensidade inferior à resistência a compressão do maciço, não causando qualquer dano ao material, apenas transportando energia, por meio das vibrações.

Durante as vibrações não existe realmente movimentos de massa ou de volume, existe apenas transferência de energia de um ponto para outro. Essa transferência de energia acontece por meio das ondas elásticas que viajam a diferentes velocidades e provocam deformações diferentes no maciço rochoso. (Nicholson, 2005; Sanchidrián, 2000).

Manan (1977) apud Klen (2010) descreve as ondas geradas pelo desmonte de rocha com uso de explosivos como progressivas, tridimensionais, se propagando esfericamente e apresentando comprimento de onda de 12 a 30 m. Estas ondas são classificadas em duas categorias, a saber, ondas de corpo e ondas de superfície. As ondas de corpo atravessam o maciço. As ondas de compressão, também chamadas longitudinais ou ondas primárias (P) que atingem maiores velocidades. As ondas secundárias ou de cisalhamento (S) apresentam velocidade um pouco menor que as anteriores.

Quando as ondas de corpo se deparam com descontinuidades, nessas interfaces surgem as ondas de superfície que viajam a uma profundidade bem próxima do seu comprimento de onda, chamadas de ondas R (Rayleigh) e L (Love). Outras ondas de superfície são as Channel e Stonelly, estas sendo de menor importância, existindo pouca literatura a respeito. (Klen, 2010; Jimeno, 1995; Sanchidrián, 2000; Sanches, 2006)

As ondas P são chamadas longitudinais porque o movimento da partícula é na mesma direção do movimento de onda, e, compressionais porque as partículas no seu caminho são submetidas à compressões e dilatações, mudança de volume mas sem mudanças de forma, conforme mostrada na figura abaixo. (Jimeno, 1995; Sanchidrián, 2000; Klen, 2010).

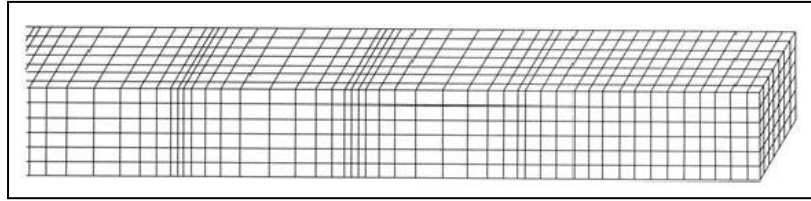


Fig. 2.6 – Onda compressiva (P). Fonte: Witt (2008).

A velocidade das ondas P pode chegar a 14.000 m/s (Klen, 2010). Como as demais velocidades, depende das características do meio rochoso por onde está passando, podendo ser calculada pela seguinte expressão (Sanchidrián, 2000):

$$c_P = \left[\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)} \right]^{1/2} = \left[\frac{\lambda+2G}{\rho} \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

Onde,

c_p corresponde à velocidade da onda P;

E corresponde ao módulo de elasticidade do meio de propagação;

ν corresponde ao coeficiente de Poisson do meio de propagação;

ρ corresponde à densidade do meio de propagação;

λ e G correspondem às constantes de Lamé.

As ondas secundárias, de cisalhamento ou transversais, são assim chamadas por provocar cisalhamento, deformação transversal na rocha, perpendicular a direção de propagação da onda. Provocam mudança de forma, mas não de volume. (Sanchidrián, 2000; Klen, 2010), conforme ilustrado na Fig. 2.7.

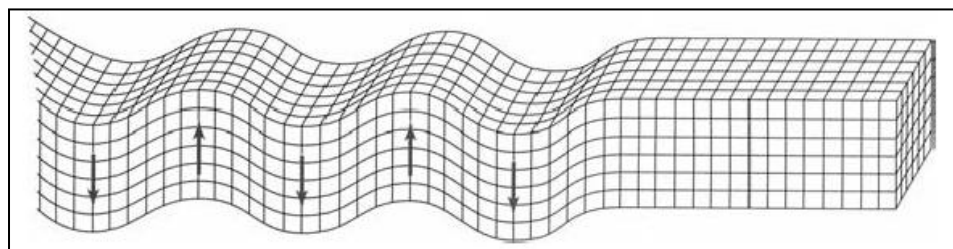


Fig. 2.7 – Onda transversal (S). Fonte: Witt (2008).

As ondas S podem chegar a velocidades de 3.500 m/s, se propagando apenas em meios sólidos, já que líquidos e gases não suportam forças de cisalhamento. Sua velocidade pode ser calculada a partir da expressão 2.10:

$$c_S = \left(\frac{G}{\rho}\right)^{1/2} = \left[\frac{E}{2\rho(1+\nu)}\right]^{1/2} \quad (2.10)$$

Onde,

c_S corresponde à velocidade da onda P;

G correspondem à uma das constantes de Lamé.

ρ corresponde à densidade do meio de propagação;

E corresponde ao módulo de elasticidade do meio de propagação;

ν corresponde ao coeficiente de Poisson do meio de propagação;

A seguir é apresentada a Tabela 2.3 que reúne dados de velocidades médias de propagações de ondas P e S em diferentes tipos litologias, propostos por Nicholson (2005).

Tabela 2.3 – Velocidade média das ondas sísmicas nas rochas.

Rocha	Velocidade da Onda P (m/s)	Velocidade da Onda S (m/s)
Granito	4.000 – 6.000	2.000 – 3.000
Basalto	5.500	3.000
Arenito	2.000 – 3.500	1.000 – 2.500
Calcário	3.000 – 6.000	2.000 – 3.000
Xisto	4.000 – 5.000	2.500 – 3.000
Solo	150 – 1.000	100 – 700

Fonte: Nicholson (2005).

Como citado, as ondas P e S, ao se depararem com superfícies de descontinuidade ou mesmo interface entre rochas com diferentes módulos de elasticidade, dão origem às ondas de superfície. As principais são as ondas de Rayleigh e de Love.

As ondas R (Rayleigh) são caracterizadas por apresentarem movimento elíptico retrógrado no plano vertical, e não apresentam componente no plano horizontal (Sanchidrián, 2000; Klen, 2010; Dallora Neto, 2004). Estudiosos como Miller e Pursey (1955), Vorob'ev (1973) e outros apud Jimeno (1995), estimam que 70 a 80% da energia transportada pelas ondas geradas pelo desmonte de rocha com uso de explosivos se concentram nas ondas R. Sua velocidade é cerca de 90% da velocidade da onda S, podendo ser calculada pela expressão 2.11 (Sanchidrián, 2000):

$$c_R \approx c_S = \frac{0,86+1,14\nu}{1+\nu} \quad (2.11)$$

Onde,

c_R corresponde à velocidade da onda R;

c_S corresponde à velocidade da onda S;

ν corresponde ao coeficiente de Poisson do meio de propagação;

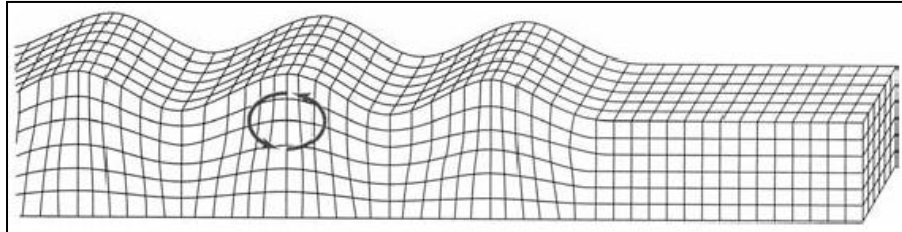


Fig. 2.8 – Onda de Rayleigh (R). Fonte: Witt (2008).

As ondas de Love (L) apresentam movimento semelhante às ondas R. Trata-se de movimento retrógrado elíptico, só que na direção horizontal, e não apresentam componente vertical desse movimento. Além disso, são mais rápidas que as ondas R, e chamadas também de ondas de torção, pois provocam deformações momentâneas na superfície (Klen, 2010; Jimeno, 1995; Nicholson, 2005). A Fig. 2.9 ilustra o comportamento das ondas L.

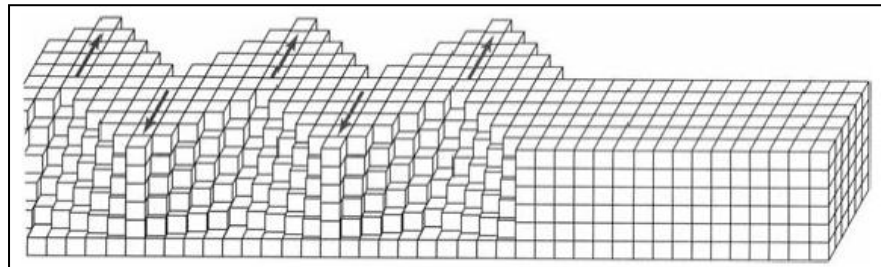


Fig. 2.9 – Onda de Love (Q ou L). Fonte: Witt (2008).

De todas essas ondas, as que são tidas como mais prejudiciais, no que diz respeito a eventuais danos a estruturas, são as ondas de Rayleigh, pois transportam mais energia e alcançam maiores distâncias, a mais de 500 m de alcance, e, em baixas frequências (entre 4 e 20 Hz), coincidindo com as frequências naturais de estruturas urbanas (Jimeno, 1995; Klen, 2010).

A coincidência dessas frequências ocasiona um fenômeno chamado ressonância, provocando amplas e perigosas oscilações, podendo causar sérios danos a estruturas, inclusive desabamentos (Santos, 2009).

De acordo com Siskind e Stagg (1997) apud Santos (2009), no estado de ressonância, as vibrações nas residências podem ser amplificadas em 2,5 vezes que a vibração máxima do terreno, podendo chegar a 8 vezes no interior das paredes.

Como cada detonação de um furo carregado libera onda de choque, o intervalo de retardos faz com que as ondas de choque interajam entre si, em tempo e espaço, gerando complexos movimentos de onda fazendo com que para se obter informações dessas ondas, os instrumentos de medição devam ser dispostos nas três direções: longitudinal, vertical e transversalmente.

Nas imediações das detonações, as ondas chegam simultaneamente, tornando quase impossível o trabalho de identificação delas, entretanto, a distâncias maiores é possível a separação e identificação dessas ondas por meio do monitoramento sismográfico (Nicholson, 2005; Jimeno, 1995).

2.4 O MONITORAMENTO SISMOGRÁFICO COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO AMBIENTAL E OPERACIONAL

As ondas e vibrações geradas pela detonação de uma carga explosiva podem se constituir fonte de danos a estruturas e ao próprio maciço, como já tem sido comentado. Para que haja um controle dessas vibrações e se evite danos, muitas teorias já foram desenvolvidas com o intuito de se fazer estimativas para o nível de impactos gerados pelo desmonte.

A forma mais eficiente, e, convencionalmente mais adotada, parte da execução do monitoramento sismográfico, ou instrumentação sismográfica, de eventos de detonação, para a obtenção dos valores de pico das velocidades de partículas e suas respectivas frequências, os indicadores mais utilizados para a predição dos níveis de vibração. Entretanto, existem instrumentos capazes de medir as outras grandezas relacionadas às vibrações, como sismógrafos de deslocamento e de aceleração. (Konya, 1985).



Fig. 2.10 – Sismógrafo de engenharia.

Os sismógrafos de forma geral são equipamentos constituídos de um sensor de vibrações (geofone), capaz de captar as vibrações nos três canais ortogonais entre si, um sensor capaz de captar a sobrepressão atmosférica (microfone), e um receptor capaz de armazenar o registro executado pelos sensores (Santos, 2009; Konya, 1985).

Para a obtenção de dados seguros, é de suma importância o posicionamento dos sensores e o acoplamento na superfície. O geofone deve ser colocado sobre a estrutura ou ao lado da estrutura passível de danos ou ponto de onde se deseja medir os níveis de vibração (num raio de no máximo 3 m ou menos que 10% da distância para a detonação, o que for menor), apontando sempre para a direção da detonação. O sensor deve estar bem nivelado e acoplado ao solo, seja enterrado com auxílio de pinos de metal (quando o solo for de fácil desagregação) ou sobre uma base de gesso, para se efetuar medições mais seguras, um mau acoplamento provocará uma leitura diferente da realidade (ISEE, 2009).

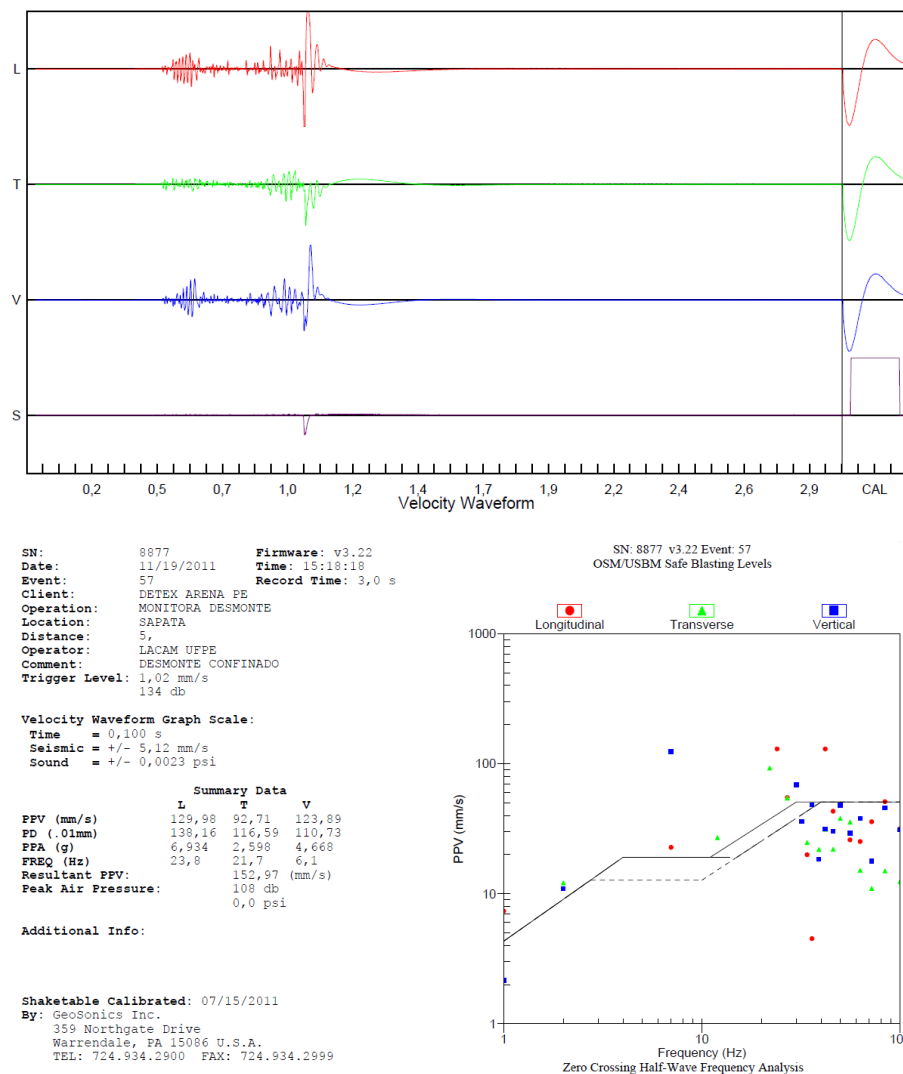


Fig. 2.11 - Sismograma

As informações obtidas pelo sismógrafo são expressas no sismograma, tais como velocidades de partículas nos três eixos ortogonais (L – longitudinal, T – transversal e V – vertical) distribuídas numa linha de tempo, e sua resultante, além de informações como frequência, distância ao ponto de detonação, sobrepressão atmosférica, etc. (Louro, 2009).

A Tabela 2.4 mostra o intervalo típico dos valores medidos durante instrumentações sismográficas. É importante ressaltar que os pontos mais relevantes estarão relacionados aos valores de pico, estes nem sempre aparecem ao mesmo tempo nos sismogramas, em virtude de o maciço rochoso não se comportar como um material isotrópico, elástico e homogêneo, tornando extremamente relevante o vetor resultante (Klen, 2010; Nicholson, 2005).

Tabela 2.4 – Intervalo médio de registros em sismogramas

Parâmetros	Intervalo de valores
Deslocamento	0,0001 – 10 mm
Velocidade de partícula	0,001 – 1.000 mm/s
Aceleração de partícula	10 – 100.000 mm/s ²
Duração do pulso	0,5 – 3 s
Comprimento de onda	30 – 1.500 m
Frequência	0,5 – 200 Hz
Tensão	0,003 – 5.000

Fonte: Nicholson (2005).

Com base nas leituras obtidas nos sismogramas pode-se constatar se as vibrações provocadas pelos eventos de detonação estão ou não infligindo danos a estruturas próximas, também com essas informações, será possível a construção de uma equação relacionando a carga de explosivos e a distância da detonação para a previsão dos níveis de vibração por ela provocados.

Com isso, tem-se o monitoramento sismográfico como uma ferramenta extremamente útil para o controle ambiental e operacional dos desmontes de rocha.

Por um lado, o monitoramento proporciona verificação dos níveis de vibração provocados em relação aos limites de segurança propostos pela legislação, e, por outro, permite com base nos registros efetuados a possibilidade de predição dos níveis de vibração provocados pelos próximos desmontes, determinando uma das premissas básicas do plano de fogo, a saber, a carga máxima de explosivo a ser detonada instantaneamente, limitando a quantidade de explosivo a ser utilizada ou exigindo uma nova conformação para a distribuição de tempos de retardo.

2.5 NORMAS E TEORIAS DE DANOS ESTRUTURAIS PROVOCADOS POR DETONAÇÕES

Devido à possibilidade de danos causados pelas vibrações geradas pelas detonações, muitos estudiosos formularam teorias a respeito da geração de danos, bem como a realização de vários experimentos para a obtenção de dados e equações probabilísticas que pudessem prever o nível de danos gerados. Dentre esses tais, pode-se citar Devine (1962), Langefors e Kihlström (1978), Siskind (1980), Ambrasseys & Hendrom (1968) entre tantos outros.

Langefors foi um dos primeiro estudiosos a propor uma relação empírica que relacionasse a carga de explosivos detonada e a distância a um ponto passível de sofrer danos, ele ainda ajustou um coeficiente de segurança capaz de proporcionar uma situação segura. A relação, que ainda hoje é utilizada, segue abaixo (Geraldi, 2011):

$$K = \frac{Q}{R^2} \quad (2.12)$$

Onde,

K é o coeficiente de segurança determinado a partir do tipo de construção ou estrutura a ser protegida e sua distância à área de detonação;

Q é a valor da carga máxima por espera;

R é a distância entre a detonação e a estrutura a ser resguardada.

Langefors propôs para os valores de K um mínimo de 0,008 e um máximo de 1, e, com base na equação propôs um ábaco com a projeção de retas mostrando a relação em papel di-logarítmico, conforme a Fig. 2.12.

Com base nos valores obtidos pela equação proposta por Langefors, pode-se construir uma tabela relacionando o coeficiente de segurança, distância e carga máxima de explosivo, conforme mostrado por Geraldi (2011) na Tabela 2.5.

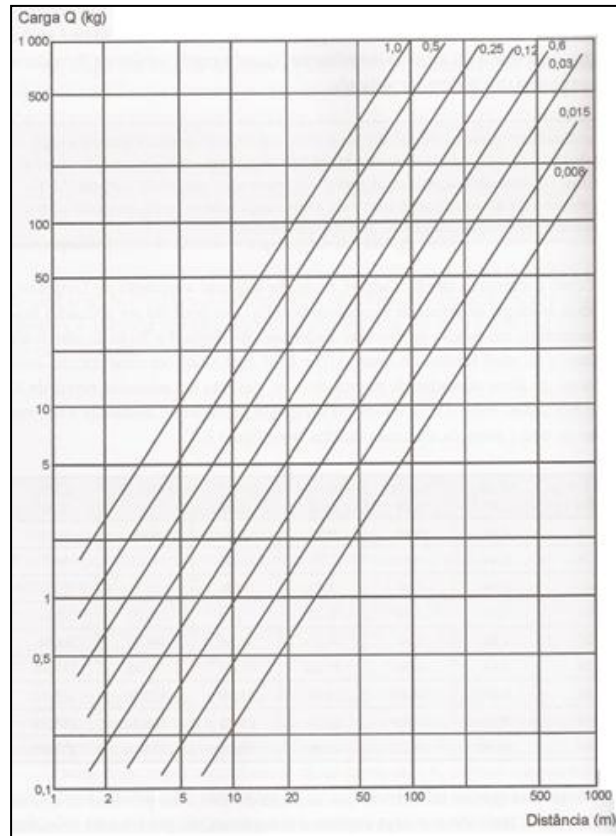


Fig. 2.12 – Ábaco de Langefors. Fonte: Geraldi (2011).

Tabela 2.5 – Carga explosiva em função da distância e coeficiente de segurança – Langefors

Distância (m)	Nível 0,03	Nível 0,06	Nível 0,12	Nível 0,25	Nível 0,50	Nível 1,00
4	0,24	0,48	0,96	2,00	4,00	8,00
6	0,44	0,88	1,76	3,67	7,35	14,70
10	0,94	1,90	3,79	7,90	15,8	31,6
14	1,57	3,14	6,28	13,09	26,20	52,38
20	2,68	5,37	10,73	22,36	44,70	89,44
28	4,44	8,90	17,80	37,00	74,00	148,00
35	6,21	12,42	24,84	51,80	103,50	207,00
40	7,60	15,20	30,36	63,25	126,50	253,00
50	10,60	21,20	42,40	88,40	176,80	353,00

Fonte: Geraldi (2011).

De forma geral, pode-se perceber um aumento gradativo e exponencial da carga à medida que se aumenta o valor do coeficiente de segurança e se aumenta a distância ao ponto de detonação.

Entretanto, não é apenas a carga explosiva que determina o risco de danos a estruturas. Danos dependem também do tipo de construção dos possíveis alvos, materiais utilizados nas edificações, além da intensidade das vibrações que chegarão a eles,

velocidades de partícula, frequência, comprimento de ondas, a existência de tensões estáticas sobre os edifícios, problemas de construção já existentes etc, que podem ser acionados ou ampliados pelas tensões dinâmicas infligidas pelo desmonte de rocha (Sanchidrián, 2000).

Segundo Konya (1985), as primeiras pesquisas significativas sobre vibrações causadas por desmonte de rocha com uso de explosivo datam da década de 1930, desde então vários autores apresentaram relações entre algum parâmetro e a geração de danos, determinando limites de segurança e conforto ambiental, conforme pode ser visto na tabela abaixo alguns exemplo:

Tabela 2.6 – Relações de danos por vários autores

Parâmetros	Autores	Critério
Aceleração das vibrações (g : aceleração da gravidade)	Thoenen & Windes (1942)	$< 0,1 g \Rightarrow$ segurança $0,1g \text{ a } 1g \Rightarrow$ precaução $> 1g \Rightarrow$ perigo
Relação de energia $RE = \left(\frac{a}{F}\right)$ (a : aceleração, F : frequência)	Crandell (1949)	$RE < 3 \Rightarrow$ segurança $3 < RE < 6 \Rightarrow$ precaução $RE > 6 \Rightarrow$ perigo
Velocidade de vibração máxima ou de pico (v)	Langefors (1958) Edwards (1960) Duvall e Fogelson (1962)	$0 < v < 50 \text{ mm/s} \Rightarrow$ segurança $50 < v < 100 \text{ mm/s} \Rightarrow$ danos menores $100 < v < 160 \text{ mm/s} \Rightarrow$ danos moderados $160 < v < 230 \text{ mm/s} \Rightarrow$ danos sérios $v > 230 \text{ mm/s} \Rightarrow$ colapso total/parcial
Velocidade de partícula de pico e frequência (v, F)	USBM – RI 8507 (1981) Office of Surface Mining (1983) – EUA Norma UNE 22-381 (1993) – Espanha	$v < 2 \text{ mm/s}; F < 1 \text{ Hz} \Rightarrow$ segurança $v < 20 \text{ mm/s}; 1 < F < 10 \text{ Hz} \Rightarrow$ segurança $v < 50 \text{ mm/s}; F > 30 \text{ Hz} \Rightarrow$ segurança

Fonte: Bernardo (2006).

Langefors e Kihlström (1978) apud Dallora Neto (2004) propuseram um critério para avaliação de risco de danos baseando-se nas velocidades de partículas e tipos de maciços rochosos, mostrando também a velocidade de propagação das ondas, conforme pode ser visto na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Relação de velocidade de partícula e possibilidade de danos – Langefors e Kihlström

	Areias e argilas saturadas	Ardósias e calcários	Calcários duros, quartzitos, gnaisses, granitos e diabásio	
Velocidade de propagação de onda (m/s)	300 – 1.500	2.000 – 3.000	4.500 – 5.000	Danos possíveis
Velocidade de partícula (mm/s)	4 – 18	35	70	Sem rachaduras
	6 – 30	55	110	Rachaduras insignificantes
	8 – 40	80	160	Rachaduras
	12 – 60	115	230	Rachaduras sérias

Fonte: Dallora Neto (2004).

E Siskind et al. (1980) relacionaram a velocidade de partícula com a frequência conforme a Tabela 2.8.

Tabela 2.8 – Velocidade de partículas e frequência – Siskind

Intervalo de Frequência	< 4 Hz	4 – 15 Hz	15 – 40 Hz	> 40 Hz
Velocidade de partícula (mm/s)	0,762	19,05	0,203	50,8

Fonte: Dallora Neto (2004).

Tendo conhecimento das variáveis que condicionam a geração de vibrações e pela necessidade de se impor limites de segurança para o nível das vibrações, vários países propuseram limites máximos para o nível de vibrações, colaborando, também, significativamente com pesquisas para que tais assuntos fossem aprofundados.

A seguir, temos uma descrição sucinta de algumas das principais normas que tratam do controle de vibrações geradas pelo desmonte de rocha com uso de explosivos.

2.5.1 NORMA PORTUGUESA NP 2074

De acordo com Louro (2009), a norma que trata sobre níveis de vibração em desmonte de rocha em Portugal é a NP 2074 – Avaliação da influência em construções de vibrações provocadas por explosivos ou solicitações similares – datando de 1983.

A norma portuguesa leva em consideração três fatores para a delimitação dos níveis permissíveis de vibração, a saber, tipo de terreno de fundação, tipo de construção e a periodicidade das vibrações, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_L = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot 10^{-2} \quad (2.13)$$

Onde,

V_L corresponde ao valor limite da velocidade de partícula

α é uma constante determinada pelo tipo de terreno

β é uma constante determinada pelo tipo de construção

γ é uma constante determinada pela periodicidade das vibrações

A Tabela 2.9 mostra os limites permitidos para a velocidade vibração de partícula em de acordo com a norma portuguesa:

Tabela 2.9 – Limites de velocidade de partícula (NP 2074:1983)

Tipo de construção (β)	Características do terreno (α)					
	Solos incoerentes soltos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas; areias uniformes; solos coerentes moles e muito moles		Solos coerentes muito duros, duros e de consistência média; solos incoerentes compactos; areias e misturas areia-seixo bem graduadas; areias uniformes		Rocha e solos coerentes rijos	
	$c_p < 1000m/s$		$1000m/s < c_p$ e $c_p < 2000m/s$		$c_p > 2000m/s$	
	$\gamma = 1$	$\gamma = 0,7$	$\gamma = 1$	$\gamma = 0,7$	$\gamma = 1$	$\gamma = 0,7$
Sensíveis	2,50	1,75	5,00	3,50	10,00	7,00
Correntes	5,00	3,50	10,00	7,00	20,00	14,00
Reforçadas	15,00	10,50	30,00	21,00	60,00	42,00

Onde c_p corresponde à velocidade de propagação de ondas sísmicas. Quando são realizadas 3 ou mais detonações por dia, a constante as constantes são reduzidas em 30%. Fonte: Barreto (2006).

A classificação do tipo de construção é realizada de forma conservadora, levando em consideração fatores como esbeltez, uso, valor histórico e estado de conservação das construções, por exemplo, são tidas como construções sensíveis chaminés, torres, hospitais, locais de trabalho intelectual, monumentos, infra-estrutura de transportes, construções antigas ou com revestimento fixado com argamassa, etc., construções

correntes, estruturas comuns, como casas, edifícios não muito elevados, e, como reforçadas as construções em concreto armado, estas geralmente de uso industrial Bernardo (2006).

Ainda segundo Bernardo (2006) está em trâmite uma proposição para incorporação de valores de frequência junto aos fatores já utilizados para a delimitação de níveis aceitáveis de vibração.

2.5.2 NORMA ESPANHOLA UNE 22-381

A norma em vigor na Espanha é a UNE 22-381- “Control de Vibraciones Producidas por Voladuras” – datando de 1993. Essa norma relaciona intervalos de frequência, tipos de estruturas e velocidades de partícula. A Fig. 2.13 traz os valores de velocidade de partícula admitidos por essa norma.

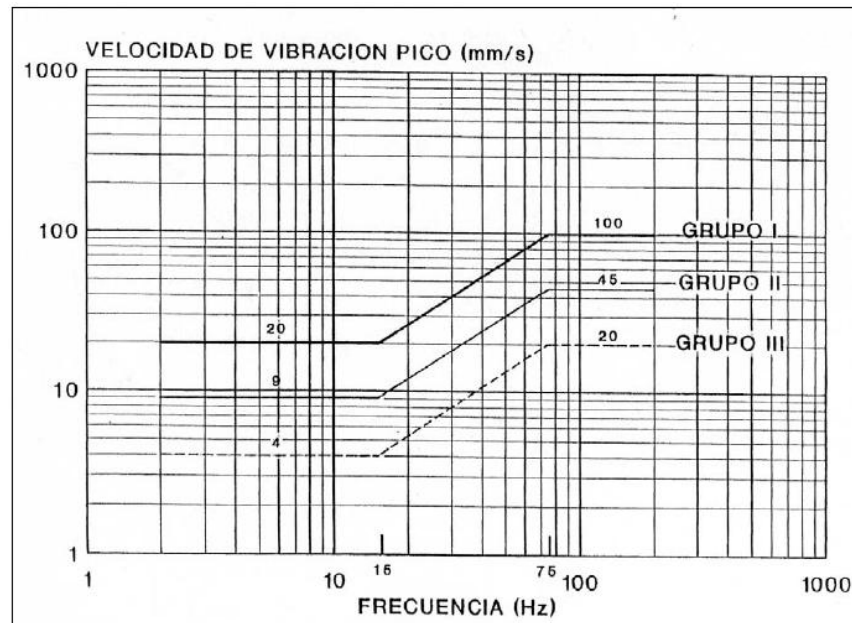


Fig. 2.13 – Limites de velocidade de partícula (UNE 22-381:1993). Fonte: Viralta (2004)

Os grupos descritos na Fig. 2.13 dizem respeito ao tipo de estrutura a se proteger, discriminados a seguir (Sanchidrián, 2000):

Grupo I – Edifícios e estruturas industriais de concreto armado ou estruturas metálicas.

Grupo II – Edifícios habitacionais, escritórios, centros comerciais e de lazer, edifícios e estruturas de valor arqueológico, arquitetônico ou histórico que não apresentem sensibilidade especial a vibrações.

Grupo III – Estruturas de valor arqueológico, arquitetônico ou histórico que apresentem sensibilidade especial a vibrações, seja por elas próprias ou por elementos que estas possam conter.

A Tabela 2.10 relaciona esses grupos com os valores máximos permitidos pela norma espanhola:

Tabela 2.10 – Limites de velocidade de partícula (UNE 22-381:1993)

		Frequência principal		
		2 – 15	15 – 75	> 75
		Velocidade (mm/s)	Deslocamento (mm)	Velocidade (mm/s)
Tipo de estrutura	Grupo I	20	0,212	100
	Grupo II	9	0,095	45
	Grupo III	4	0,042	20

Fonte: Viralta (2004).

Uma característica interessante da norma espanhola é a definição de frequência principal utilizada. A frequência principal pode ser a obtida aplicando-se o critério do semi-período a cada um dos ciclos de vibração, a maior frequência relativa resultante da transformada rápida de Fourier (FFT) da onda, ou ainda, a frequência obtida no pseudo-espectro de resposta para a estrutura estudada (Blas, 2002).

Além disso, a norma ainda propõe estudos específicos a serem desenvolvidos, levando em consideração a estrutura a se preservar, distância entre o local de detonação e a estrutura a se proteger, tipo de terreno e carga máxima por espera. Para tanto, ela apresenta um gráfico relacionando a carga corrigida em função da distância. A Fig. 2.14 apresenta essa carga corrigida, que depende do fator de rocha, fator da estrutura a se proteger e a carga máxima a ser detonada (Sanchidrián, 2000).

A partir da determinação do ponto representado pela distância e a carga corrigida obtida, será definido o tipo de estudo a ser realizado, podendo ser um dos três abaixo:

Projeto de vibração – o mais simples, constituindo-se de uma justificativa teórica demonstrando que as vibrações ocasionadas pelos desmontes não alcançarão os limites definidos pela norma.

Medição e controle de vibrações – implica num monitoramento das primeiras detonações, a fim de definir o nível de vibrações a serem geradas.

Estudo preliminar – o mais rigoroso, necessário quando se prevê causar níveis de vibrações mais elevados do que os permitidos pela norma, nesses casos, devem ser efetuados ensaios e realizada a construção de uma lei de atenuação capaz de diminuir os impactos do desmonte até os níveis em conformidade com a norma.

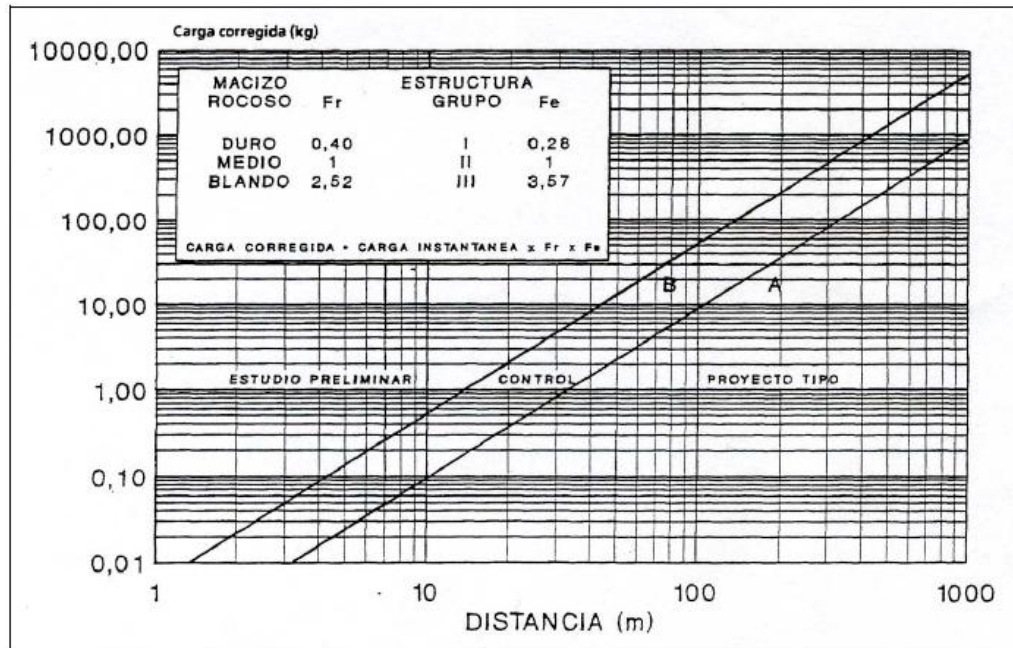


Fig. 2.14 – Gráfico mostrando a relação da carga corrigida com a distância e os fatores relacionados ao tipo de rocha e ao tipo de estrutura a se proteger. Fonte: Viralta (2004).

O gráfico da carga corrigida pode também servir de base para se determinar a carga máxima por espera em função da distância, de acordo com o tipo de material e o estudo que deve ser realizado, conforme apresentado por Sanchidrián (2000) na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 – Exemplo de tabela para carga máxima por espera/distância

Distância à área de detonação (m)	Carga máxima por espera (kg)
50	44
100	178
200	711
400	2844
600	6400

Fonte: Sanchidrián (2000).

2.5.3 NORMA ALEMÃ DIN 4150-3

A norma alemã que define os limites admissíveis de vibrações de curta duração sobre estruturas é DIN 4150-3, ela corresponde à terceira parte da norma que rege o controle de vibrações causadas pelos desmontes de rocha com uso de explosivos, a DIN 4150 – “Erschütterungen im Bauwesen” (Vibrações sobre estruturas civis) – as duas primeiras partes tratam sobre a predição de parâmetros de vibração e sobre os efeitos de vibrações nas pessoas dentro das estruturas civis expostas à vibração.

A DIN 4150-3 fixa como valores máximo e mínimo de velocidade de partícula 3 e 50 mm/s, respectivamente, para qualquer uma das componentes ortogonais, relacionando como parâmetros limitadores a frequência e a velocidade de partícula, além do tipo de estrutura passível de sofrer os impactos das vibrações. As estruturas são classificadas como edifícios industriais, habitações e monumentos e construções delicadas (Bernardo, 2006; Klen, 2010).

Os valores admissíveis de velocidade de partícula relacionados com o tipo de estrutura e o intervalo de frequência são mostrados pela Tabela 2.12 e Fig. 2.15.

Tabela 2.12 – Limites de velocidade de partícula (DIN 4150-3:1999)

Linha	Tipo de estrutura	Para vibrações medidas nas fundações			Para vibrações horizontais do último andar em qualquer frequência
		1 a 10 Hz	10 a 50 Hz	50 a 100 Hz	
1	Edifícios usados para fins comerciais, edifícios industriais e edificações de similar design	20	20 a 40	40 a 50	40
2	Habitações e construções de similar design e/ou ocupações	5	5 a 15	15 a 20	15
3	Estruturas que devido a sua sensibilidade particular a vibrações não podem ser classificadas sob os critérios 1 e 2 e são de grande valor intrínseco (por exemplo, patrimônio histórico)	3	3 a 8	8 a 10	8

Fonte: DIN 4150-3:1999.

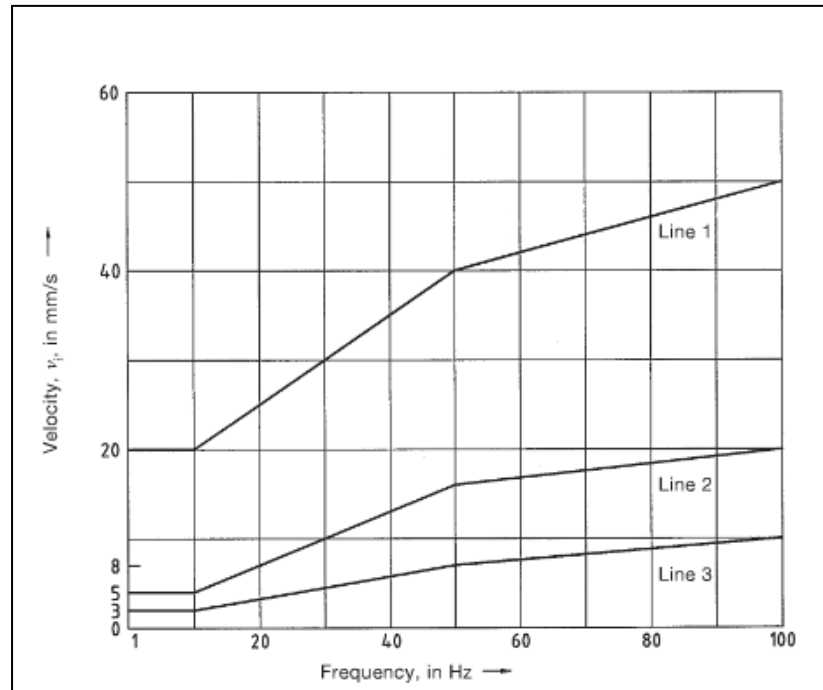


Fig. 2.15 – Curvas para os valores limite de velocidade de partícula registrados nas fundações. (DIN 4150-3:1999). Fonte: DIN 4150-3:1999.

A norma diz que os limites fixados eximem a possibilidade de danos a estruturas, ressaltando a importância da velocidade de partícula sobre o intervalo de frequência para edifícios elevados, já que para estes, nos andares mais elevados, o único fator a ser levado em consideração é a velocidade de partícula (Klen, 2010).

De acordo com Siskind (2000) apud Nogiri (2001), a norma alemã foi elaborada tendo por base critérios relativos à percepção humana de vibrações, para o bem estar da comunidade, e não apenas sobre a possibilidade de danos a estruturas.

2.5.4 NORMA AMERICANA RI 8507

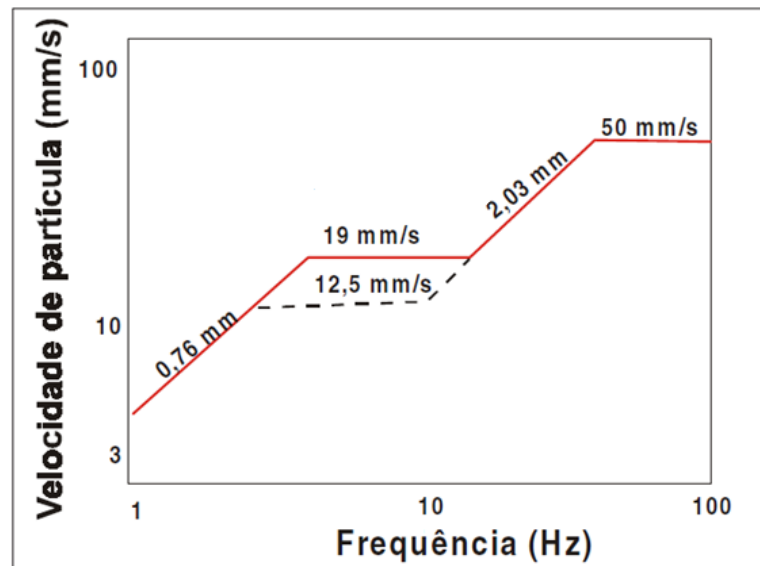
A norma que trata sobre vibrações causadas por desmonte de rocha nos Estados Unidos que não é bem uma regulamentadora já que se trata de um relatório de estudos ("Report of Investigation"), a RI 8507 – "Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration from Surface Mine Blasting" – é baseada em pesquisas realizadas ao longo dos anos em várias minerações a céu aberto, com monitoramento direto de mais de 70 casas em mais de 200 eventos de detonação juntamente com outros nove estudos sobre danos causados por desmontes de rocha (Siskind, 2000; Klen, 2010).

Essa norma relaciona a velocidade de partícula, intervalos de frequência e o tipo de estruturas passíveis de sofrer danos, conforme pode ser visto na Tabela 2.13 e Fig. 2.16.

Tabela 2.13 – Limites de velocidade de partícula (RI 8507:1980)

Tipo da estrutura	Velocidade de partícula de pico (mm/s)	
	Baixas frequências < 40 Hz	Altas frequências > 40 Hz
Casas modernas – paredes internas pré-moldadas em gesso, sem revestimento	19	50
Casas velhas – paredes internas com gesso ou revestimento de madeira	12,7	50

Fonte: Bacci (2003).

**Fig. 2.16** – Limites de velocidade de partícula (RI 8507:1980). Fonte: Bacci (2003).

A linha tracejada presente no gráfico acima corresponde a proposição do USBM para paredes internas com revestimento e a linha contínua o referencial adotado pelo OSM para situações normais.

2.5.5 NORMA BRASILEIRA NBR 9653

A norma em vigor no Brasil que limita os níveis de vibração causados pelas atividades de desmonte de rochas com uso de explosivos é a ABNT NBR 9653 – Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas. Sua primeira versão data de 1986, sendo sua última revisão realizada em 2005.

A referida norma relaciona a velocidade de partícula de pico com intervalos de frequência para a delimitação dos níveis aceitáveis, diferentemente das normas já citadas,

não há uma especificação a respeito do tipo de estrutura a ser protegida das vibrações, havendo, paralelamente, uma norma estadual, no estado de São Paulo expedida pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), a D7.013 ABR/92 – Mineração por explosivos – que limita mais rigorosamente os níveis de vibração naquele estado (Bacci, 2003).

Os limites de velocidade de partícula para cada intervalo de frequência de acordo com a norma brasileira são apresentados na Fig. 2.17 e Tabela 2.14.

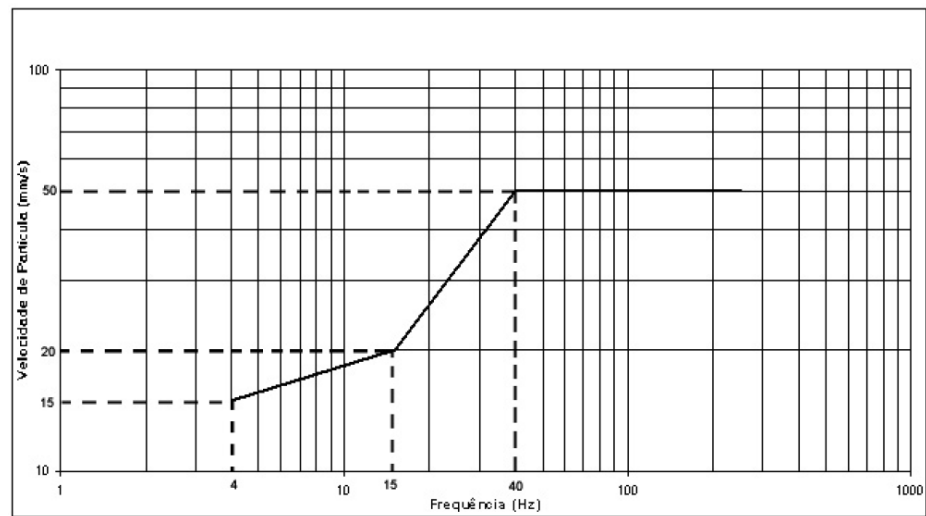


Fig. 2.17 – Limites de velocidade de partícula (NBR 9653:2005).

Tabela 2.14 – Limites de velocidade de partícula (NBR 9653:2005)

Faixa de frequência	Limite de velocidade de vibração de partícula de pico
4 a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s aumenta linearmente até 20 mm/s
15 a 40 Hz	Iniciando em 20 mm/s aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s

Fonte: ABNT NBR 9653:2005.

A norma define que para intervalos de frequência menores que 4 Hz, deve ser utilizado como referência o critério de deslocamento de partícula, um máximo de 0,6 mm. Define também que para situações excepcionais, onde não possa ser efetuado o monitoramento sismográfico, deve ser utilizado como critério uma distância escalonada maior que 40 ($DR \geq 40 \text{ m/kg}^{0,5}$) para distâncias inferiores a 300 m da área a ser detonada.

2.6 A LEI DE ATENUAÇÃO COMO FATOR DE CORREÇÃO DA CARGA MÁXIMA POR ESPERA

No decorrer do tempo, como pôde ser observado no presente trabalho, diversos autores contribuíram significativamente relacionando diversos fatores com a geração de vibrações e delimitando níveis de segurança para as atividades de desmonte de rocha.

No presente tópico será abordada uma das ferramentas mais úteis para o planejamento de atividades de desmonte de rocha com uso de explosivo para o controle da geração de vibrações, a saber, a construção do modelo de lei de atenuação, também chamado de lei de propagação de vibrações.

Essa lei é uma forma de se equacionar, baseando-se em dados locais, níveis de vibração com parâmetros controláveis no plano de fogo, de forma que se possa prever quando determinado evento de detonação provocará danos a estruturas vizinhas, e, seu efetivo uso irá permitir o desenvolvimento das atividades de mineração e obras civis nas imediações ou dentro de aglomerados urbanos de forma segura.

Dado que a vibração será atenuada por diversos fatores, alguns geométricos e universais, como o fato de que a intensidade da onda de choque será amenizada pelo aumento de superfície de propagação, e, outros fatores locais, como litologias e descontinuidades, a lei de atenuação será específica para cada local, e, por vezes, específica também para cada litologia que servirá de meio de propagação.

De acordo com Jimeno (1995), uma das primeiras tentativas de se relacionar parâmetros de plano de fogo com características das vibrações foi feita por Morris em 1950, relacionando a amplitude das vibrações com a carga de explosivo e a distância dos locais de detonação como na expressão 2.14.

$$A = K \cdot \frac{\sqrt{Q}}{D} \quad (2.14)$$

Onde,

A corresponde ao deslocamento máximo de partícula;

Q corresponde a quantidade de explosivos;

D corresponde a distância entre o ponto de detonação e o ponto de medição;

K corresponde a um fator que depende do tipo de rocha.

Posteriormente, em 1967, Leconte propôs uma nova relação, baseada na velocidade de partícula e não mais na amplitude do deslocamento da mesma, juntamente com a carga de explosivo utilizada e a distância do ponto de monitoramento, da seguinte forma:

$$v = K_{vr} \cdot \frac{\sqrt{Q}}{D} \quad (2.15)$$

Onde K_{vr} é uma constante dependente da velocidade resultante de partícula

Após muitas pesquisas, testes e medições, estudiosos como Blair, Duvall, Ambraseys, Hendron, Dowding, entre outros, chegaram a uma nova relação de distância que demonstrou melhores respostas junto à variável velocidade de partícula, o que foi chamada de distância escalonada.

A distância escalonada (também chamada de distância reduzida DR) é uma razão entre a carga de explosivos e a distância ao ponto de medição elevados a um coeficiente, conforme mostrado na expressão 2.16.

$$DR = \frac{D}{Q^{a/b}} \quad (2.16)$$

Alguns estudiosos defendem que para cargas esféricas, cujo comprimento da carga seja menor que seis vezes o diâmetro da mesma, a distância escalonada estaria relacionada com a raiz cúbica do inverso da carga. Enquanto que em situações com a carga considerada como cilíndrica (comprimento da carga seis vezes maior que o diâmetro da mesma), a relação se daria com o inverso da raiz quadrada da carga máxima detonada.

No Brasil, a norma de referência adota a distância escalonada como para cargas cilíndricas, ou seja, utilizando o inverso da raiz quadrada da carga a ser detonada, conforme a expressão 2.17.

$$DR = \frac{D}{Q^{1/2}} \quad (2.17)$$

Entretanto, houve quem desconsiderasse a simetria da carga de explosivos, como Atewel, Holmberg, Persson, Shoop e Daemen, utilizando a expressão 2.18.

$$v = K \cdot Q^a \cdot D^b \quad (2.18)$$

Onde, K , a e b são constantes determinadas por análises de regressão múltiplas.

Klen (2010) descreve o método proposto por Holmberg e Persson (1978) para a obtenção de níveis de vibração próximos às cargas detonantes, esse método se baseia numa carga linearmente distribuída, cuja integral resultaria na velocidade máxima de partícula, expressão 2.19. A Fig. 2.18 é a representação gráfica deste método.

$$v_p = K \left[l \int_{x_s}^{x_s+H} \frac{dx}{[r_0^2 + (x-x_0)^2]^{\beta/2\alpha}} \right]^\alpha \quad (2.19)$$

Onde,

v_p é a velocidade de partícula

K, α e β constantes obtidas empiricamente

l é a razão linear de carregamento

x_s é a posição que varia de 0 a H

H é o comprimento do furo

r_0 é a distância perpendicular de um dado ponto à carga explosiva

x_i distância no eixo da carga do final até um dado ponto na carga

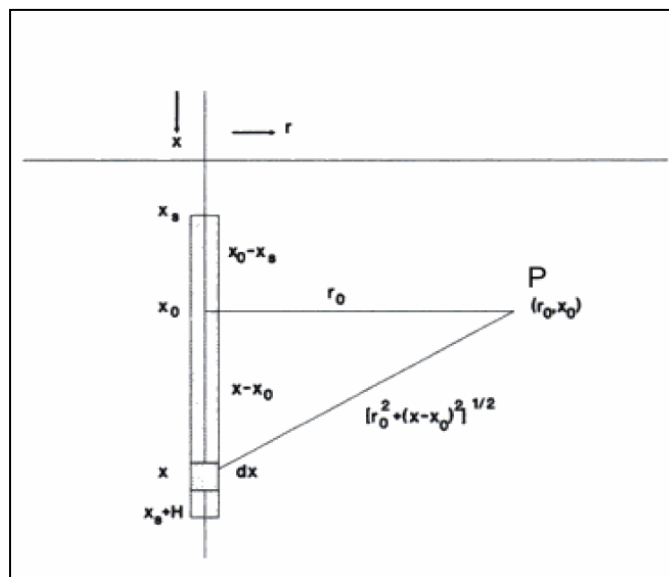


Fig. 2.18 – Variáveis de integração para determinação de velocidade de partícula num ponto próximo. Fonte: Klen (2010), adaptação de Persson et al. (1994)

Jimeno (1995) apresenta outros pesquisadores que adotaram modelos exponenciais e logarítmicos, como Lundborg (1977) representando uma superfície tridimensional para a velocidade de partículas na expressão 2.20.

$$\log v = 4,08 + 0,14 \log Q - 2,06 \log D + 0,22 \log Q \cdot \log D \quad (2.20)$$

Just e Free (1980) apud Jimeno (1995), com observações baseadas em desmontes controlados propõe uma relação na forma da expressão 2.21.

$$v = K \cdot \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)^{-1} \cdot e^{-\alpha \left(\frac{D}{Q^{1/3}} \right)} \quad (2.21)$$

Ainda Bertha (1985) apud Jimeno (1995) apresenta um modelo teórico para a predição de níveis de vibração causados pela detonação de cargas explosivas, levando em consideração fatores como acoplamento, diferença de impedâncias, energia liberada pela detonação de explosivo, etc.

Uma das equações propostas que tem apresentado grande aceitação em todo mundo é a proposta pelo suíço Langefors que relaciona a velocidade de partícula com a distância escalonada na forma da expressão 2.22.

$$v = K \cdot \left(\frac{Q}{D^{3/2}} \right)^{1/2} \quad (2.22)$$

Assim, pode-se observar que seja qual for a lei de propagação de vibrações utilizada, ela é na forma da expressão 2.23 (Dallora Neto (2004).

$$v = a \cdot \left(\frac{Q}{D^{c/b}} \right)^b \quad (2.23)$$

Para a construção dessa equação, faz-se necessário um monitoramento sísmográfico para a obtenção de uma quantidade representativa de dados, e, assim, por meio da conjugação de pares (v, DR) e uma regressão bi-logarítmica se determine os coeficientes adequados para determinada área de estudo (Dallora Neto, 2004).

A transformação bi-logarítmica irá fornecer uma equação de uma reta de primeiro grau, conforme a expressão 2.24.

$$\log v = \log a - b \log DR \quad (2.24)$$

A verificação do ajuste da curva obtida pela lei de atenuação é verificado pelo coeficiente de correlação r , quanto mais próximo de 1 ou -1 r for melhor será a adequação da curvas à situação encontrada em campo (Blas, 2004; Dallora Neto, 2004)

Com tal equação baseada em dados experimentais se torna simples o controle dos níveis de vibração produzidos pelos próximos eventos de detonação, já que se poderá

determinar a quantidade máxima de explosivo a ser detonada instantaneamente que não provocará danos a estruturas próximas nem transtorno algum às comunidades próximas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área de estudo localiza-se na área de construção da Arena Pernambuco, mais especificamente, as estruturas (estacas, sapatas, rampas e áreas residenciais, passíveis de danos pelas atividades de desmonte de rocha com uso de explosivos, necessárias para a execução da obra.

A Arena Pernambuco está localizada no município de São Lourenço da Mata, Região Metropolitana de Recife, a aproximadamente 20 km da capital do estado, Recife.



Fig. 3.1 – Localização da área de estudo. Fonte: imagem editada Google Earth (2011).

O acesso à área de construção da Arena se dá através da BR-101, partindo do entroncamento com a BR-232, seguindo pela BR-232 cerca de 6 km, e em seguida, 5 km pela BR-408.

A Arena Pernambuco é um dos estádios de futebol que está sendo construído para o campeonato mundial de futebol de 2014, com capacidade para 46 mil pessoas. Além de sediar cinco jogos da COPA 2014, participará da Copa das Confederações em 2013, e, servirá para realização de outros eventos desportivos, grandes espetáculos, conferências e feiras.

A construção do estádio faz parte de um grande projeto, que inclui a construção de um bairro planejado a 19 km do Marco Zero de Recife e do Aeroporto Internacional Guararapes (aeroporto Gilberto Freyre). O estádio seguirá o modelo europeu, sem alambrado ou fosso. Todos os lugares serão cobertos distribuídos em cinco tipos de arquibancadas, além de camarotes e tribuna. Estima-se que a sua conclusão será no final de 2012.



Fig. 3.2 – Vista do canteiro de obras da Arena Pernambuco.

A construção da Arena Pernambuco está a cargo do Consórcio Odebrecht Participações e Investimentos (OPI) e a Construtora Norberto Odebrecht (CNO), que além da Arena Pernambuco, também é a responsável pela construção e/ou reforma da Arena Itaquera (SP), Arena Fonte Nova (BA) e do Maracanã (RJ).

O presente trabalho de dissertação consiste na elaboração de uma lei de atenuação baseada nas medições sismográficas efetuadas nos eventos de detonação para desmonte de rocha (confinado) realizados na Arena Pernambuco. A maior parte das detonações foi realizada já após a construção de algumas estruturas do estádio, ressaltando a importância e contribuição do presente estudo. Um controle seguro das vibrações do solo irá garantir

que as detonações com uso de explosivo não irão provocar danos às estruturas que sustentarão o estádio, bem como, às estruturas de residências circunvizinhas.

3.2 DESCRIÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO

O município de São Lourenço da Mata localiza-se no interior da Província Borborema, tendo como constituintes principais os litotipos dos complexos Salgadinho, Belém do São Francisco e Vertentes e da Suíte Calcialcalina de Médio a Alto Potássio Itaporanga e do Grupo Barreiras, conforme ilustrado na Fig. 3.3.

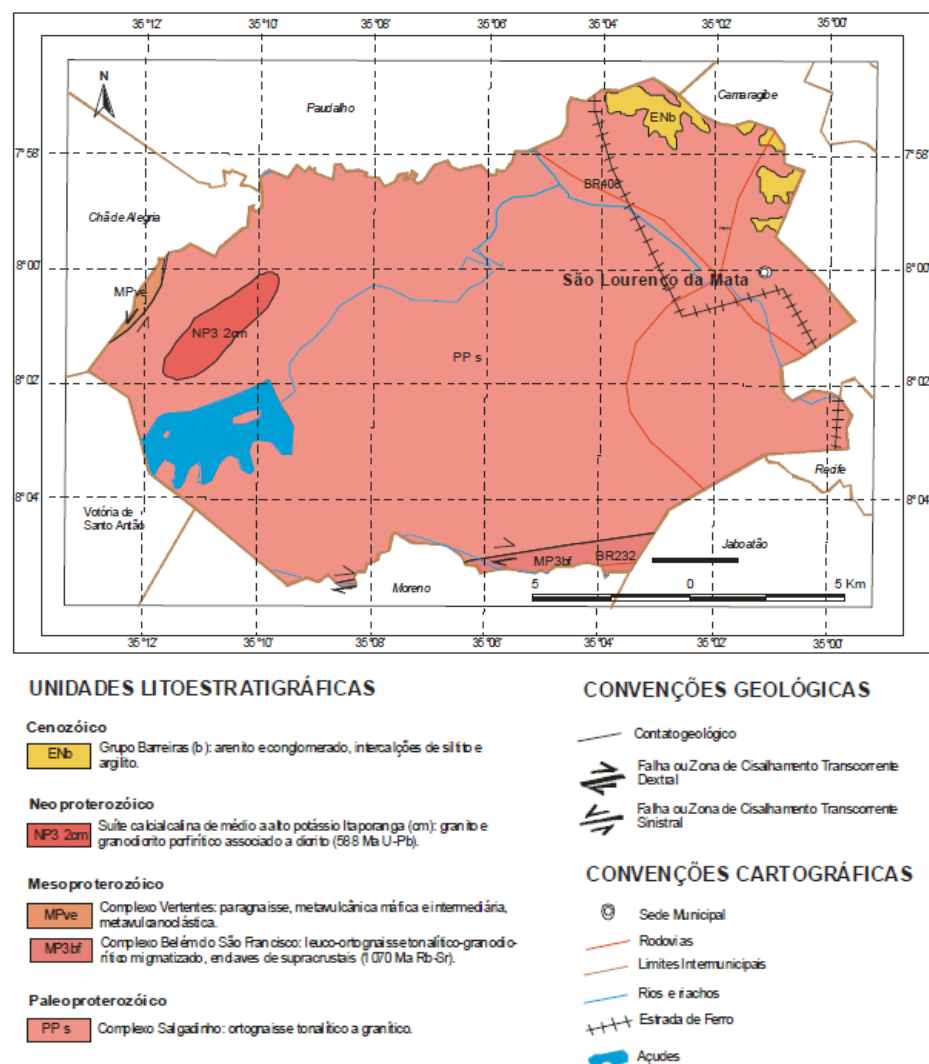


Fig. 3.3 – Geologia do município de São Lourenço da Mata/PE (CPRM, 2005).

As obras de construção da Arena Pernambuco se encontram sobre o Complexo Salgadinho composto basicamente por ortogneisse tonalítico e granito; conforme pode ser

observado na Fig. 3.4 afloramentos no interior da área do canteiro de obras de construção do estádio.



Fig. 3.4 – Afloramento gnaisse-granítico no interior da área de construção da Arena Pernambuco.

3.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DOS PLANOS DE FOGO EXECUTADOS

O monitoramento sismográfico foi realizado pela equipe do LACAM/UFPE sob a supervisão do professor Dr. Carlos Magno Muniz e Silva, orientador da presente dissertação, quando contratado pela empresa responsável pelo desmonte na área da Arena Pernambuco, DETEX – Desmonte Técnico com Explosivos Ltda.

Os pontos de monitoramento foram determinados pela DETEX e Odebrecht, com o intuito de controlar os índices de vibração de terreno produzidos pelas detonações com uso de explosivos, e assim, evitar danos às estruturas já construídas do estádio e nas estruturas residenciais das proximidades.

Para efetuar o monitoramento, foram utilizados 03 sismógrafos de engenharia pertencentes ao LACAM, conforme a descrição a seguir:

02 sismógrafos de engenharia da marca GeoSonics Inc. modelo MicroSeis II, SN 7024 e 7025 e 01 sismógrafo de engenharia da marca GeoSonics Inc. modelo SSU 3000EZ+ SN 8877, compostos por unidade básica, geofone com sensores triortogonais para medição de vibrações de terreno e microfone para medição de sobrepressão atmosférica. Com resolução para vibrações de 0,06 mm/s, chega a medir velocidades de partícula de no máximo 130 mm/s, apresenta intervalo de frequência de 2 a 250 Hz (3dB) e 2 a 1000Hz (Nyquist), taxa de amostragem de até 2.000 amostragens/s/canal, tempo de gravação de 1 a 15 s, com precisão de 5%.

As instrumentações sismográficas foram realizadas em 12 dias intercalados, alguns dias havendo mais de uma detonação e outros mais de uma medição sismográfica, resultando em 15 de medições. Algumas dessas medições foram efetuadas em estruturas já

construídas da Arena (estacas, sapatas e rampas), outras junto a residências situadas nas imediações da obra.

Os dados de planos de fogo foram fornecidos pela DETEX, através do diretor Eng. de Minas Raimundo Cronemberger, responsável técnico pelas detonações. Todas as detonações monitoradas utilizadas nesse trabalho se enquadram na categoria de Desmonte de Rochas em Abertura de Vala “fogos confinados”, não apresentando face livre para o desmonte, e, sendo necessário, em alguns casos, uma cobertura espessa de material sobre o desmonte para evitar a possibilidade de lançamentos e sobrepressão atmosférica, em virtude dos desmontes serem realizados dentro da área de construção do estádio (Fig. 3.5).



Fig. 3.5 – Estruturas já construídas na área da Arena Pernambuco passíveis de danos causados por vibrações.

Os planos de fogo informam a carga de explosivo necessária para a remoção do volume de rocha, sistema de iniciação, sequência da detonação, carga máxima por espera, tipos de explosivos a serem utilizados, diâmetro de perfuração etc., que juntamente com os dados das instrumentações sismográficas e as distâncias dos pontos de detonação às estruturas a serem preservadas, são informações suficientes para a execução do presente trabalho.

A seguir é apresentada a Tabela 3.1 que resume os dados obtidos dos planos de fogo executados, como identificação do desmonte, número de furos, diâmetro de perfuração, as cargas de explosivo totais e máximas por espera e outras informações referentes detonações acompanhadas nas obras de escavação da Arena Pernambuco.

Mais informações estão registradas nos resumos de cada plano de fogo monitorado, presentes no anexo da presente dissertação.

Tabela 3.1 – Resumo dos planos de fogo monitorados pelo LACAM/UFPE.

Fogo	Data	Nº de furos	Diâmetro do furo (pol.)	Malha de perfuração (AxEx)	Profundidade (m)	Altura do tampão (m)	Tipo de explosivo	Carga total (kg)	Carga por furo (kg)	Carga por espera (kg)
*	20/06/2011	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	07/07/2011	1329	3	1,50 x 2,00	3,29	1,90	bombeado	6179,83	4,65	9,58
33	26/07/2011	378	3	1,50 x 2,00	1,72	1,38	bombeado	783,04	2,07	11,48
34	26/07/2011	221	3	1,50 x 2,00	1,13	1,12	bombeado	277,63	1,26	8,16
35	26/07/2011	438	3	1,50 x 2,00	1,09	1,11	bombeado	515,00	1,18	11,23
36	12/09/2011	391	3	1,00 x 2,00	2,31	1,33	encartuchado (1"x8")	1268,44	3,31	2,58
37	16/09/2011	64	3	0,40 x 0,30	0,50	0,50	encartuchado (1"x8")	7,68	0,12	1,20
39	22/09/2011	204	3	1,00 x 2,00	3,33	2,17	encartuchado (2"x24")	783,31	3,84	2,98
41	03/10/2011	24	2	1,00 x 1,00	1,00	0,90	encartuchado (2"x24")	7,20	0,06	0,36
42	03/10/2011	318	3	1,00 x 2,00	1,95	1,49	encartuchado (1"x8")	379,71	1,19	1,50
43	04/10/2011	48	2	0,50 x 0,50	1,00	0,80	encartuchado (2"x24")	5,76	0,12	0,24
49	14/11/2011	526	3	1,00 x 2,00	3,62	2,09	encartuchado (2"x24")	2705,74	5,14	14,96
50	19/11/2011	180	3	0,80 x 0,80	1,75	1,55	encartuchado (2"x24")	90,85	0,83	0,50
51	19/11/2011	162	3	1,00 x 2,00	1,92	1,46	encartuchado (2"x24")	149,31	0,92	5,75
52	19/11/2011	92	3	1,00 x 2,00	1,50	0,90	encartuchado (2"x24")	139,30	1,51	2,27
56	20/12/2011	543	3	1,00 x 1,00	1,5	1	encartuchado (2"x24")	628,07	1,157	6,94

58	28/12/2011	110	3	1,00 x 1,00	2	1,5	encartuchado (2"x24")	127,23	1,157	4,63
59	28/12/2011	270	3	1,00 x 2,00	1,8	1,2	encartuchado (2"x24")	374,76	1,388	4,16

* Não foi possível a obtenção de informações relativas ao primeiro desmonte acompanhado pelo monitoramento sismográfico do LACAM/UFPE nas obras de construção da Arena Pernambuco.

3.4 INSTRUMENTAÇÕES SISMOGRÁFICAS

A instrumentação sismográfica foi realizada em conformidade com a norma brasileira ABNT NBR 9653:2005. Ao monitorar estruturas, o geofone foi fixado e nivelado sobre uma pasta de gesso para obtenção de leituras confiáveis. Da mesma forma, quando o monitoramento se dava junto a residências, o geofone foi fixado por meio dos pinos no solo, numa distância de cerca de 3,0 m do objeto a ser protegido.

Os pontos onde foi efetuado o monitoramento das vibrações foram determinados pela DETEX e Consórcio Odebrecht, mostrados na Fig. 3.3, a seguir. São residência da comunidade localizada mais próxima das áreas de detonação e estruturas já construídas do estádio, como sapatas e rampas.



Fig. 3.6 – Imagens dos monitoramentos sismográficos executados nas estruturas da Arena Pernambuco e nas estruturas residenciais nas proximidades.

Como pôde ser observado no tópico anterior, alguns desmontes foram realizados no mesmo dia. Para tanto, a amarração das detonações foi disposta num arranjo em série, a fim de que uma detonação acontecesse imediatamente após a outra. Entretanto, devido a cortes no cordel provocados pelo desmonte, alguns eventos que deveriam ser contíguos acabaram sendo espaçados por um intervalo de tempo maior que o planejado, fornecendo mais uma medição sismográfica naquele dia.

A Tabela 3.2 apresenta alguns dados dos monitoramentos sismográficos, a saber. As distâncias dos pontos monitorados, identificação de cada desmonte, e a carga máxima por espera definida pelo plano de fogo.

Tabela 3.2 – Dados dos monitoramentos sismográficos, por plano de fogo.

Fogo	Data	Carga máxima por espera (kg)	Distância (m)	Local/estrutura monitorada
*	20/06/2011	*	450	Margem da comunidade
*	07/07/2011	9,58	491,7	Margem da comunidade
33	26/07/2011	11,48	450	Margem da comunidade
34	26/07/2011	8,16	450	Margem da comunidade
35	26/07/2011	11,23	450	Margem da comunidade
36	12/09/2011	2,58	470	Margem da comunidade
37	16/09/2011	1,2	4	Sapata/Pilar 15C
39	22/09/2011	2,98	422	Residência
41	03/10/2011	1,5	437,58	Residência
42	03/10/2011	0,36	3	Sapata
43	04/10/2011	0,24	3	Sapata
49	14/11/2011	14,96	86	Sapata
49	14/11/2011	14,96	574,2	Residência
50	19/11/2011	0,5	5	Sapata
51	19/11/2011	5,75	5	Sapata
52	19/11/2011	2,27	5	Sapata
56	20/12/2011	6,94	76	Rampa SW
58	28/12/2011	4,63	39	Sapata
59	28/12/2011	4,16	39	Sapata

Agrupando os dados em função dos eventos de leitura sismográfica, foi obtida a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Dados dos monitoramentos sismográficos, por evento de leitura.

Evento de leitura sismográfica	Sismógrafo utilizado	Fogo	Carga máxima por espera (kg)	Distância (m)	Local/estrutura monitorada
87	8877	*		450	Margem da comunidade
4	7025	*	9,58	491,7	Margem da comunidade
5	8877	33, 34 e 35	11,48	450	Margem da comunidade
17	8877	36	2,58	470	Margem da comunidade
27	8877	37	1,2	4	Sapata/Pilar 15 C
11	8877	39	2,98	422	Residência
1	7025	41	1,5	437,58	Residência
41	8877	42	0,36	3	Sapata
43	8877	43	0,24	3	Sapata
54	8877	49	14,96	86	Sapata
2	7024	49	14,96	574,2	Residência
57	8877	50, 51 e 52	5,75	5	Sapata
59	8877	56	6,94	76	Rampa SW
61	8877	58	4,63	39	Sapata
63	8877	59	4,16	39	Sapata

Cada evento de leitura sismográfica compreende a medição dos valores máximos de velocidade de partícula obtidos durante a instrumentação, com suas respectivas frequências. A Tabela 3.4 apresenta o resumo dos eventos de leitura sismográfica obtidos para a realização deste trabalho.

Tabela 3.4 – Resumo dos eventos de leitura sismográfica obtidos.

Evento de leitura sismográfica	Sismógrafo	Fogo	Data	Velocidade longitudinal (mm/s)	Frequência (Hz)	Velocidade transversal (mm/s)	Frequência (Hz)	Velocidade vertical (mm/s)	Frequência (Hz)	Velocidade resultante (mm/s)
87	8877		20/06/2011	0,06	62,5	0,13	250	0,13	15,6	0,13
4	7025		07/07/2011	3,05	0,7	2,79	0,9	2,79	1,9	5,08
5	8877	33, 34 e 35	26/07/2011	0,19	35,7	0,13	3,8	0,13	2,6	0,25
17	8877	36	12/09/2011	0,13	17,2	0,19	15,6	0,13	33,3	0,25
27	8877	37	16/09/2011	0,06	14,7	0,06	41,7	0,13	13,2	0,13
11	8877	39	22/09/2011	0,13	11,1	0,13	4,2	0,13	0,9	0,19
1	7025	41	03/10/2011	2,79	0,9	3,56	0,7	3,56	0,7	5,84
41	8877	42	03/10/2011	129,98	100	129,98	2,3	129,98	29,4	212,79
43	8877	43	04/10/2011	129,98	100	114,43	6,4	129,98	100	183,32
54	8877	49	14/11/2011	33,59	55,6	20,07	12,8	4,32	3	39,31
2	7024	49	14/11/2011	58,93	29,4	76,2	3	30,99	8,6	77,22
57	8877	50, 51 e 52	19/11/2011	129,98	23,8	92,71	21,7	123,89	6,1	152,97
59	8877	56	20/12/2011	3,75	62,5	1,52	100	1,4	100	4
61	8877	58	28/12/2011	5,59	83,3	8,06	125	2,67	166,7	8,64
63	8877	59	28/12/2011	7,49	100	6,6	83,3	5,72	83,3	10,35

4. ANÁLISES E CORRELAÇÃO DO MODELO DE LEI DE ATENUAÇÃO

4.1 ELABORAÇÃO DO MODELO DE LEI DE ATENUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme já citado, a obtenção da lei de atenuação toma por base a construção de um gráfico com valores empíricos de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada. Como a função que se procura obter é da forma da expressão 2.23:

$$v = a. (DR)^b \quad (4.1)$$

Considerando o artifício matemático semelhante ao encontrado na literatura, foram dispostos os pares ordenados distância escalonada e velocidade de vibração de partícula de pico (v, DR) em um gráfico di-log, a fim de que seja possível a linearização dos pontos conforme a expressão 2.24, e, por fim, prossegue-se à obtenção dos parâmetros da reta através da expressão 4.2, a seguir:

$$\log v = \log a + b \log DR \quad (4.2)$$

Entretanto, foi encontrado melhor ajuste da reta aos pontos experimentais, ao adotar o logaritmo natural em vez do logaritmo na base 10.

Das 14 leituras obtidas dos sismogramas pesquisados, utilizou-se apenas 10. Apesar do aparente pequeno valor de amostragem, este número é suficiente para a determinação da *lei de atenuação* (Jimeno, 1995). De forma que, os pontos menos significativos foram descartados, seja pela configuração atípica em relação aos demais no que concerne ao número de furos, diâmetro de perfuração e carga utilizada por furo, ou por insuficiência na leitura dos níveis de vibração, pois, devido a proximidade dos pontos de detonação alguns valores de velocidade de partícula não puderam ser corretamente medidos, sendo registrado apenas o máximo valor do sismógrafo (129,98 mm/s).

A Tabela 4.1, a seguir, apresenta todos os pares ordenados de velocidade de vibração de partícula de pico e as distâncias escalonadas das aferições realizadas pelo LACAM/UFPE; organizados por cada evento de leitura sismográfica analisado para o presente estudo, seguidos do gráfico obtido. Enquanto que a Tabela 4.2 apresenta os dados efetivamente utilizados para a construção do modelo de lei de atenuação, seguida do respectivo gráfico.

Tabela 4.1 – Dados de velocidade de vibração de partícula de pico e distância escalonada.

Evento de leitura sismográfica	Distância (m)	Carga máxima por espera Q (kg)	Distância escalonada ($m/kg^{1/2}$)	Velocidade de vibração de partícula de pico (mm/s)
87	450	*	*	0,13
4	491,7	9,58	158,86	3,05
5	450	11,48	132,81	0,19
17	470	2,58	292,61	0,19
27	4	1,2	3,65	0,13
11	422	2,98	244,46	0,13
1	437,58	1,5	357,28	3,56
41	3	0,36	5,00	129,98
43	3	0,24	6,12	129,98
54	86	14,96	22,23	33,59
2	574,2	14,96	148,46	76,2
57	5	5,75	2,09	129,98
59	76	6,94	28,85	3,75
61	39	4,63	18,12	8,06
63	39	4,16	19,12	7,49

* Os valores não apresentados no gráfico não puderam ser obtidos.

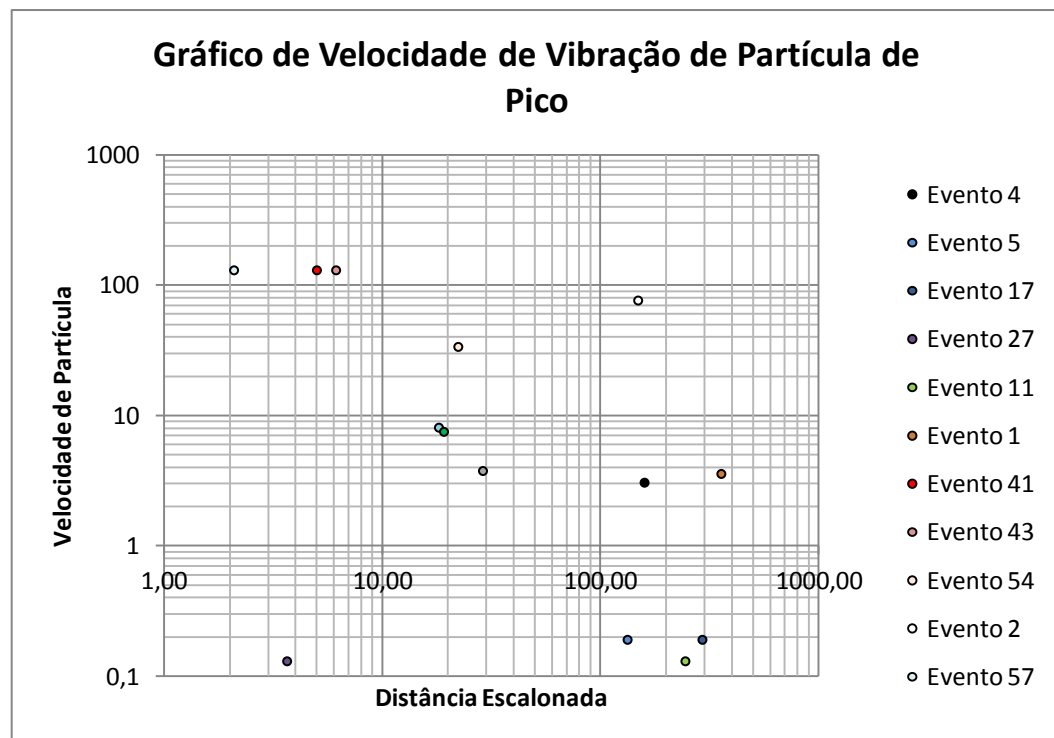
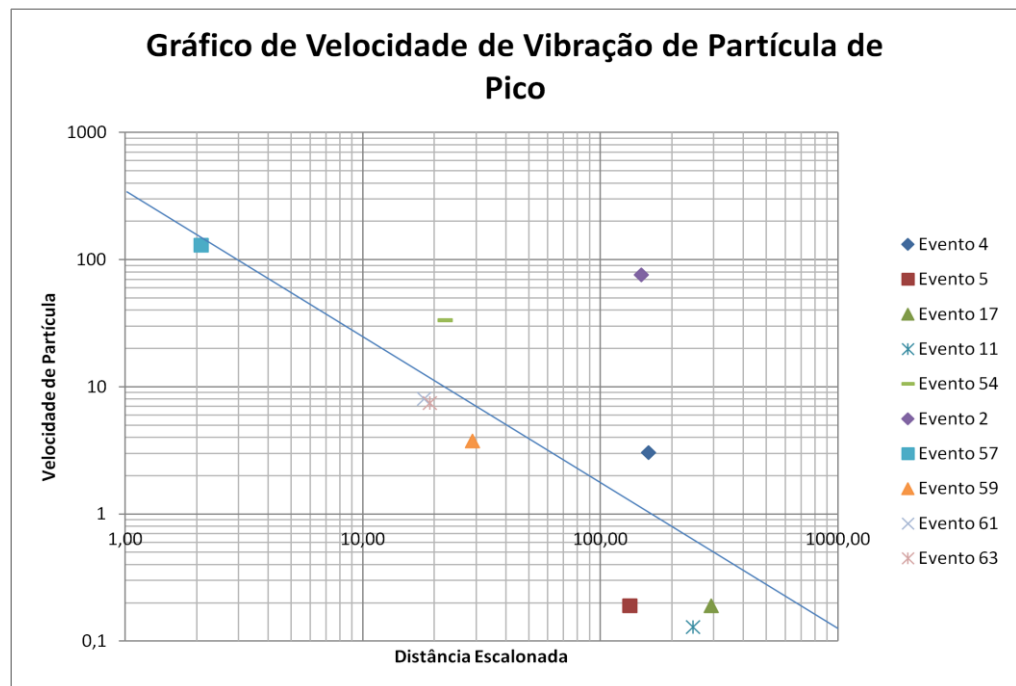
**Fig. 4.1** – Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada.

Tabela 4.2 – Dados utilizados para a construção do modelo de lei de atenuação.

Evento de leitura sismográfica	Fogo	Distância (m)	Carga máxima por espera (kg)	Distância escalonada ($m/kg^{1/2}$)	Velocidade de vibração de partícula de pico (mm/s)
4		491,7	9,58	158,86	3,05
5	33, 34 e 35	450	11,48	132,81	0,19
17	36	470	2,58	292,61	0,19
11	39	422	2,98	244,46	0,13
54	49	86	14,96	22,23	33,59
2	49	574,2	14,96	148,46	76,2
57	50, 51 e 52	5	5,75	2,09	129,98
59	56	76	6,94	28,85	3,75
61	58	39	4,63	18,12	8,06
63	59	39	4,16	19,12	7,49

**Fig. 4.2** – Gráfico de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada com todas as medições sismográficas efetivamente utilizadas na construção do modelo de lei de atenuação.

Para a obtenção da distância escalonada utilizou-se a raiz quadrada da carga máxima por espera por ser assim determinado na norma brasileira (ABNT, 2005). Podendo-se fazer, também, a distância escalonada utilizando a raiz cúbica ou a raiz cúbica do quadrado da distância (Dallora Neto, 2004).

Pode-se observar no gráfico logo acima, uma tendência a linearidade representada pela linha azul. É sobre essa tendência que se pode chegar numa equação da forma da

expressão 4.2. Para tanto, $\ln y$ corresponderá à velocidade de vibração de partícula de pico e $\ln x$ à distância escalonada. Os parâmetros a e b , podem ser obtidos pelas seguintes expressões (adaptado de Jimeno, 1995):

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i \cdot \ln y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)(\sum_{i=1}^n \ln y_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2}{n}} \quad (4.3)$$

$$a = \exp \left[\frac{(\sum_{i=1}^n \ln y_i)}{n} - b \cdot \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)}{n} \right] \quad (4.4)$$

Onde,

n corresponde ao número de pares (V,DR)

Disto, obtemos os seguintes valores para os parâmetros da equação:

$$b = -1,13$$

$$\ln a = 5,81 \rightarrow a = 334,02$$

Assim, resulta na seguinte equação de reta, dada pela expressão 4.5:

$$\ln y = 5,81 - 1,13x \quad (4.5)$$

$$\ln v = 5,81 - 1,13 \cdot \ln DR$$

Determinados estes parâmetros, pode-se retornar a função para a forma de potência, segundo a expressão 4.6:

$$v_p = 334,02 \cdot (DR)^{-1,13} \quad (4.6)$$

$$v_p = 334,02 \cdot \left(\frac{D}{Q^{1/2}} \right)^{-1,13}$$

Para se ter segurança sobre a utilização dessa equação, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e foi calculado o coeficiente de correlação para se saber do ajuste da reta aos pontos experimentais. A análise de variância é apresentada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Análise de variância para o ajuste do modelo de lei de atenuação.

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Nº de Graus de Liberdade	Média Quadrática
Regressão	18.477,08	1	18.477,08
Resíduos	6.489,87	8	811,23
Total	24.966,95	9	2.774,11

% de variação explicada pelo modelo: 74%

Conforme pode ser observado na análise de variância, a componente da soma quadrática devido à regressão é bem maior que a componente devido aos resíduos, demonstrando um bom ajuste do modelo de lei de atenuação, fato que também pode ser constatado por meio do coeficiente de determinação (R^2) dado pela expressão 4.7 e pelo coeficiente de correlação r , dado pela expressão 4.8.

$$R^2 = \frac{SQ_R}{SQ_T} \quad (4.7)$$

Onde,

R^2 corresponde ao coeficiente de determinação;

SQ_R corresponde ao somatório quadrático devido à regressão;

SQ_T corresponde ao somatório quadrático em torno da média ou total.

$$r = \sqrt{\frac{\left[\sum_{i=1}^n (\ln DR) \cdot (\ln v) - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln DR) \cdot (\sum_{i=1}^n \ln v)}{n} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (\ln DR)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln DR)^2}{n} \right] \left[\sum_{i=1}^n (\ln v)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln v)^2}{n} \right]}} \quad (4.8)$$

Onde,

r corresponde ao fator de correlação;

$\ln v$ corresponde ao logaritmo natural da leitura de velocidade de partícula;

$\ln DR$ corresponde ao logaritmo natural da distância escalonada.

O coeficiente de determinação obtido para este modelo foi $R^2 = 0,74$, quanto mais próximo de 1 melhor o ajuste do modelo às leituras obtidas em campo, e, o coeficiente de correlação foi $r = 0,71$, implicando que as variáveis em estudo podem ser correlacionadas com segurança pelo modelo linear utilizado.

Com tais informações o modelo de lei de atenuação para o caso de estudo da presente Dissertação é assegurado como válido, podendo ser utilizado como uma boa referência para as atividades de desmonte na área da Arena Pernambuco.

4.2 ANÁLISE E CORRELAÇÃO DE RISCO DE DANOS

De posse da *lei de atenuação* construída pode-se prever os níveis de vibração gerados pelas atividades de desmonte, e, a partir disto, determinar incrementos nas cargas máximas por espera sem causar impactos nocivos em virtude de possíveis níveis elevados das vibrações sobre as estruturas ou residências circunvizinhas.

Ao adotar um valor limite fixo para os níveis de velocidade de partícula, pode-se obter por meio da lei de atenuação ora desenvolvida, valores de referência para a carga máxima por espera a ser utilizada, mediante as distâncias às estruturas e/ou residências passíveis de danos nas proximidades.

Partindo-se do fato que as vibrações de terreno causam maiores danos às estruturas quando estas se aproximam da frequência natural das estruturas por meio do fenômeno de ressonância, e, que nas proximidades das áreas de detonação as frequências são as mais elevadas sendo atenuadas à medida que se afastam do ponto de origem, pode-se propor como limite seguro de velocidade de vibração partícula de pico o estabelecido pela própria norma brasileira para frequências acima de 40 Hz, ou seja, 50 mm/s. Estipulado esse limite para as atividades de desmonte realizadas, vai-se deparar com valores de carga máxima por espera em função da distância apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Valores de referência para carga máxima por espera, limite de velocidade de vibração de partícula de pico = 50 mm/s.

Distância (m)	Carga máxima por espera (kg)
10	3,50
20	14,18
50	90,27
100	366,11
200	1484,89
500	9452,18

Também se pode propor um limite inferior, a nível de ilustração, com níveis de velocidade de partícula da ordem de 15 mm/s, que corresponde a menor velocidade permitida para o intervalo de frequência de 4 a 15 Hz, intervalo este onde estão situadas as frequências naturais de diversas estruturas civis, as cargas máximas pra tal limite de

velocidade de partícula juntamente com as respectivas distâncias são apresentadas na Tabela 4.5, a seguir.

Tabela 4.5 – Valores de referência para carga máxima por espera, limite de velocidade de vibração de partícula de pico = 15 mm/s.

Distância (m)	Carga máxima por espera (kg)
10	0,41
20	1,64
50	10,46
100	42,43
200	172,08
500	1095,42

Tais valores servem de orientação para a determinação dos valores das quantidades de explosivos a serem detonadas instantaneamente. Cada limite de velocidade proposto indicará uma distância escalonada no gráfico representando os mesmos valores obtidos nas tabelas acima, como por exemplo, na Tabela 4.2 com velocidade de partícula 50 mm/s que corresponde a uma distância escalonada de aproximadamente $5,25 \text{ m.kg}^{-1/2}$. E a Tabela 4.3, com velocidade de partícula 15 mm/s, corresponde a aproximadamente $15,41 \text{ m.kg}^{-1/2}$.

É importante lembrar que a norma limita em $40 \text{ m.kg}^{-1/2}$ a distância escalonada para distâncias menores que 300 quando não for possível o monitoramento sismográfico, de forma que para não se correr o risco de atingir valores superiores aos indicados pela norma brasileira deve ser utilizado um fator de segurança especialmente dentro desse intervalo de 300 m.

4.3 CORREÇÕES DO FATOR DE CARGA MÁXIMA POR ESPERA

Diante do modelo de lei de atenuação proposto, pode-se dizer que os limites mínimos aconselháveis de distância escalonada para se respeitar os níveis de vibração admitidos pela norma brasileira estariam entre 5 e $6 \text{ m.kg}^{-1/2}$. Abaixo desses valores, os índices de velocidade de partícula se encontrariam acima dos 50 mm/s adotados pela norma, e, valores elevados tendem a apresentar cada vez menores índices de velocidade de vibração de partícula de pico. Lembrando que quando da impossibilidade de monitoramento sismográfico, os valores da distância escalonada não deverão ser inferiores a $40 \text{ m.kg}^{-1/2}$ para distâncias inferiores a 300 m.

Na Fig. 4.2, pode-se perceber que 3 eventos de leitura sismográfica excedem os valores esperados no modelo, essas leituras correspondem aos fogos realizados em 07 de

julho e 14 de novembro (fogo 49). Ambos os fogos são os que apresentaram maior quantidade total de explosivo utilizada, o fogo 49 ainda apresentou a maior carga por espera utilizada. A Tabela 4.6 traz as informações referentes a esses eventos.

Tabela 4.6 – Dados dos eventos acima do estimado pelo modelo de lei de atenuação.

Evento de leitura sismográfica	Fogo	Distância (m)	Carga máxima por espera (kg)	Distância escalonada (m/kg ^{1/2})	Velocidade de vibração de partícula de pico (mm/s)
4		491,7	9,58	158,86	3,05
54	49	86	14,96	22,23	33,59
2	49	574,2	14,96	148,46	76,2

Dos valores estimados, apenas a medição realizada à margem da comunidade do fogo 49 apresentou velocidades de vibração de partícula de pico superiores aos admitidos como seguros pela norma brasileira (ABNT, 2005). Os demais, mesmo excedendo os valores estipulados pelo modelo elaborado, não excedem os limites da referida norma.

Por um lado, isso demonstra que o modelo proposto (elaborado) consegue atender de forma segura aos limites de vibrações propostos pela norma brasileira ABNT NBR 9653:2005. Por outro lado, o valor que excede aos níveis permitidos, mesmo estando numa distância escalonada tida como segura pode ser atribuído a interferências construtivas das ondas de choque, podendo ser resultante de ajustes nos tempos de retardo utilizados, sendo necessários maiores estudos para seu perfeito entendimento.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÕES

A proposição de um modelo de *lei de atenuação* para as atividades de desmonte de rocha com uso de explosivos nas obras de escavação da construção da Arena Pernambuco, se mostrou satisfatória, atendendo aos objetivos propostos deste trabalho.

Foi efetivamente construído um modelo teórico, baseado em análises de dados de instrumentação sismográfica na área de construção da Arena Pernambuco e residências circunvizinhas, para os níveis de vibração produzidos pelas detonações, baseado na expressão 4.6, a seguir apresentado na expressão 5.1.

$$v_p = 334,02 \cdot \left(\frac{D}{Q^{1/2}} \right)^{-1,13} \quad (5.1)$$

Esta formulação (expressão 5.1) foi obtida por meio da proposição dos parâmetros da reta construída com os valores obtidos das leituras sismográficas de velocidade de vibração de partícula de pico em função da distância escalonada em cada desmonte monitorado em gráfico di-log.

Embora a literatura apresente como solução para a parametrização dos coeficientes da reta a utilização de logaritmos na base 10, no presente estudo foi utilizado o logaritmo natural, por ter apresentado melhor configuração diante dos valores experimentais obtidos.

O modelo de *lei de atenuação* proposto atende às necessidades de determinação de níveis de vibração de forma razoavelmente segura, apresentado coeficiente de determinação R^2 , que é o parâmetro determinante sobre o bom ajuste do modelo proposto, igual a 0,74, e coeficiente de correlação $r = 0,71$, utilizando-se 10 pares ordenados de velocidade de partícula e distância escalonada. Os demais valores obtidos nas instrumentações sismográficas foram desconsiderados por não se mostrarem efetivamente significativos, seja por conformação geométrica, número de furos e carga de explosivo utilizada por furo, por terem sido dimensionadas de forma diferente dos demais, ou devido aos valores de velocidade apresentados terem sido superiores aos passíveis de serem captados na instrumentação em campo.

Os pontos com velocidades de vibração de partícula de pico que excederam ao modelo proposto pelo modelo de lei de atenuação, podem ser resultado de interações construtivas das ondas de choque ocasionadas pela grande quantidade de explosivo utilizada e tempos de retardo que talvez necessitem maior atenção. Assim, para pleno o

entendimento desses valores elevados de velocidade de partícula, se faz necessário maiores estudos na área. A Fig. 5.1, a seguir, ilustra graficamente o modelo proposto.

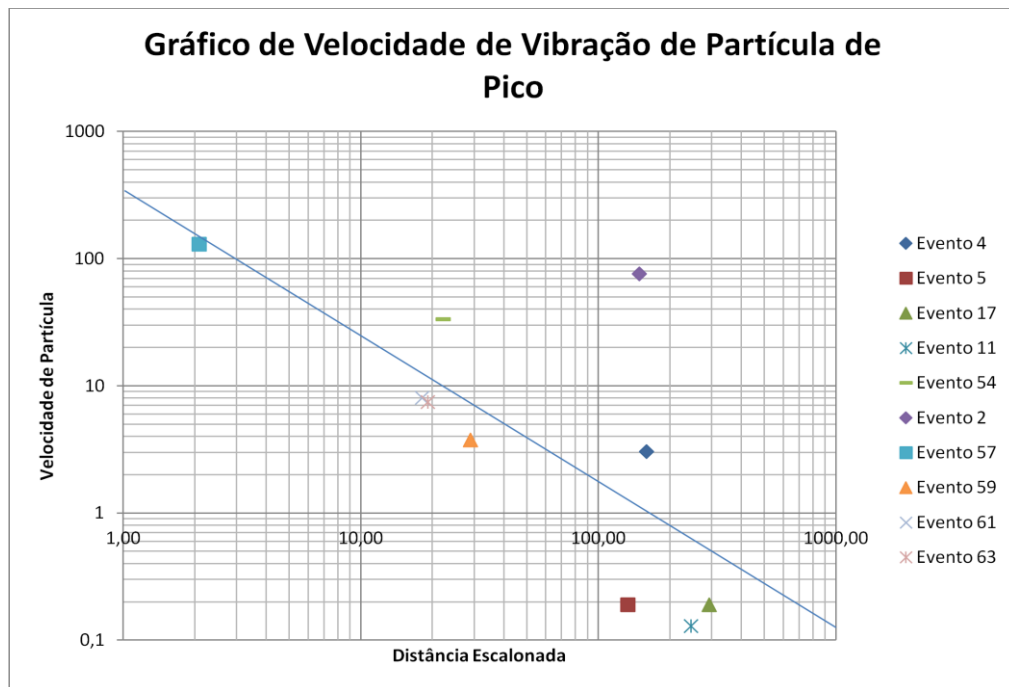


Fig. 5.1 – Representação gráfica do modelo de lei de atenuação proposto com os eventos de leituras sismográficas utilizados para sua construção.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo como base no desenvolvimento da presente dissertação, são apresentados e/ou sugeridos os seguintes temas para trabalhos posteriores:

- Estudos sobre efeitos estruturais oriundos das sobrepressões atmosféricas decorrentes das detonações das escavações da Arena Pernambuco;
- Impactos das vibrações de detonações sobre os funcionários presentes na obra da Arena Pernambuco;
- Estudos de correlação de velocidade de partícula a estruturas de discontinuidades existentes no maciço rochoso presente sob a Arena Pernambuco;
- Estudo sobre os tempos de retardo utilizados e possíveis interações construtivas das ondas de choque geradas pelas detonações na Arena Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 9653:2005. Guia para avaliação dos efeitos provocados pelos explosivos nas minerações em áreas urbanas.

BACCI, D. L. C. Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas – parte II. Artigo na Revista Escola de Minas. Ouro Preto. 2003.

BERNARDO, P. Sugestões para melhoria da norma portuguesa de controle de vibrações em construções. Artigo publicado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal. 2006.

<http://cegeo.ist.utl.pt/html/investiga/cegeo7.pdf>

Acessado em 22 de dezembro de 2011 – 9h horário local.

BLAS, J. A. P. Problemática de las vibraciones em las voladuras. Medición, control y regulación legal. Union Española de Explosivos, S. A. Madrid. Espanha. 2002.

<http://www2.minas.upm.es/catedra-anefa/Fuentes-Pascual/vibraciones%20texto.pdf>

Acessado em 23 de dezembro de 2011 – 11h horário local.

CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Diagnóstico do Município de São Lourenço da Mata/PE. Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Júnior, Manoel Júlio da Trindade G. Galvão, Simeones Neri Pereira, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. CPRM/PRODEEM. Recife. 2005.

DIN 4150-3:1999. Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen

<http://wenku.baidu.com/view/780d03eb172ded630b1cb6ce.html>

Acessado em 23 de dezembro de 2011 – 09:10 horário local.

DALLORA NETO, C. Análise das vibrações resultantes do desmonte de rocha em mineração de calcário e argilito posicionado junto à área urbana de Limeira (SP). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro – SP. 2004.

E-FÍSICA. Ensino de Física On-line. Movimento Oscilatório. (2007).

http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/movimento_periodico/mov_oscilatorio/

Acessado em 20 de dezembro de 2011 – 09h horário local.

FRENCH, A. P. Vibrações e ondas. Tradução por Odimar Deusdará Rodrigues, Reva Garg e Vijayendra K. Garg. Editora UnB. Brasília. 2001.

GAMA, C. D. *Ruídos e Vibrações Ligados à Utilização dos Explosivos e Equipamentos*. Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas. Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro. 1998. Versão Online no site do INETI:

http://eGeo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/auditorias_amb/indice.htm

Acessado em 21 de dezembro de 2011 – 20h horário local.

GERALDI, J. L. P. O ABC das escavações de rocha. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2011.

ISEE. ISEE Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs. ISEE. Cleaveland. Ohio. USA. 2009.

JIMENO, C. L. Drilling and blasting of rocks. Traduzido por Yvonne Visser de Ramiro. A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield. 1995.

KLEN, A. M. Aplicação da técnica de simulação para análise da superposição de ondas sísmicas geradas em desmonte de rocha pela dispersão dos tempos de retardo utilizando o método de Monte Carlo. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto – MG. 2010.

KONYA. Manual de voladura. <http://pt.scribd.com/doc/18664760/MANUAL-DE-VOLADURA-KONYA>
Acessado em 19 de dezembro de 2011 – 19h horário local.

LOURO, A. F. F. C. Novas formulações para leis de propagação de vibrações, em maciços rochosos, baseadas nas propriedades termodinâmicas dos explosivos. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. Portugal. 2009.

MACHADO, S. C. Danos de desmonte com explosivos em pedreira de granito do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2006.

NETO, B. B. et al. Como Fazer Experimentos – Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria. Ed. Artmed, 4ª Ed. 2010.

NICHOLSON, R. F. Determination of blasting vibrations using peak particle velocity at Bengal Quarry, in St Ann, Jamaica. Dissertação de Mestrado. Lulea University of Technology. Suécia. 2005.

NOGIRI, J. Q. Normas para vibração – subsídios para uma nova padronização. Anais do I Seminário Internacional sobre Agregados para Construção Civil. 2001.

SANCHIDRIÁN, J. A. Curso de tecnología de explosivos. Editora Fundación Gómez Pardo, Servicio de Publicaciones. Madrid. Espanha. 2000.

SANTOS, D. G. Estudo das vibrações geradas pelo desmonte de rochas com uso de explosivos e a sua relação com as fraturas da pedreira Bangu – RJ. Trabalho de Graduação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2009.

SILVA, V. C. Curso DE MIN 210 – Operações mineiras. Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. 2008.

SISKIND, D. E. R I 8507. Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting.
<http://www.corkscrewroad.com/westwind/Blasting%20Research%20for%20standards.pdf>
Acessado em 20 de dezembro de 2011 – 16h horário local.

VIRALTA, J. E. B. Trabalho de Graduação: Monitoreo, estudio y analisis de vibraciones asociadas a el uso de voladuras com explosivos em los trabajos de

ejecución del tunel carrizalito de la línea del metro los teques. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 2004.

WITT, K. J. Grundbau-Taschenbuch. Teil 1: Geotechnische Grundlagen. Ernst & Sohn. Berlin. Alemanha. 2008.

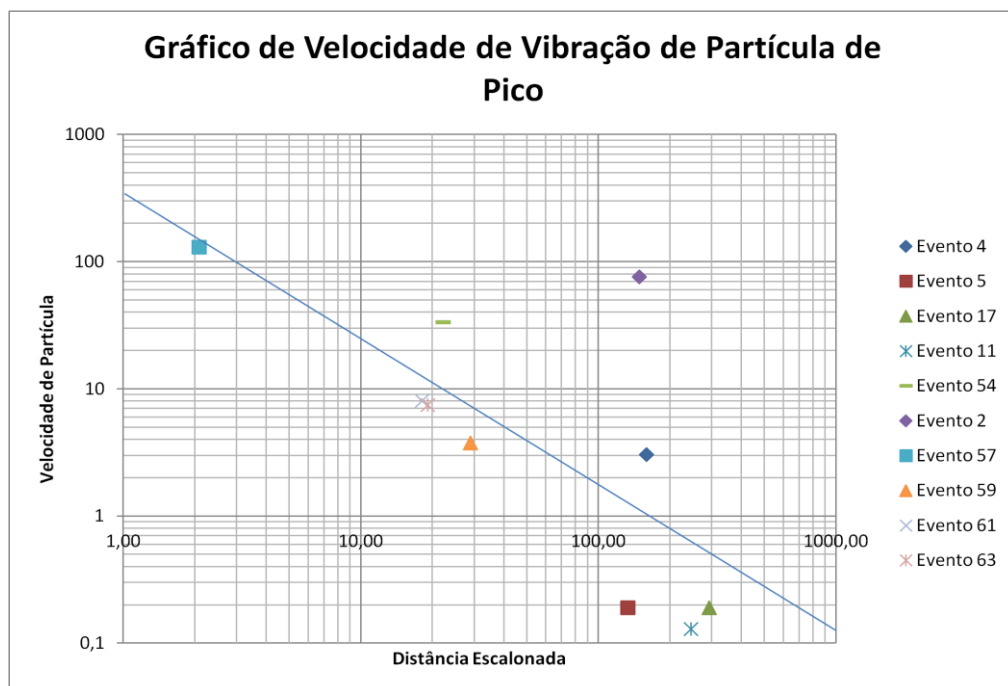
**APÊNDICE A – Procedimentos de construção do
modelo de lei de atenuação para o caso de estudo – Arena
Pernambuco**

Procedimentos de construção do modelo de lei de atenuação para o caso de estudo – Arena Pernambuco.

- (i) Tabela de dados para a construção do gráfico velocidade de vibração de partícula x distância escalonada:

Tabela A.1 – Dados utilizados para a construção do modelo de lei de atenuação.

Evento	Fogo	Distância	Carga máxima por espera	$Q^{0,5}$	Distância escalonada ($D/Q^{0,5}$)	Velocidade de vibração de partícula de pico
4		491,7	9,58	3,10	158,86	3,05
5	33, 34 e 35	450	11,48	3,39	132,81	0,19
17	36	470	2,58	1,61	292,61	0,19
11	39	422	2,98	1,73	244,46	0,13
54	49	86	14,96	3,87	22,23	33,59
2	49	574,2	14,96	3,87	148,46	76,2
57	50, 51 e 52	5	5,75	2,40	2,09	129,98
59	56	76	6,94	2,63	28,85	3,75
61	58	39	4,63	2,15	18,12	8,06
63	59	39	4,16	2,04	19,12	7,49



(ii) Parametrização dos coeficientes:

Dado que os pontos obtidos se distribuem de forma linear, teremos a projeção de uma reta, que obedece a expressão A.1.

$$y = a + b \cdot x \quad (\text{A.1})$$

Onde,

y corresponde a leitura de velocidade de partícula;

a corresponde ao termo independente;

b corresponde ao coeficiente angular da reta;

x corresponde a distância escalonada.

Entretanto, como os dados foram plotados em gráfico di-log, serão utilizados os logaritmos desses valores para a obtenção dos coeficientes da reta, conforme a expressão A.2)

$$\ln v = \ln a + b \ln DR \quad (\text{A.2})$$

Onde,

$\ln v$ corresponde ao logaritmo natural da leitura de velocidade de partícula;

$\ln a$ corresponde ao logaritmo natural do termo independente;

b corresponde ao coeficiente angular da reta;

$\ln DR$ corresponde ao logaritmo natural da distância escalonada.

A Tabela A.2 apresenta os valores dos logaritmos naturais dos dados obtidos experimentalmente.

Tabela A.2 – Logaritmos naturais dos dados experimentais.

Evento de leitura sismográfica	$\ln DR$	$\ln v$
4	5,068029978	1,115141591
5	4,888944387	-1,660731207
17	5,678837995	-1,660731207
11	5,499043664	-2,040220829
54	3,10165731	3,514228404
2	5,000287781	4,333361463
57	0,734837985	4,867380592
59	3,362082453	1,32175584
61	2,897283212	2,086913557
63	2,950804109	2,013568798

Em posse desses dados, podem ser calculados os parâmetros da reta do gráfico de velocidade de vibração de partícula.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i \cdot \ln y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)(\sum_{i=1}^n \ln y_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n (\ln x_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)^2}{n}} \quad (\text{A.3})$$

$$a = \exp \left[\frac{(\sum_{i=1}^n \ln y_i)}{n} - b \cdot \frac{(\sum_{i=1}^n \ln x_i)}{n} \right] \quad (\text{A.4})$$

$$b = -1,13 \quad (\text{A.5})$$

$$\ln a = 5,81 \quad (\text{A.6})$$

$$a = 334,02 \quad (\text{A.7})$$

(iii) Construção da reta da lei de atenuação:

Obtidos os coeficientes, determinamos a equação da reta, conforme expressão A.8.

$$\begin{aligned} y &= 5,81 - 1,13x \\ \ln v &= 5,81 - 1,13 \cdot \ln DR \end{aligned} \quad (\text{A.8})$$

Com a equação da reta, aplicando a exponencial em ambos os lados da equação, obtém-se a forma exponencial para o modelo de lei de atenuação, conforme expressão A.9.

$$\begin{aligned} v_p &= 334,02 \cdot (DR)^{-1,13} \\ v_p &= 334,02 \cdot \left(\frac{D}{Q^{1/2}} \right)^{-1,13} \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

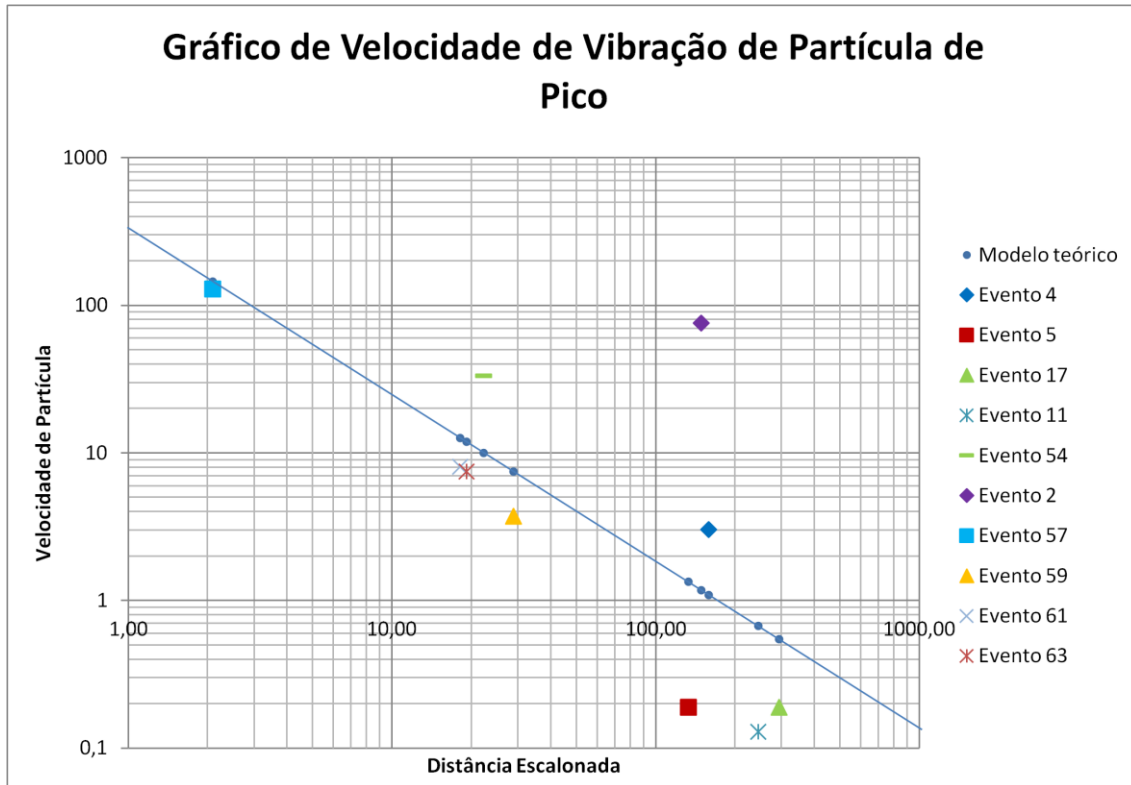
Onde,

v_p corresponde a velocidade de vibração de partícula;

DR corresponde a distância escalonada;

D corresponde a distância;

Q corresponde a carga máxima por espera utilizada.



(iv) Cálculo do fator de correlação “ r ”

Calcula-se o fator de correlação para os dados da reta para a obtenção do grau de ajuste do modelo obtido, de forma que quanto mais próximo de 1 for o valor de r , mais próximo da realidade será o modelo.

$$r^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (\ln DR) \cdot (\ln v) - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln DR) \cdot (\sum_{i=1}^n \ln v)}{n} \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (\ln DR)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln DR)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (\ln v)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \ln v)^2}{n} \right]} \quad (\text{A.10})$$

$$r^2 = 0,497830966$$

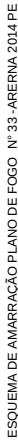
$$r = 0,705571376$$

$$r \cong 0,71$$

ANEXO A – Resumo dos Planos de Fogo

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			33
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,72	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 3”:	378,00	Unid	
Nº de filas:	13	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,72	m	sub furação: 0,50 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	2,072	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,840	m	Média
Espaçamento :	2,00	m	
Afastamento:	1,50	m	
Carga Total:	783,04	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	0,402		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	1,38	m	
carga por espera:	11,48	kg	
Volume de Rocha:	1.947,72	m3	

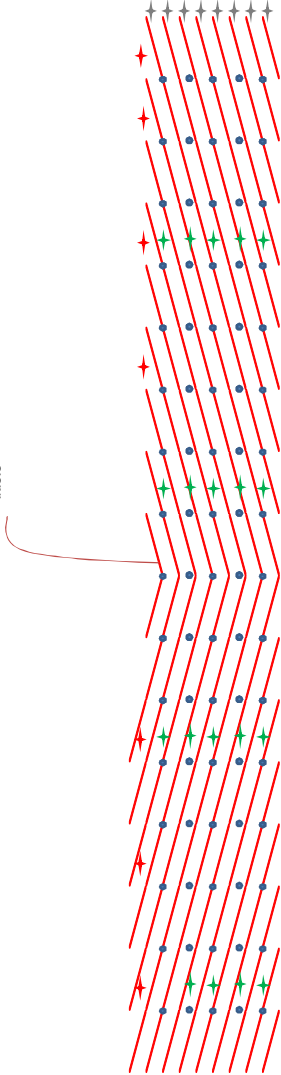


LEGENDA

OESTE

1,5x 2,0
11,47974
11,55

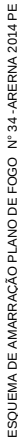
INICIO



LINHA	Nº FUIROS	CARGA PI LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	CI ESPERA	Nº FUIROS PI Retardo	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DIVERSÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	15.00	12.69	2.50	3.63	4	83.333333	25	125
L-02	20.00	19.05	3.33	4.40	5	100	145	225
L-03	27.00	22.20	4.50	4.04	5	150	196.66667	325
L-04	28.00	56.40	4.67	9.95	5	200	380	425
L-05	31.00	166.56	18.00	8.77	5	250	341.33333	625
L-06	37.00	82.27	6.17	11.48	5	300	415	725
L-07	26.00	60.34	4.33	11.31	5	400	550	825
L-08	39.00	84.58	6.50	11.28	2	450	518.33333	925
L-09	31.00	138.21	15.00	8.64	5	500	566.66667	1025
L-10	41.00	35.18	6.63	6.49	5	550	603.33333	1125
L-11	40.00	50.90	5.67	6.64	5	600	618.33333	1225
L-12	32.00	44.61	5.33	7.04	5	650		
L-13	11.00	10.05	1.83	3.55	4			
TOTAL>>>>>>	378.00	783.04	85.67					

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			34
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,13	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 3":	221,00	Unid	
Nº de filas:	11	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,13	m	sub furação: 0,50 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	1,256	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,510	m	Média
Espaçamento :	2,00	m	
Afastamento:	1,50	m	
Carga Total:	277,63	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	0,370		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	1,12	m	
carga por espera:	8,16	kg	
Volume de Rocha:	750,60	m3	



LEGENDA

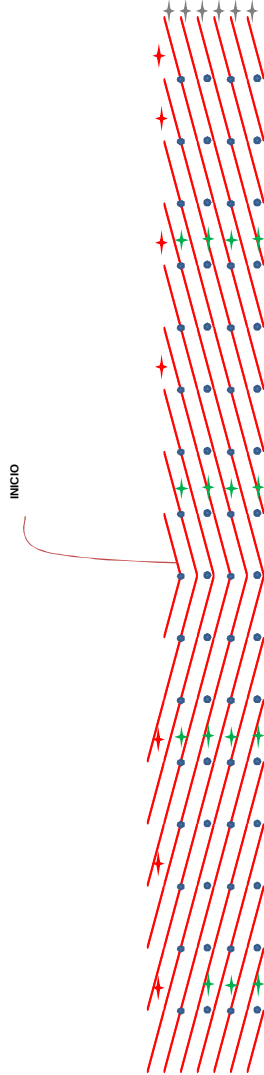
OESTE



1,5x 2,0
8,158189
9,25

MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

LINHA	N° FUROS	CARGA P/ LINHA	N° RETARDOS 10 MS	CI ESPERA	N° FUROS p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DIVISÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	8,00	19,29	2,00	6,43	3	20		
L-02	14,00	33,70	3,50	7,49	3	85	120	
L-03	20,00	57,11	6,00	8,16	3	100	220	
L-04	21,00	28,50	5,25	4,56	3	150	320	
L-05	18,00	13,52	4,50	2,46	3	200	420	
L-06	23,00	16,39	5,75	2,43	3	250	520	
L-07	22,00	15,88	5,50	2,44	3	300	620	
L-08	14,00	14,01	3,50	3,11	3	350	720	
L-09	36,00	38,57	9,00	3,86	4	400	820	
L-10	24,00	20,52	6,00	2,93	3	450	920	
L-11	21,00	20,12	5,25	3,22	3	500	1020	
TOTAL>>>>>>>	221,00	277,63	56,25					

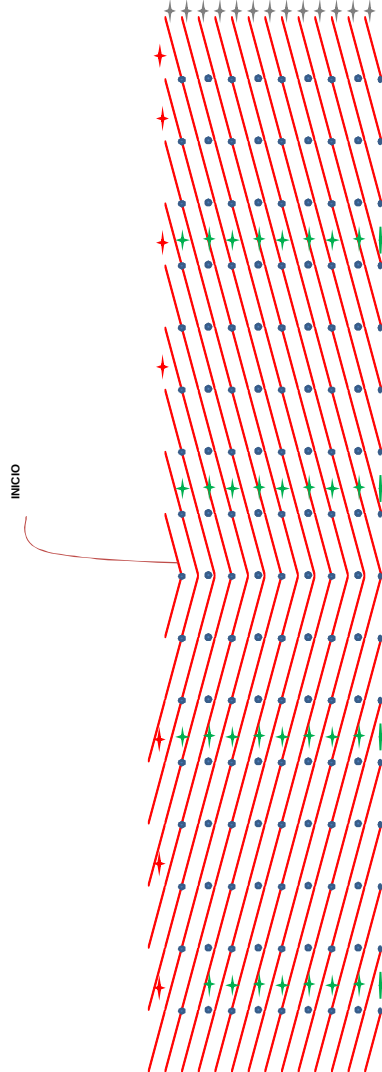


DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			35
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,09	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 3”:	438,00	Unid	
Nº de filas:	18	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,09	m	sub furação: 0,50 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	1,176	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,477	m	Média
Espaçamento :	2,00	m	
Afastamento:	1,50	m	
Carga Total:	515,00	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	0,360		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	1,11	m	
carga por espera:	11,23	kg	
Volume de Rocha:	1.431,92	m3	
Volume de abafamento	3.285,00	m3	



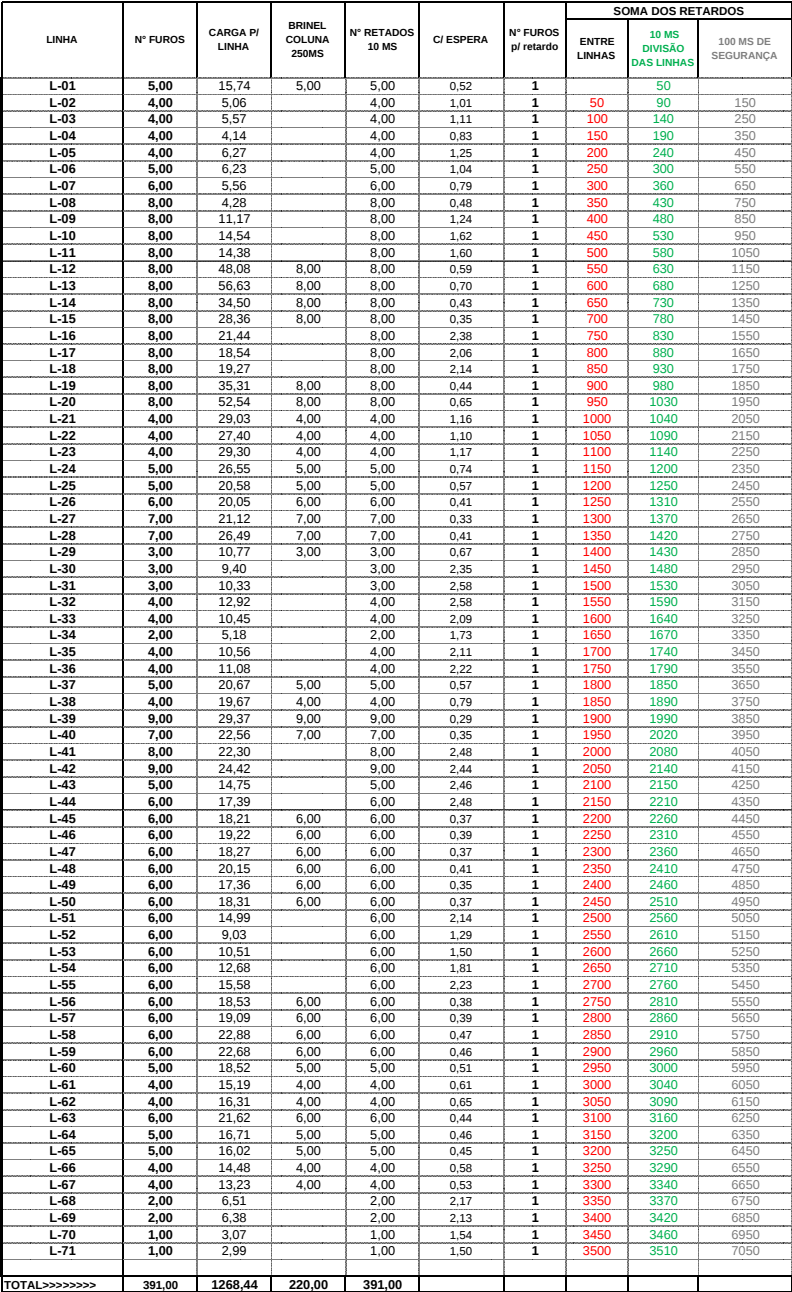
FUO		
CORDEL NP- 10	10ms	15x 2.0
RETARDO 10MS	50ms	11.23193
RETARDO 50 MS	100ms	11.55
RETARDO 100MS		
ESPOLETIM 1.2M		
MALHA DE PERFURAÇÃO		
MAIOR CARGA P/ESPERA		
MAIOR CARGA DESEJADA		



LINHA	Nº FUIROS	CARGA P/LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	CI ESPERA	Nº FUIROS pr retardos	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DIVISÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	11,00	12,36	2,00	4,12	4		20	
L-02	11,00	13,51	2,00	4,50	4	50	70	120
L-03	18,00	15,19	2,00	5,06	6	100	120	220
L-04	21,00	23,92	2,00	7,97	7	150	170	320
L-05	15,00	15,78	2,00	5,26	5	200	220	420
L-06	34,00	24,90	2,00	8,30	11	250	270	520
L-07	0,00	0,00	2,00	0,00	0	300	320	620
L-08	32,00	40,22	3,00	10,06	8	350	380	720
L-09	0,00	0,00	2,00	0,00	0	400	420	820
L-10	32,00	38,93	3,00	9,73	8	450	480	920
L-11	34,00	42,48	3,00	10,62	9	500	530	1020
L-12	38,00	44,93	3,00	11,23	10	550	580	1120
L-13	43,00	54,80	4,00	10,96	9	600	640	1220
L-14	36,00	40,21	3,00	10,05	9	650	680	1320
L-15	28,00	26,51	2,00	8,84	9	700	720	1420
L-16	32,00	34,81	3,00	8,78	8	750	780	1520
L-17	34,00	58,31	5,00	9,72	6	800	850	1620
L-18	18,00	28,13	2,00	9,38	6	850	870	1720
TOTAL>>>>>>	438,00	515,00	47,00					

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			36
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	2,31 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	391,00 Unid			
Nº de filas:	71	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	2,31 m	sub furação:	0,50	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	3,309	KG	Média	
Altura da carga em metros:	1,435	m	Média	
Espaçamento :	2,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	1.268,44	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,703			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,33	m		
carga por espera:	2,58	kg		
Volume de Rocha:	1.805,24	m3		



LEGENDA

FURO
CORDEL NP- 10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

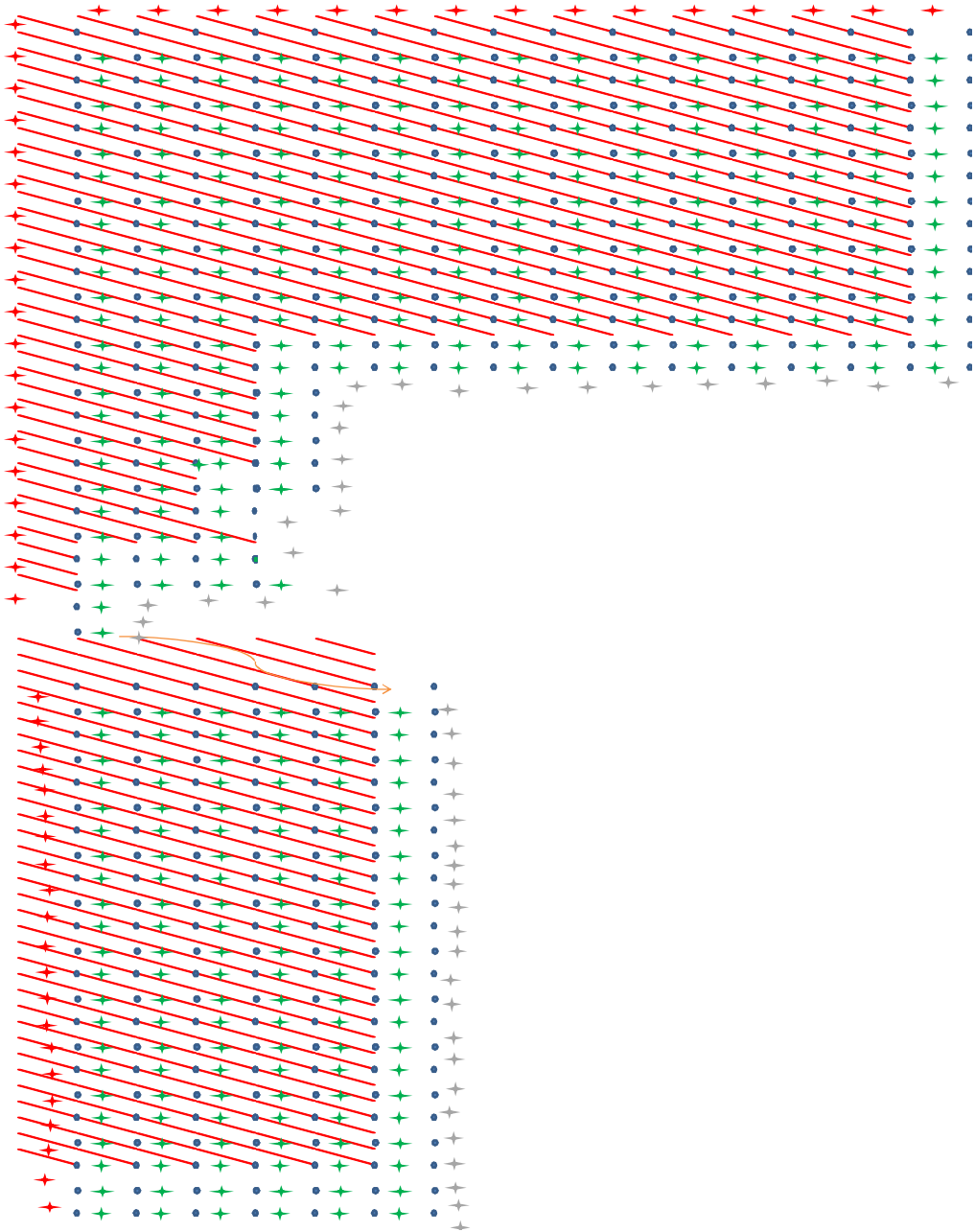
10ms
50ms
100ms

1x 2,0
2,583858
2,63

NORTE



INICIO



DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			39
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	3,33 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	204,00 Unid			
Nº de filas:	53	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	3,33 m	sub furação:	0,50	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	3,840	KG	Média	
Altura da carga em metros:	1,659	m	Média	
Espaçamento :	2,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	783,31	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,577			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	2,17	m		
carga por espera:	2,98	kg		
Volume de Rocha:	1.358,57	m3		



ESQUEMA DE AMARRAÇÃO PLANO DE FOGO N° 39 - AREIRIA 2014 PE

DATA 22/09/11
HORA 15:00

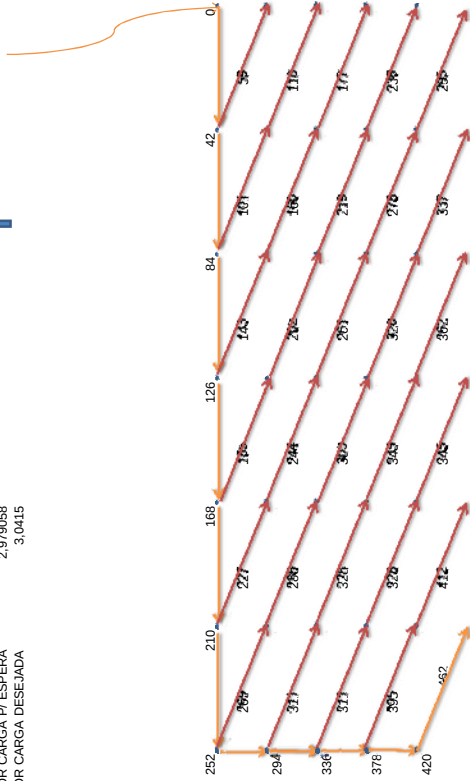
LEGENDA

FURO
CORDEL NP- 10
BRINEL 17MS
RETARDO 42 MS
ESPOLETIN 1.2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA PI/ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

1x 2.0
2.979068
3.0415

NW
INICIO

LINHA	N° Furos	CARGA PI/ LINHA	N° BRINEL COLUNA 200 MS	N° BRINEL COLUNA 275 MS	N° BRINEL 08 INSERTE MINAS	C/ESPERA	N° Furos p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS	
								ENTRE LINHAS	17 MS DIVISAO DAS MINAS
L-01	4.00	15.08	4.00	4.00	4.00	1.26	1	42	36
L-02	4.00	13.40	4.00	4.00	4.00	1.12	1	42	78
L-03	3.00	11.29	3.00	3.00	3.00	1.25	1	92	119
L-04	4.00	15.06	4.00	4.00	4.00	1.25	1	142	178
L-05	4.00	27.35	4.00	4.00	4.00	2.28	1	192	228
L-06	2.00	8.91	2.00	2.00	2.00	1.48	1	242	260
L-07	3.00	8.61	3.00	3.00	3.00	0.96	1	292	319
L-08	3.00	7.29	3.00	3.00	3.00	0.81	1	342	369
L-09	3.00	11.63	3.00	3.00	3.00	1.31	1	392	419
L-10	3.00	11.34	3.00	3.00	3.00	1.26	1	442	469
L-11	3.00	10.54	3.00	3.00	3.00	1.17	1	492	519
L-12	3.00	8.23	3.00	3.00	3.00	0.91	1	542	569
L-13	3.00	9.37	3.00	3.00	3.00	1.04	1	592	619
L-14	6.00	25.63	6.00	6.00	6.00	1.42	1	642	696
L-15	6.00	25.63	6.00	6.00	6.00	1.43	1	692	746
L-16	6.00	33.22	6.00	6.00	6.00	1.85	1	742	796
L-17	3.00	21.59	3.00	3.00	3.00	2.40	1	792	819
L-18	3.00	8.26	3.00	3.00	3.00	0.92	1	842	869
L-19	2.00	7.01	2.00	2.00	2.00	1.17	1	892	910
L-20	3.00	12.22	3.00	3.00	3.00	1.36	1	942	969
L-21	3.00	17.28	3.00	3.00	3.00	1.92	1	992	1019
L-22	2.00	13.54	2.00	2.00	2.00	2.26	1	1042	1060
L-23	2.00	15.63	2.00	2.00	2.00	2.61	1	1092	1110
L-24	2.00	15.48	2.00	2.00	2.00	2.58	1	1142	1160
L-25	3.00	26.01	3.00	3.00	3.00	2.89	1	1192	1219
L-26	2.00	17.87	2.00	2.00	2.00	2.98	1	1242	1260
L-27	2.00	12.63	2.00	2.00	2.00	2.10	1	1292	1310
L-28	3.00	9.36	3.00	3.00	3.00	1.04	1	1342	1369
L-29	4.00	12.02	4.00	4.00	4.00	1.00	1	1392	1428
L-30	2.00	7.14	2.00	2.00	2.00	1.19	1	1442	1460
L-31	4.00	15.30	4.00	4.00	4.00	1.27	1	1492	1528
L-32	4.00	11.09	4.00	4.00	4.00	0.92	1	1542	1578
L-33	2.00	5.20	2.00	2.00	2.00	0.87	1	1592	1610
L-34	3.00	6.06	3.00	3.00	3.00	0.90	1	1642	1669
L-35	4.00	13.18	4.00	4.00	4.00	1.10	1	1692	1728
L-36	1.00	2.41	1.00	1.00	1.00	0.80	1	1742	1751
L-37	2.00	5.36	2.00	2.00	2.00	0.89	1	1792	1810
L-38	3.00	8.16	3.00	3.00	3.00	0.91	1	1842	1869
L-39	9.00	28.00	9.00	9.00	9.00	1.04	1	1892	1973
L-40	4.00	14.17	4.00	4.00	4.00	1.18	1	1942	1978
L-41	5.00	17.46	5.00	5.00	5.00	1.16	1	1992	2037
L-42	3.00	9.48	3.00	3.00	3.00	1.05	1	2042	2069
L-43	4.00	12.50	4.00	4.00	4.00	1.04	1	2092	2128
L-44	3.00	11.26	3.00	3.00	3.00	1.25	1	2142	2169
L-45	4.00	11.52	4.00	4.00	4.00	0.96	1	2192	2228
L-46	4.00	13.40	4.00	4.00	4.00	1.12	1	2242	2278
L-47	3.00	8.52	3.00	3.00	3.00	0.95	1	2292	2319
L-48	4.00	9.89	4.00	4.00	4.00	0.82	1	2342	2378
L-49	6.00	15.80	6.00	6.00	6.00	0.88	1	2392	2466
L-50	5.00	12.21	5.00	5.00	5.00	0.81	1	2442	2487
L-51	9.00	24.19	9.00	9.00	9.00	0.90	1	2492	2573
L-52	15.00	50.86	15.00	15.00	15.00	1.13	1	2542	2677
L-53	7.00	36.28	7.00	7.00	7.00	1.73	1	2592	2655
TOTAL>>>>>>>	204.00	783.31	204.00	204.00	204.00				



DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			41
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

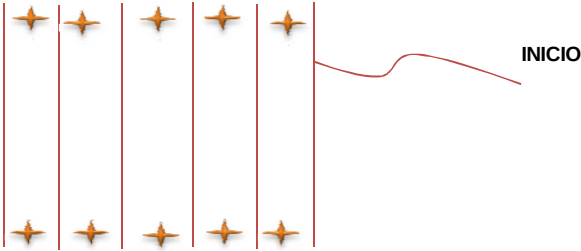
Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	1,00 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 2"	24,00 /BASE			
Nº de filas:	5	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	1,00 m	sub furação:	0,00	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	0,060	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,010	m	Média	
Espaçamento :	1,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	7,20	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,061			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	0,90	m		
carga por espera:	0,36	kg		
Volume de Rocha:	118,00	m3		

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			41
			FOLHA:
			6 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

OBS:

DIÂMETRO DO FURO	2 "	POLEGADA
PESO DO CARTUCHO 1"x 8"	0,120	KG
ALTURA DO CARTUCHO	0,20	MTS
Nº DE CARTUCHO POR FURO	0,50	UND
DISTANCIA ENTRE FUROS	1,00	MTS
Nº DE FUROS	24	UND
PROFUNDIDADE MEDIA DOS FUROS	1,000	MTS
QUANTIDADE MEDIA DE FURO P/ RETARDO	6,000	UND
INCLINAÇÃO DA PERFURAÇÃO	15,000	GRAUS
TOTAL DA PERFURAÇÃO	36,000	MTS
CARGA POR ESPERA	0,360	KG
PESO POR M DO CORDEL NP 40	0,010	KG

CROQUI



DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			42
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	1,95 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	318,00 Unid			
Nº de filas:	57	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	1,95 m	sub furação:	0,50	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	1,194	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,459	m	Média	
Espaçamento :	2,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	379,71	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,413			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,49	m		
carga por espera:	1,50	kg		
Volume de Rocha:	919,94	m3		



ESQUEMA DE AMARRAÇÃO PLANO DE FOGO Nº 42 - ARERNA 2014 PE

DATA 03/10/11
HORA 15:00

LEGENDA

FURO
CORDEL NP- 10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P / ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

10ms
50ms
100ms

1,0x 2,0
1,5
1,47



LINHA	Nº FUIROS	CARGA P/ LINHA	Nº RETARDOS 30 MS	C/ ESPERA	Nº FUIROS p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	30 MS DIVISÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	6,00	5,16	6,00	0,74	1		60	
L-02	6,00	7,68	6,00	1,10	1	50	110	160
L-03	6,00	3,96	6,00	0,57	1	100	160	260
L-04	0,00	0,00	0,00	0,00	0	150	150	360
L-05	6,00	3,70	6,00	0,53	1	200	260	460
L-06	6,00	5,06	6,00	0,72	1	250	310	560
L-07	6,00	5,53	6,00	0,79	1	300	360	660
L-08	5,00	2,94	5,00	0,49	1	350	400	760
L-09	5,00	5,35	5,00	0,89	1	400	450	860
L-10	6,00	4,52	6,00	0,65	1	450	510	960
L-11	6,00	7,16	6,00	1,02	1	500	560	1060
L-12	6,00	4,71	6,00	0,67	1	550	610	1160
L-13	6,00	5,98	6,00	0,80	1	600	660	1260
L-14	5,00	3,43	5,00	0,57	1	650	700	1360
L-15	6,00	2,95	6,00	0,42	1	700	760	1460
L-16	6,00	3,93	6,00	0,56	1	750	810	1560
L-17	6,00	5,95	6,00	0,85	1	800	860	1660
L-18	6,00	6,97	6,00	1,00	1	850	910	1760
L-19	6,00	5,68	6,00	0,81	1	900	960	1860
L-20	5,00	4,82	5,00	0,80	1	950	1000	1960
L-21	6,00	3,97	6,00	0,57	1	1000	1060	2060
L-22	5,00	5,03	5,00	0,84	1	1050	1100	2160
L-23	6,00	5,23	6,00	0,75	1	1100	1160	2260
L-24	0,00	0,00	0,00	0,00	0	1150	1150	2360
L-25	12,00	17,70	12,00	1,36	1	1200	1320	2460
L-26	6,00	7,33	6,00	1,05	1	1250	1310	2560
L-27	6,00	9,96	6,00	1,42	1	1300	1360	2660
L-28	5,00	14,33	5,00		1	1350	1400	2760
L-29	0,00	0,00	0,00	2,39	0	1400	1400	2860
L-30	13,00	64,24	13,00	4,59	1	1450	1580	2960
L-31	6,00	15,31	6,00	2,19	1	1500	1560	3060
L-32	5,00	2,31	5,00	0,39	1	1550	1600	3160
L-33	4,00	0,93	4,00	0,19	1	1600	1640	3260
L-34	5,00	1,68	5,00	0,28	1	1650	1700	3360
L-35	6,00	1,51	6,00	0,22	1	1700	1760	3460
L-36	5,00	2,36	5,00	0,39	1	1750	1800	3560
L-37	5,00	2,02	5,00	0,34	1	1800	1850	3660
L-38	5,00	6,88	5,00	1,15	1	1850	1900	3760
L-39	5,00	11,49	5,00		1	1900	1950	3860
L-40	5,00	8,36	5,00	1,39	1	1950	2000	3960
L-41	5,00	4,89	5,00	0,81	1	2000	2050	4060
L-42	5,00	3,88	5,00	0,65	1	2050	2100	4160
L-43	4,00	3,61	4,00	0,72	1	2100	2140	4260
L-44	5,00	3,07	5,00	0,51	1	2150	2200	4360
L-45	5,00	4,45	5,00	0,74	1	2200	2250	4460
L-46	4,00	3,09	4,00	0,62	1	2250	2290	4560
L-47	5,00	3,19	5,00	0,53	1	2300	2350	4660
L-48	9,00	6,53	9,00	0,65	1	2350	2440	4760
L-49	9,00	6,83	9,00	0,68	1	2400	2480	4860
L-50	6,00	5,36	6,00	0,77	1	2450	2510	4960
L-51	6,00	5,40	6,00	0,77	1	2500	2560	5060
L-52	5,00	5,75	5,00	0,96	1	2550	2600	5160
L-53	5,00	5,91	5,00	0,99	1	2600	2650	5260
L-54	6,00	7,70	6,00	1,10	1	2650	2710	5360
L-55	6,00	11,85	6,00	1,69	1	2700	2760	5460
L-56	6,00	12,70	6,00	1,81	1	2750	2810	5560

INICIO

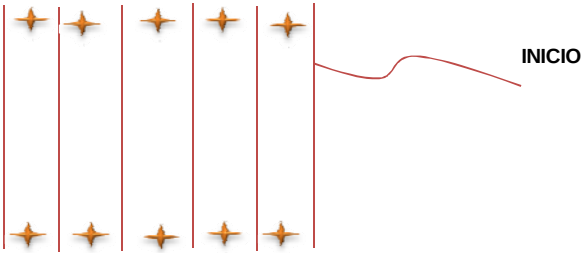
DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			43
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,00	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 2"	48,00	/BASE	
Nº de filas:	10	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,00	m	sub furação: 0,00 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	0,120	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,20	m	Média
Espaçamento :	0,50	m	
Afastamento:	0,50	m	
Carga Total:	5,76	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	0,480		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	0,80	m	
carga por espera:	0,240	kg	
Volume de Rocha:	12,00	m3	

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			43
			FOLHA:
			6 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

OBS:

CROQUI



DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			49
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	3,62 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	526,00 Unid			
Nº de filas:	32	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	3,62 m	sub furação:	0,50	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	5,144	KG	Média	
Altura da carga em metros:	2,038	m	Média	
Espaçamento :	2,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	2.705,74	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,710			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	2,09	m		
carga por espera:	14,96	kg		
Volume de Rocha:	3.812,04	m3		



ESQUEMA DE AMARRAÇÃO PLANO DE FOGO Nº 21 - ARERNA 2014 PE

DATA 04/04/11
HORA 15:00

LEGENDA

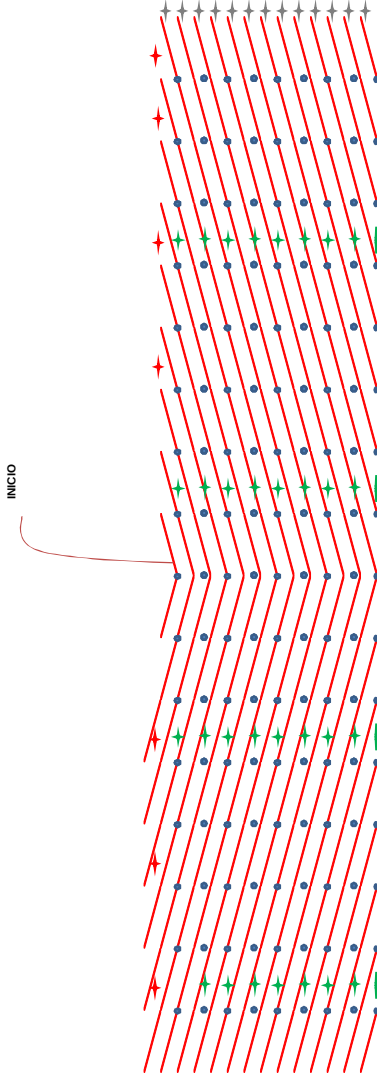
FURO
CORDEL NP- 10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

10ms
50ms
100ms

1,5x 3,0
14,95762
25,8

NORTE
↑

LINHA	Nº FUIROS	CARGA P/ LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	C/ ESPERA	Nº FUIROS p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DE ESPERA DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	16,00	79,38	8,00	8,82	2	2	80	
L-02	16,00	89,04	8,00	9,89	2	2	100	180
L-03	16,00	95,53	8,00	10,61	2	200	280	280
L-04	16,00	99,82	8,00	11,09	2	300	380	380
L-05	16,00	100,06	8,00	11,12	2	400	480	480
L-06	16,00	96,87	8,00	10,76	2	500	580	580
L-07	16,00	111,42	8,00	12,38	2	600	680	680
L-08	16,00	122,07	8,00	13,56	2	700	780	780
L-09	16,00	128,91	8,00	14,32	2	800	880	880
L-10	16,00	134,62	8,00	14,96	2	900	980	980
L-11	16,00	103,99	8,00	11,55	2	1000	1080	1080
L-12	16,00	114,19	8,00	12,69	2	1100	1180	1180
L-13	16,00	124,64	8,00	13,85	2	1200	1280	1280
L-14	16,00	110,32	8,00	12,26	2	1300	1380	1380
L-15	16,00	84,09	8,00	9,34	2	1400	1460	1460
L-16	16,00	61,42	8,00	6,82	2	1500	1560	1560
L-17	16,00	58,72	8,00	6,52	2	1600	1660	1660
L-18	16,00	60,62	8,00	6,76	2	1700	1760	1760
L-19	16,00	56,32	8,00	6,26	2	1800	1880	1880
L-20	16,00	60,88	8,00	6,76	2	1900	1980	1980
L-21	16,00	67,35	8,00	7,48	2	2000	2080	2080
L-22	16,00	76,59	8,00	8,51	2	2100	2180	2180
L-23	16,00	75,37	8,00	8,37	2	2200	2280	2280
L-24	16,00	78,26	8,00	8,70	2	2300	2380	2380
L-25	16,00	63,69	8,00	7,08	2	2400	2480	2480
L-26	16,00	67,09	8,00	7,45	2	2500	2580	2580
L-27	16,00	61,74	8,00	6,86	2	2600	2680	2680
L-28	16,00	57,71	8,00	6,41	2	2700	2780	2780
L-29	16,00	59,31	8,00	6,59	2	2800	2880	2880
L-30	16,00	61,59	8,00	6,84	2	2900	2980	2980
L-31	16,00	63,67	8,00	7,07	2	3000	3080	3080
L-32	16,00	47,09	8,00	5,23	2	3100	3180	3180
L-33	14,00	33,14	7,00	4,14	2	3200	3270	3280
TOTAL>>>>>>>	526,00	2705,74	263,00					

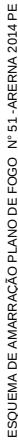


DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			50
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	1,75 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	180,00 Unid			
Nº de filas:	12	Unid		
Ângulo da Furação	15,00 graus			
Profundidade média:	1,75 m	sub furação:	0,00	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	0,833	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,200	m	Média	
Espaçamento :	0,80	m		
Afastamento:	0,80	m		
Carga Total:	90,85	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,451			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,55	m		
carga por espera:	0,50	kg		
Volume de Rocha:	201,60	m3		

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			51
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,92	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 3":	162,00	Unid	
Nº de filas:	16	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,92	m	sub furação: 0,00 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	0,922	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,37	m	Média
Espaçamento :	2,00	m	
Afastamento:	1,00	m	
Carga Total:	149,31	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	0,577		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	1,46	m	
carga por espera:	5,75	kg	
Volume de Rocha:	258,74	m3	



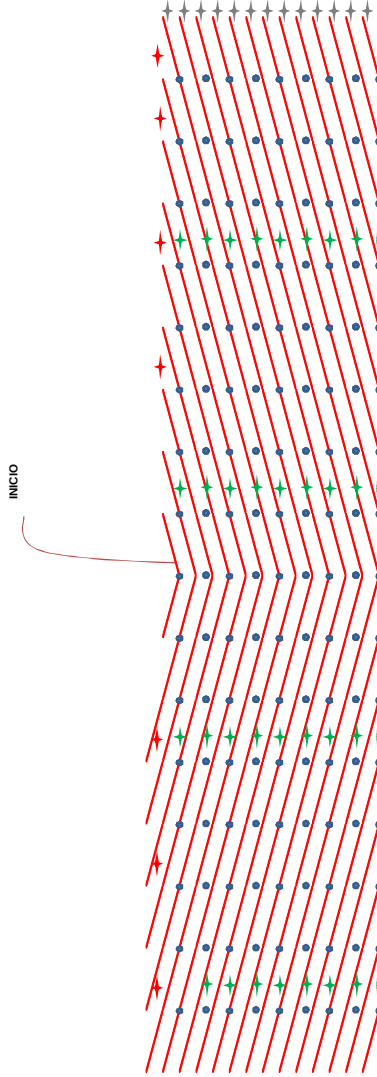
LEGENDA

RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2 M
MALHA DE PERF
MAIOR CARGA P
MAIOR CARGA D

0,8X0,8M
5,753765
24,9

MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA DESEJADA

INICIO



LINHA	Nº FUIROS	CARGA PI LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	CI ESPERA	Nº FUIROS pi retardado	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DIVISÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	10,00	11,36	1,00	5,68	5	10		
L-02	10,00	10,85	1,00	5,42	5	50	110	
L-03	10,00	11,07	1,00	5,54	5	100	210	
L-04	10,00	11,51	1,00	5,75	5	200	310	
L-05	10,00	8,21	1,00	4,10	5	300	410	
L-06	10,00	11,04	1,00	5,52	5	400	510	
L-07	10,00	7,29	1,00	3,65	5	500	610	
L-08	10,00	7,16	1,00	3,58	5	600	710	
L-09	10,00	7,56	1,00	3,78	5	700	810	
L-10	10,00	7,91	1,00	3,95	5	800	910	
L-11	10,00	9,96	1,00	4,98	5	900	1010	
L-12	10,00	10,01	1,00	5,00	5	1000	1110	
L-13	11,00	10,03	1,00	5,01	6	1100	1210	
L-14	10,00	9,04	1,00	4,52	5	1200	1310	
L-15	10,00	8,42	1,00	4,21	5	1300	1410	
L-16	11,00	7,90	1,00	3,95	6	1400	1510	
L-17	0,00	0,00	1,00	0,00	0	1500	1610	
L-18	0,00	0,00	1,00	0,00	0	1600	1710	
TOTAL>>>>>>	162,00	149,31	18,00					

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			52
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO		
Altura da Rocha:	1,50	m	
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA		
N.º de furos de 3":	92,00	Unid	
Nº de filas:	30	Unid	
Ângulo da Furação	15,00	graus	
Profundidade média:	1,50	m	sub furação: 0,00 m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa		
Quantidade:	1,514	KG	Média
Altura da carga em metros:	0,600	m	Média
Espaçamento :	2,00	m	
Afastamento:	1,00	m	
Carga Total:	139,30	kg	
Razão de carga (Kg/m ³)	1,030		
Tampão:	Argiloso		
Comprimento (m):	0,90	m	
carga por espera:	2,271	kg	
Volume de Rocha:	135,24	m3	

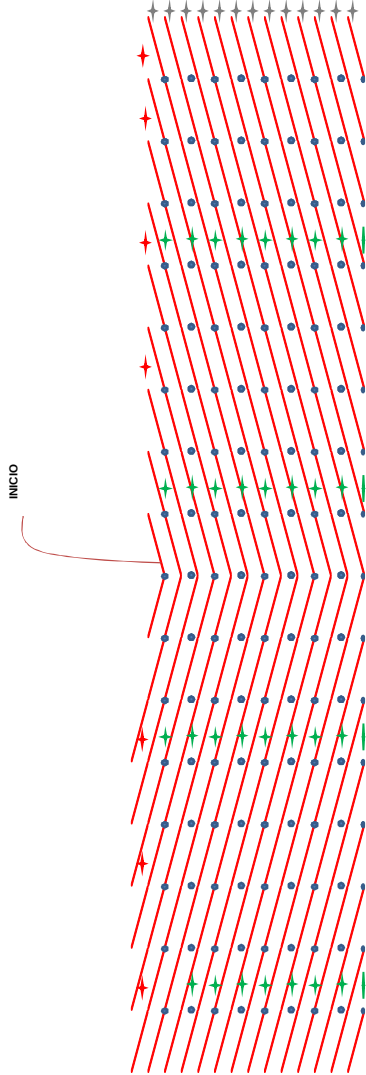


10ms	50ms	100ms
FUO CORDEL NP-10 RETARDO 10 MS RETARDO 50 MS RETARDO 100 MS		

100ms

MALHA DE PERFURAÇÃO	2,00 x 1,00
MAIOR CARGA P/ ESPERA	2,271273
MAIOR CARGA DESEJADA	25.8

INICIO



LINHA	Nº Furos	CARGA PI LINHA	CI ESPERA	Nº Furos pi retardo	SOMA DOS RETARDOS	
					ENTRE LINHAS	90 DIVISAO DAS LINHAS
L-01	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-02	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-03	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-04	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-05	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-06	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-07	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-08	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-09	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-10	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-11	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-12	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-13	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-14	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-15	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-16	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-17	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
L-18	3,00	4,54	1,00	2,27	2	10
TOTAL>>>>>>	54,00	81,77	18,00			

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			56
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	1,50 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	543,00 Unid			
Nº de filas:	109	Unid		
Profundidade média:	1,50 m	sub furação:	0,00	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	1,157	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,500	m	Média	
Espaçamento :	1,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	628,07	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,771			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,00	m		
carga por espera:	6,94	kg		
Volume de Rocha:	814,50	m3		
Volume de abafamento	2.443,50	m3		



ESQUEMA DE AMARRAÇÃO PLANO DE FOGO Nº 56 - ARERNA 2014 PE

DATA 17/12/11

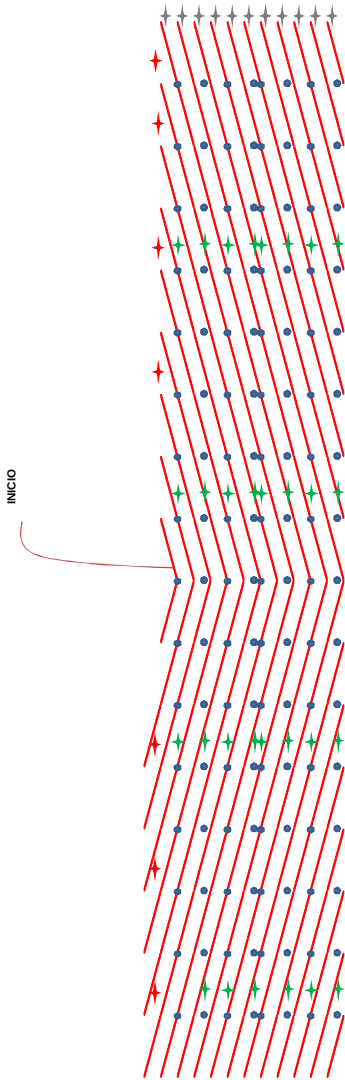
HORA 12:00

LEGENDA

FURO
CORDEL NP- 10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA ADMISSIVEL

NORTE
↑

LINHA	Nº FUIROS	CARGA P/ LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	C/ ESPERA	Nº FUIROS p/ RETARDO	SOMA DOS RETARDOS	
						ENTRE LINHAS	10 MS DE ESPERA DAS LINHAS
L-01	6,00	5,78		5,78	3	50	50,00
L-02	6,00	5,78		5,78	3	40	150
L-03	6,00	5,78		5,78	3	100	100
L-04	6,00	5,78		5,78	3	150	350
L-05	6,00	5,78		5,78	3	200	450
L-06	6,00	5,78		5,78	3	250	550
L-07	6,00	5,78		5,78	3	300	650
L-08	6,00	5,78		5,78	3	350	750
L-09	6,00	5,78		5,78	3	400	850
L-10	6,00	5,78		5,78	3	450	950
L-11	6,00	5,78		5,78	3	500	1050
L-12	6,00	5,78		5,78	3	550	1150
L-13	6,00	5,78		5,78	3	600	1250
L-14	6,00	5,78		5,78	3	650	1350
L-15	6,00	5,78		5,78	3	700	1450
L-16	6,00	5,78		5,78	3	750	1550
L-17	6,00	5,78		5,78	3	800	1650
L-18	6,00	5,78		5,78	3	850	1750
L-19	6,00	5,78		5,78	3	900	1850
L-20	6,00	5,78		5,78	3	950	1950
L-21	7,00	5,78		5,78	4	1000	2050
L-22	8,00	5,78		5,78	5	1050	2150
L-23	9,00	5,78		5,78	6	1100	2250
L-24	10,00	5,78		5,78	7	1150	2350
L-25	11,00	5,78		5,78	8	1200	2450
L-26	12,00	5,78		5,78	9	1250	2550
L-27	13,00	5,78		5,78	10	1300	2650
L-28	14,00	5,78		5,78	11	1350	2750
L-29	15,00	5,78		5,78	12	1400	2850
L-30	16,00	6,94		6,94	13	1450	2950
L-31	17,00	5,78		5,78	14	1500	3050
L-32	18,00	5,78		5,78	15	1550	3150
L-33	19,00	5,78		5,78	16	1600	3250
L-34	20,00	5,78		5,78	17	1650	3350
L-35	6,00	5,78		5,78	3	1000	2050
L-36	6,00	5,78		5,78	3	1050	2150
L-37	6,00	5,78		5,78	3	1100	2250
L-38	6,00	5,78		5,78	3	1150	2350
L-39	7,00	5,78		5,78	4	1200	2450
L-40	8,00	5,78		5,78	5	1250	2550
L-41	9,00	5,78		5,78	6	1300	2650
L-42	10,00	5,78		5,78	7	1350	2750
L-43	11,00	5,78		5,78	8	1400	2850
L-44	12,00	5,78		5,78	9	1450	2950
L-45	13,00	5,78		5,78	10	1500	3050
L-46	14,00	5,78		5,78	11	1550	3150
L-47	15,00	5,78		5,78	12	1600	3250
L-48	16,00	5,78		5,78	13	1650	3350
L-49	17,00	5,78		5,78	14	1700	3450
L-50	18,00	5,78		5,78	15	1050	2150
L-51	19,00	5,78		5,78	16	1100	2250
L-52	20,00	5,78		5,78	17	1150	2350
L-53	21,00	5,78		5,78	18	1200	2450
L-54	22,00	5,78		5,78	19	1250	2550
L-55	23,00	5,78		5,78	20	1300	2650
L-56	24,00	5,78		5,78	21	1350	2750



Comprehensive Project Performance Analysis - Q3 2023												
Project ID	Phase I: Planning & Design				Phase II: Development & Testing				Phase III: Deployment & Review			
	Task A	Task B	Task C	Task D	Task E	Task F	Task G	Task H	Task I	Task J	Task K	Task L
L-57	25.00	5.78	5.78	5.78	22	1400	1400	1400	2850			
L-58	26.00	5.78	5.78	5.78	23	1450	1450	1450	2950			
L-59	27.00	5.78	5.78	5.78	24	1500	1500	1500	3050			
L-60	28.00	5.78	5.78	5.78	25	1550	1550	1550	3150			
L-61	29.00	5.78	5.78	5.78	26	1600	1600	1600	3250			
L-62	30.00	5.78	5.78	5.78	27	1650	1650	1650	3350			
L-63	31.00	5.78	5.78	5.78	28	1700	1700	1700	3450			
L-64	32.00	5.78	5.78	5.78	29	1750	1750	1750	3550			
L-65	33.00	5.78	5.78	5.78	30	1800	1800	1800	3650			
L-66	34.00	5.78	5.78	5.78	31	1850	1850	1850	3750			
L-67	35.00	5.78	5.78	5.78	32	1900	1900	1900	3850			
L-68	36.00	5.78	5.78	5.78	33	1950	1950	1950	3950			
L-69	37.00	5.78	5.78	5.78	34	2000	2000	2000	4050			
L-70	38.00	5.78	5.78	5.78	35	2050	2050	2050	4150			
L-71	39.00	5.78	5.78	5.78	36	2100	2100	2100	4250			
L-72	40.00	5.78	5.78	5.78	37	2150	2150	2150	4350			
L-73	41.00	5.78	5.78	5.78	38	2200	2200	2200	4450			
L-74	42.00	5.78	5.78	5.78	39	2250	2250	2250	4550			
L-75	43.00	5.78	5.78	5.78	40	2300	2300	2300	4650			
L-76	44.00	5.78	5.78	5.78	41	2350	2350	2350	4750			
L-77	45.00	5.78	5.78	5.78	42	2400	2400	2400	4850			
L-78	46.00	5.78	5.78	5.78	43	2450	2450	2450	4950			
L-79	47.00	5.78	5.78	5.78	44	2500	2500	2500	5050			
L-80	48.00	5.78	5.78	5.78	45	2550	2550	2550	5150			
L-81	49.00	5.78	5.78	5.78	46	2600	2600	2600	5250			
L-82	50.00	5.78	5.78	5.78	47	2650	2650	2650	5350			
L-83	51.00	5.78	5.78	5.78	48	2700	2700	2700	5450			
L-84	52.00	5.78	5.78	5.78	49	2750	2750	2750	5550			
L-85	53.00	5.78	5.78	5.78	50	2800	2800	2800	5650			
L-86	54.00	5.78	5.78	5.78	51	2850	2850	2850	5750			
L-87	55.00	5.78	5.78	5.78	52	2900	2900	2900	5850			
L-88	56.00	5.78	5.78	5.78	53	2950	2950	2950	5950			
L-89	57.00	5.78	5.78	5.78	54	3000	3000	3000	6050			
L-90	58.00	5.78	5.78	5.78	55	3050	3050	3050	6150			
L-91	59.00	5.78	5.78	5.78	56	3100	3100	3100	6250			
L-92	60.00	5.78	5.78	5.78	57	3150	3150	3150	6350			
L-93	61.00	5.78	5.78	5.78	58	3200	3200	3200	6450			
L-94	62.00	5.78	5.78	5.78	59	3250	3250	3250	6550			
L-95	63.00	5.78	5.78	5.78	60	3300	3300	3300	6650			
L-96	64.00	5.78	5.78	5.78	61	3350	3350	3350	6750			
L-97	65.00	5.78	5.78	5.78	62	3400	3400	3400	6850			
L-98	66.00	5.78	5.78	5.78	63	3450	3450	3450	6950			
L-99	67.00	5.78	5.78	5.78	64	3500	3500	3500	7050			
L-100	68.00	5.78	5.78	5.78	65	3550	3550	3550	7150			
L-101	69.00	5.78	5.78	5.78	66	3600	3600	3600	7250			
L-102	70.00	5.78	5.78	5.78	67	3650	3650	3650	7350			
L-103	71.00	5.78	5.78	5.78	68	3700	3700	3700	7450			
L-104	72.00	5.78	5.78	5.78	69	3750	3750	3750	7550			
L-105	73.00	5.78	5.78	5.78	70	3800	3800	3800	7650			
L-106	74.00	5.78	5.78	5.78	71	3850	3850	3850	7750			
L-107	75.00	5.78	5.78	5.78	72	3900	3900	3900	7850			
L-108	76.00	5.78	5.78	5.78	73	3950	3950	3950	7950			
L-109	77.00	8.10	8.10	8.10	74	1900	1900	1900	3850			
TOTAL>>>												

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			58
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	2,00 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	110,00 Unid			
Nº de filas:	22	Unid		
Profundidade média:	2,00 m	sub furação:	0,00	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	1,157	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,500	m	Média	
Espaçamento :	1,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	127,23	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,578			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,50	m		
carga por espera:	4,63	kg		
Volume de Rocha:	220,00	m3		
Volume de abafamento	21,00	m3		

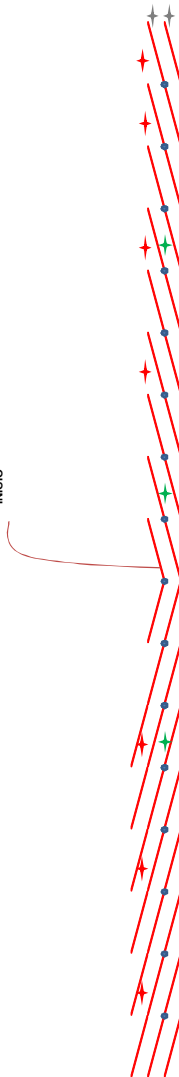


FURO
CORDEL NP- 10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2M
MALHA DE PERF
MAIOR CARGA P
MAIOR CARGA A

22,00

RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
RETARDO 100 MS
ESPOLETIN 1,2 M
MALHA DE PERF
MAIOR CARGA P
MAIOR CARGA A

INICIO



LINHA	Nº FUIROS	CARGA P/ LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	CI ESPERA	Nº FUIROS p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS DIVISÃO DAS LINHAS	100 MS DE SEGURANÇA
L-01	5 00	4,63	1,00	4,63	5	40,00		
L-02	5 00	4,63	1,00	4,63	5	50	140	
L-03	5 00	4,63	1,00	4,63	5	100	240	
L-04	5 00	4,63	1,00	4,63	5	150	340	
L-05	5 00	4,63	1,00	4,63	5	200	440	
L-06	5 00	4,63	1,00	4,63	5	250	540	
L-07	5 00	4,63	1,00	4,63	5	300	640	
L-08	5 00	4,63	1,00	4,63	5	350	740	
L-09	5 00	4,63	1,00	4,63	5	400	840	
L-10	5 00	4,63	1,00	4,63	5	450	940	
L-11	5 00	4,63	1,00	4,63	5	500	1040	
L-12	5 00	4,63	1,00	4,63	5	550	1140	
L-13	5 00	4,63	1,00	4,63	5	600	1240	
L-14	5 00	4,63	1,00	4,63	5	650	1340	
L-15	5 00	4,63	1,00	4,63	5	700	1440	
L-16	5 00	4,63	1,00	4,63	5	750	1540	
L-17	5 00	4,63	1,00	4,63	5	800	1640	
L-18	5 00	4,63	1,00	4,63	5	850	1740	
L-19	5 00	4,63	1,00	4,63	5	900	1840	
L-20	5 00	4,63	1,00	4,63	5	950	1940	
L-21	5 00	4,63	1,00	4,63	5	1000	2040	
L-22	5 00	4,63	1,00	4,63	5	1050	2140	
TOTAL>>>>>>	110,00	32,39	22,00	14,7				

DETEX	MEMORIAL DESCRITIVO RELATORIO DE PLANO DE FOGO		Nº DO DOCUMENTO
			59
			FOLHA:
			5 de 6
CLIENTE:	CONTRATO:	OBRA:	
CNO		ARENA PERNAMBUCO	

Localização do fogo	OBRA ARENA PERNAMBUCO			
Altura da Rocha:	1,80 m			
Tipo de Rocha:	GRANÍTICA			
N.º de furos de 3”:	270,00 Unid			
Nº de filas:	90	Unid		
Profundidade média:	1,80 m	sub furação:	0,00	m
Carga de fundo (tipo):	Gelatinosa			
Quantidade:	1,388	KG	Média	
Altura da carga em metros:	0,600	m	Média	
Espaçamento :	2,00	m		
Afastamento:	1,00	m		
Carga Total:	374,76	kg		
Razão de carga (Kg/m³)	0,386			
Tampão:	Argiloso			
Comprimento (m):	1,20	m		
carga por espera:	4,16	kg		
Volume de Rocha:	972,00	m3		
Volume de abafamento	340,00	m3		



ESQUEMA DE AMARRAÇÃO PLANO DE FOGO Nº 59- ARERNA 2014 PE

DATA 28/12/11
HORA 12:00

LEGENDA

FURO
CORDEL NP-10
RETARDO 10 MS
RETARDO 50 MS
ESPOLÉTIN 1.2M
MALHA DE PERFURAÇÃO
MAIOR CARGA P/ ESPERA
MAIOR CARGA ADMISSÍVEL

89,00
2.0X1,0M
4,16
11,33



INICIO

LINHA	Nº Furos	CARGA P/ LINHA	Nº RETARDOS 10 MS	C/ ESPERA	Nº Furos p/ retardo	SOMA DOS RETARDOS	
						ENTRE LINHAS	10 MS DAS LINHAS 100 MS DE SEGURANÇA
1	3,00	4,16	1,00	4,16	3	3	20,00
2	3,00	4,16	1,00	4,16	3	50	120
3	3,00	4,16	1,00	4,16	3	100	220
4	3,00	4,16	1,00	4,16	3	150	320
5	3,00	4,16	1,00	4,16	3	200	420
6	3,00	4,16	1,00	4,16	3	250	520
7	3,00	4,16	1,00	4,16	3	300	620
8	3,00	4,16	1,00	4,16	3	350	720
9	3,00	4,16	1,00	4,16	3	400	820
10	3,00	4,16	1,00	4,16	3	450	920
11	3,00	4,16	1,00	4,16	3	500	1020
12	3,00	4,16	1,00	4,16	3	550	1120
13	3,00	4,16	1,00	4,16	3	600	1220
14	3,00	4,16	1,00	4,16	3	650	1320
15	3,00	4,16	1,00	4,16	3	700	1420
16	3,00	4,16	1,00	4,16	3	750	1520
17	3,00	4,16	1,00	4,16	3	800	1620
18	3,00	4,16	1,00	4,16	3	850	1720
19	3,00	4,16	1,00	4,16	3	900	1820
20	3,00	4,16	1,00	4,16	3	950	1920
21	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1000	2020
22	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1050	2120
23	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1100	2220
24	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1150	2320
25	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1200	2420
26	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1250	2520
27	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1300	2620
28	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1350	2720
29	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1400	2820
30	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1450	2920
31	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1500	3020
32	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1550	3120
33	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1600	3220
34	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1650	3320
35	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1700	3420
36	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1750	3520
37	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1800	3620
38	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1850	3720
39	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1900	3820
40	3,00	4,16	1,00	4,16	3	1950	3920
41	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2000	4020
42	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2050	4120
43	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2100	4220
44	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2150	4320
45	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2200	4420
46	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2250	4520
47	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2300	4620
48	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2350	4720
49	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2400	4820
50	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2450	4920
51	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2500	5020
52	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2550	5120
53	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2600	5220
54	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2650	5320
55	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2700	5420
56	3,00	4,16	1,00	4,16	3	2750	5520

LINHA	N° FUROS	CARGA P/ LINHA	N° RETARDOS 10 MS	C/ESPERA	N° FUROS P/REARDO	SOMA DOS RETARDOS		
						ENTRE LINHAS	10 MS	100 MS DE SEGURANÇA
57	3.00	4.16	1.00	4.16	3	2800	2810	5620
58	3.00	4.16	1.00	4.16	3	2850	2860	5720
59	3.00	4.16	1.00	4.16	3	2900	2910	5820
60	3.00	4.16	1.00	4.16	3	2950	2960	5920
61	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3000	3010	6020
62	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3050	3060	6120
63	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3100	3110	6220
64	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3150	3160	6320
65	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3200	3210	6420
66	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3250	3260	6520
67	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3300	3310	6620
68	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3350	3360	6720
69	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3400	3410	6820
70	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3450	3460	6920
71	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3500	3510	7020
72	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3550	3560	7120
73	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3600	3610	7220
74	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3650	3660	7320
75	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3700	3710	7420
76	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3750	3760	7520
77	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3800	3810	7620
78	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3850	3860	7720
79	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3900	3910	7820
80	3.00	4.16	1.00	4.16	3	3950	3960	7920
81	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4000	4010	8020
82	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4050	4060	8120
83	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4100	4110	8220
84	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4150	4160	8320
85	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4200	4210	8420
86	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4250	4260	8520
87	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4300	4310	8620
88	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4350	4360	8720
89	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4400	4410	8820
90	3.00	4.16	1.00	4.16	3	4450	4460	8920
TOTAL<=====	270.00	374.76	90.00	374.76	270.00			

ANEXO B – Resumo dos Sismogramas

SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 06/20/2011 **Time:** 15:22:38
Event: 87 **Record Time:** 5,0 s
Client: ARENA PE
Operation: MONITORA DESMONTE
Location: MARG COMUNIDADE
Distance: 450,
Operator: LACAM UFPE
Comment: FOGO CONFINADO
Trigger Level: 0,13 mm/s
81 db

SN: 8877 v3.22 Event: 87
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,16 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

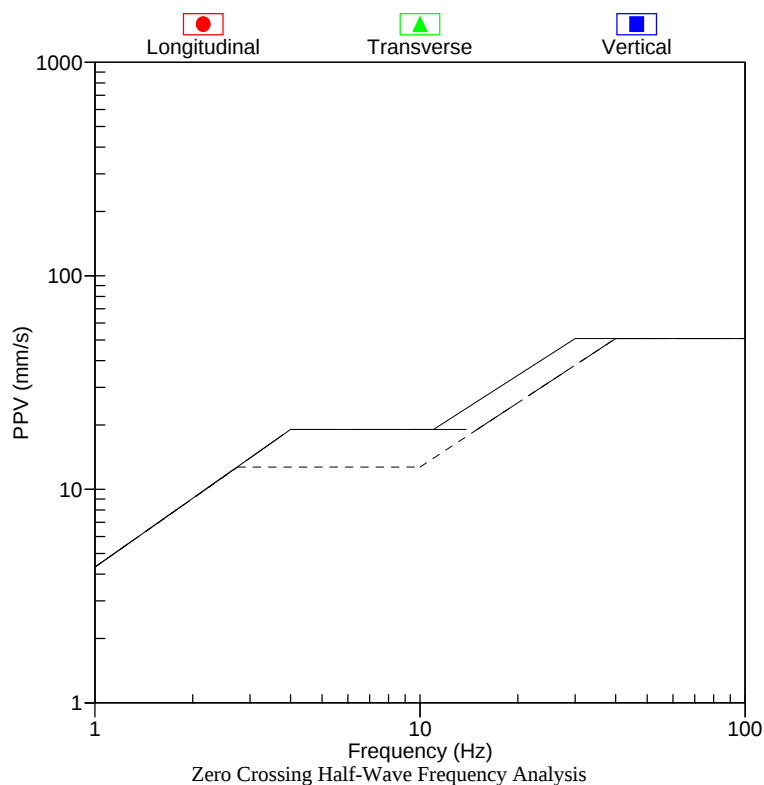
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	0,06	0,13	0,13
PD (.01mm)	0,17	0,13	0,31
PPA (g)	0,013	0,013	0,013
FREQ (Hz)	62,5	250,0	15,6
Resultant PPV:	0,13 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	101 db		
	0,0 psi		

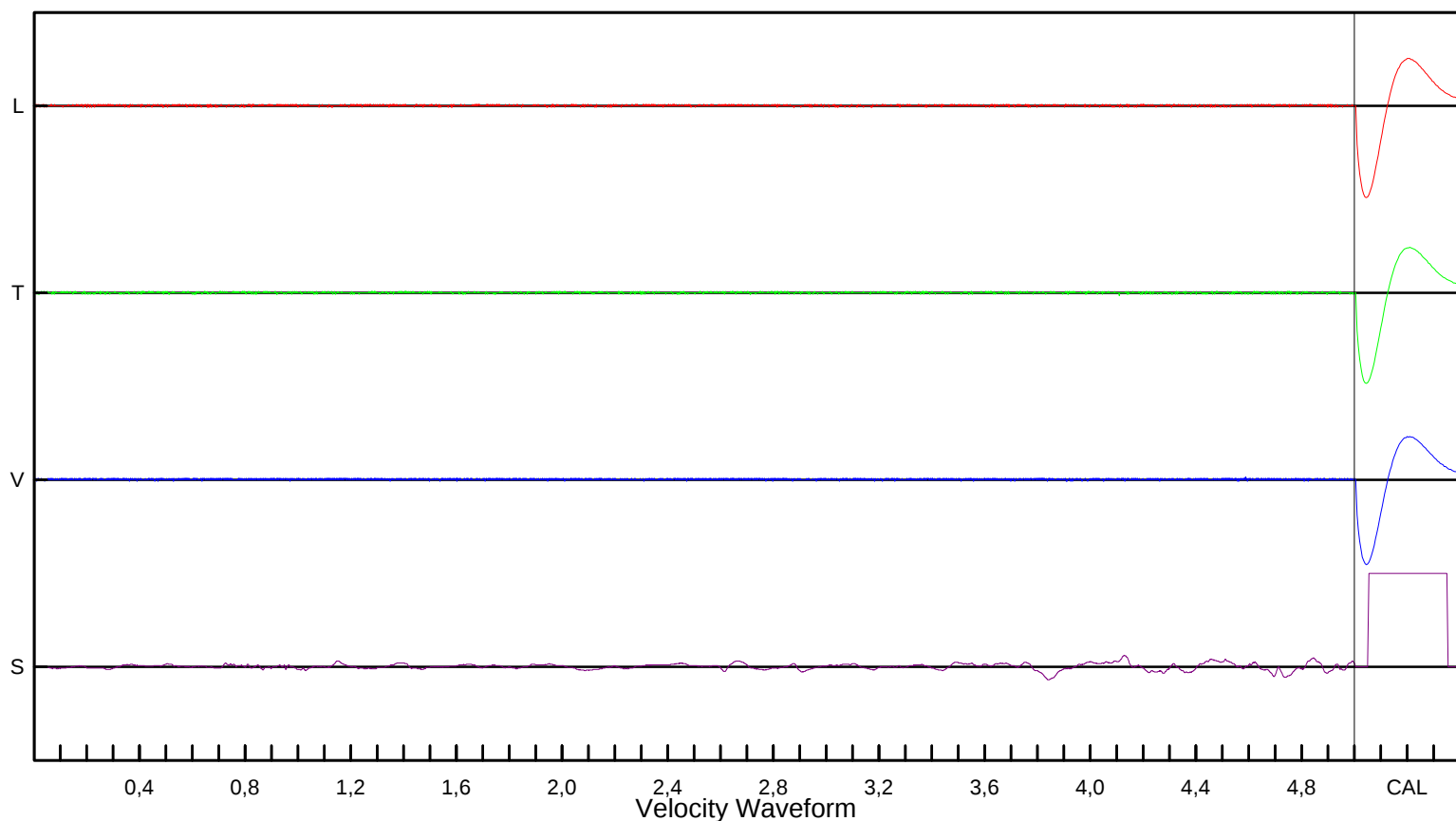
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 06/03/2010

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 87



SN: 7025
Date: 07/07/2011 **Time:** 15:29:43
Event: 004 **Record Time:** 5,0 s
Client: Arena Pernambuco
Operation: Monitoramento sismica
Location: margem comunidade
Distance: 149, m
Operator: LACAM UFPE
Comment: 2HZ:Fogo confinado
Trigger Level: 0,04 mm/s
 106 db

SN: 7025 Event: 004
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

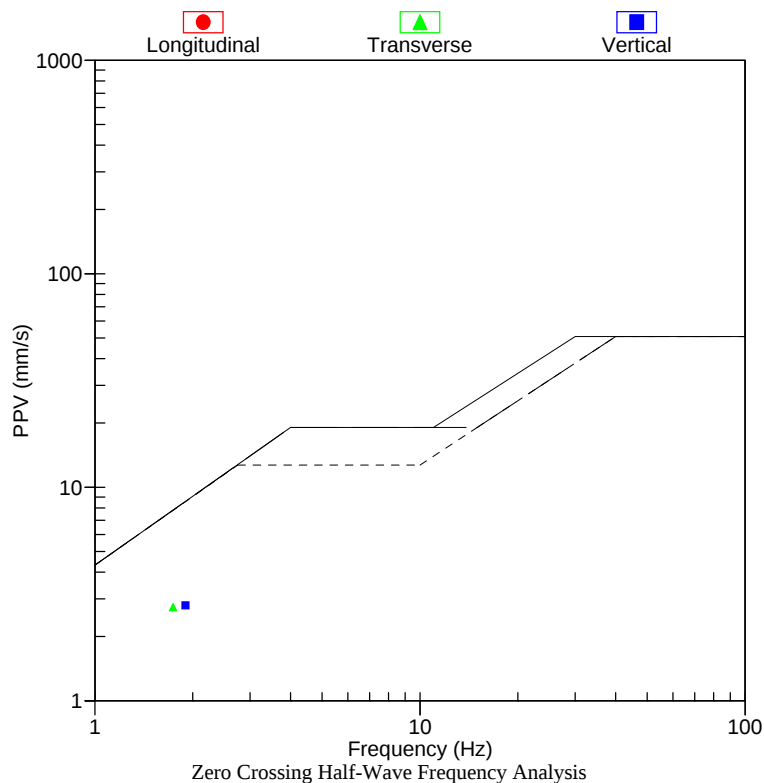
Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0.100 s
 Seismic = +/- 0,16 mm/s
 Sound = +/- 16.00 Pa

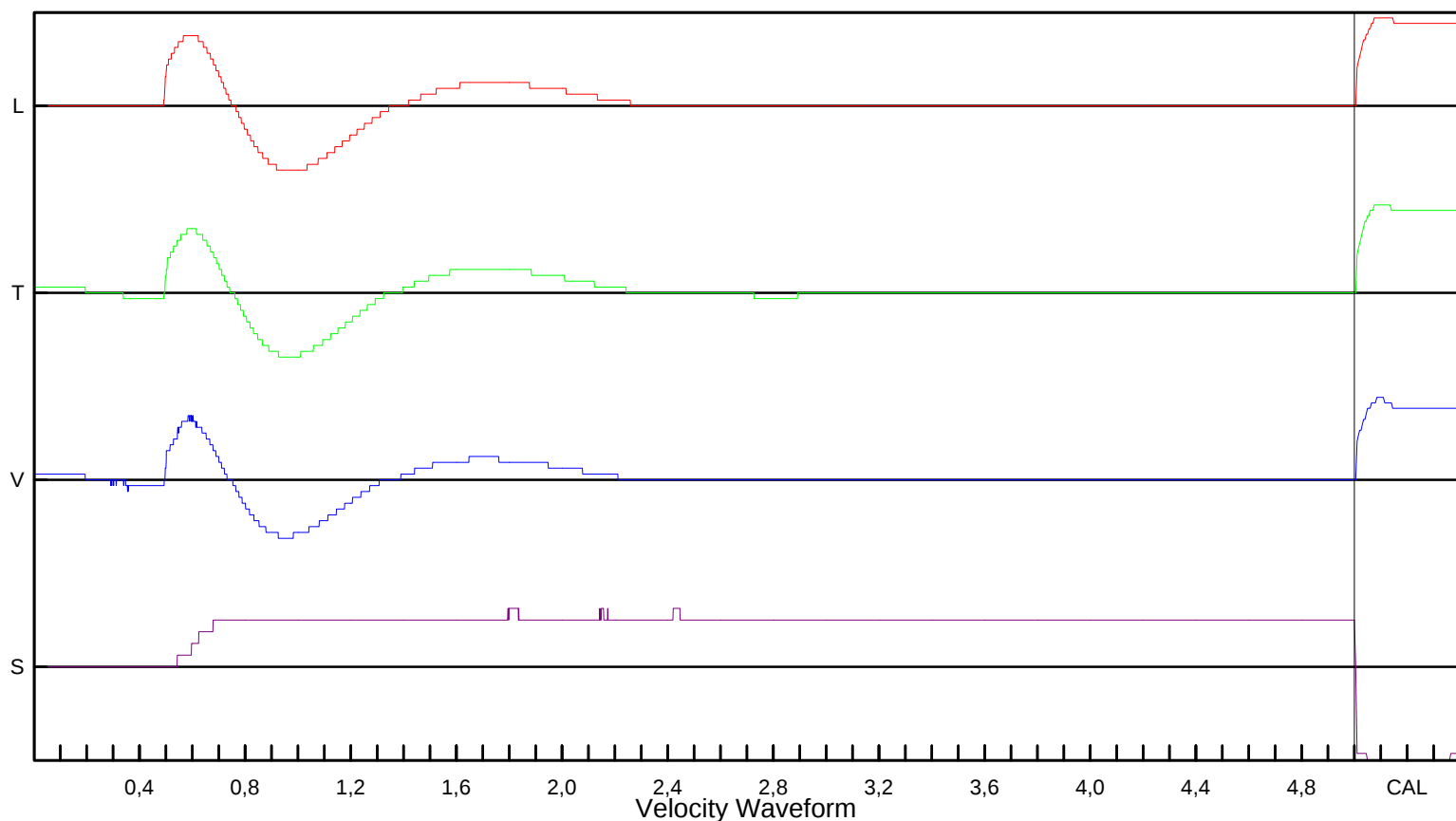
	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	3,048	2,794	2,794
PD (.01mm)	51,7652	49,1236	43,307
PPA (g)	0,020	0,050	0,050
FREQ (Hz)	,7	,9	1,9
Resultant PPV:	5,08 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	114 db		
	10.00 Pa		

Shaketable Calibrated: 05/18/2011

By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 7025 Event: 004



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 07/26/2011 **Time:** 15:23:53
Event: 5 **Record Time:** 5,0 s
Client: ARENA PE DETEX
Operation: MONITORA DESMONTE
Location: MARG COMUNIDADE
Distance: 450,
Operator: LACAM UFPE
Comment: FOGO CONFINADO
Trigger Level: 0,13 mm/s
81 db

SN: 8877 v3.22 Event: 5
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,16 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

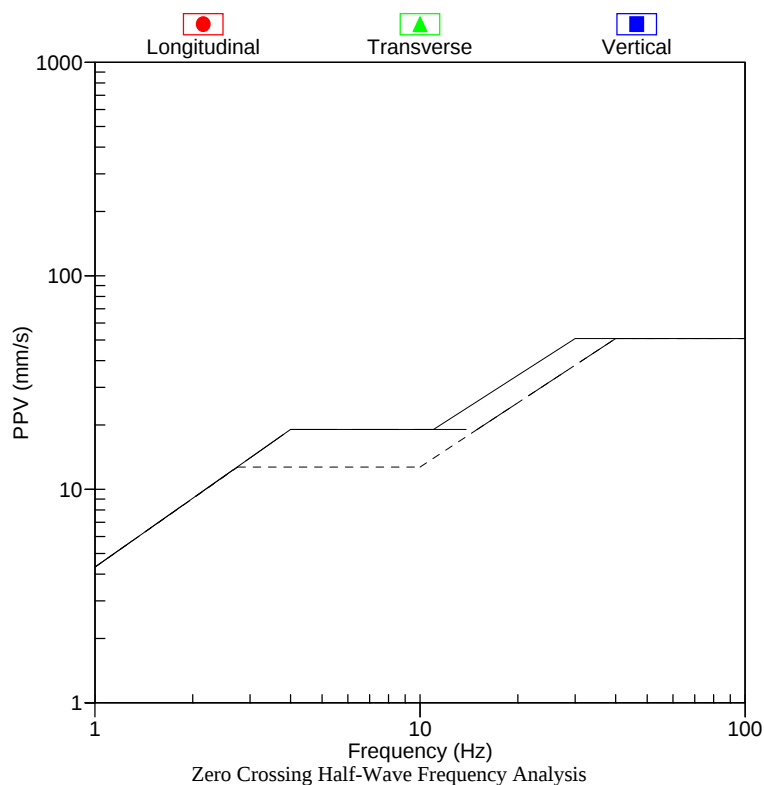
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	0,19	0,13	0,13
PD (.01mm)	0,53	0,27	0,21
PPA (g)	0,013	0,013	0,013
FREQ (Hz)	35,7	3,8	2,6
Resultant PPV:	0,25 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	81 db		
	0,0 psi		

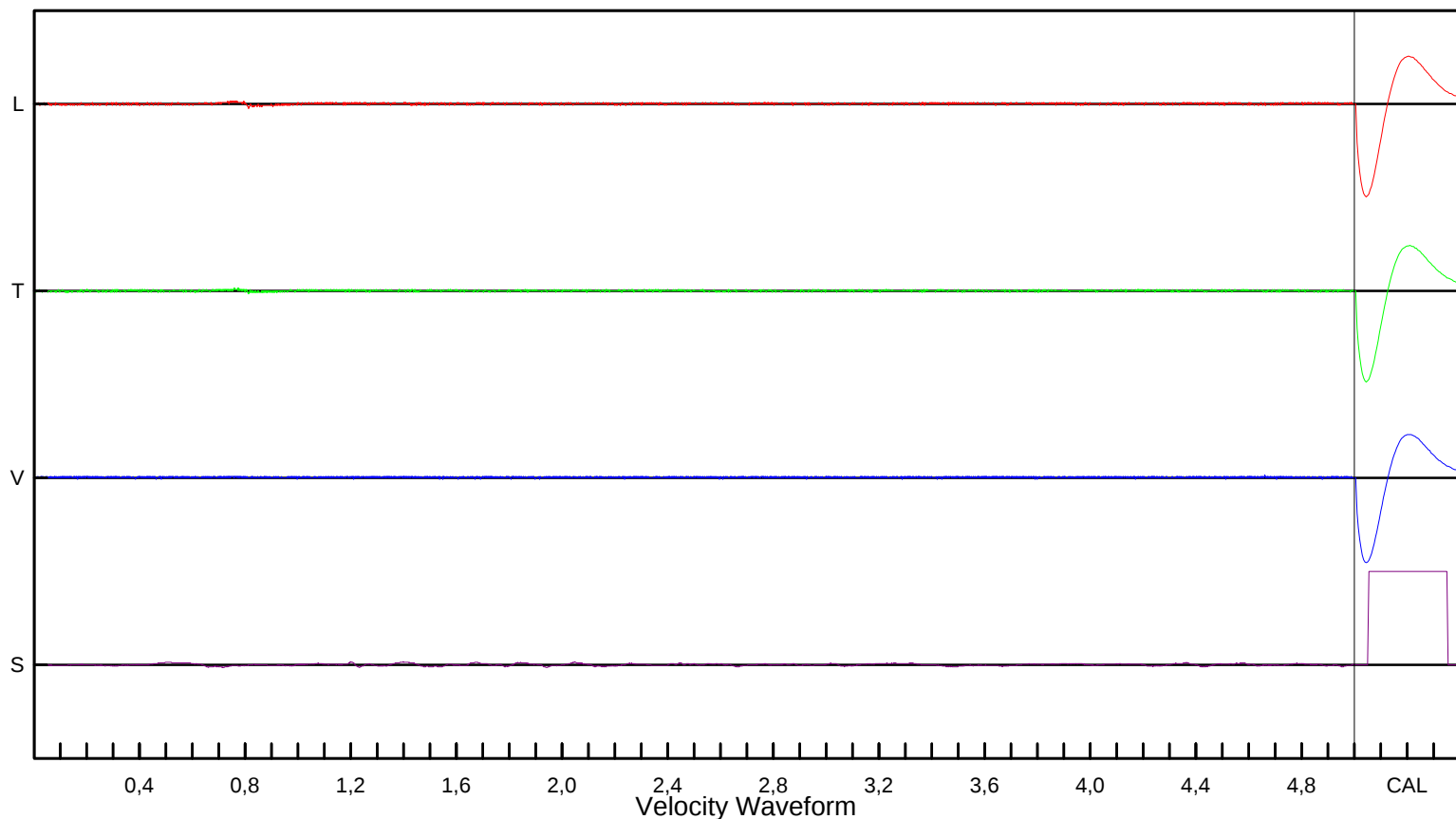
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 5



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 09/22/2011 **Time:** 15:11:13
Event: 11 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: MONITORA DESMONTE
Location: RESIDENCIA
Distance: 422,
Operator: LACAM UFPE
Comment: DESMONTE CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
81 db

SN: 8877 v3.22 Event: 11
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,16 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

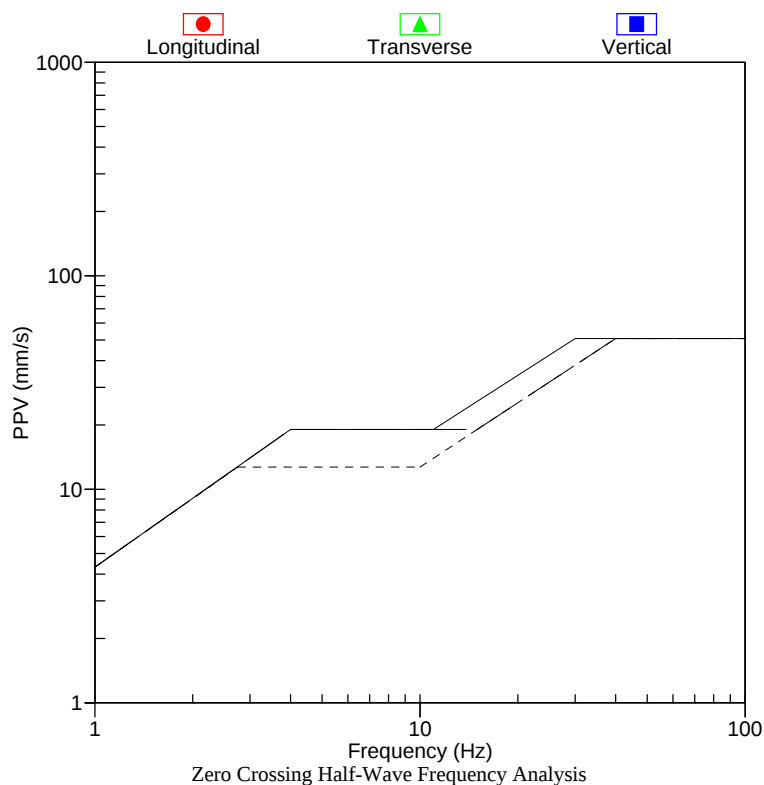
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	0,13	0,13	0,13
PD (.01mm)	0,14	0,12	0,18
PPA (g)	0,020	0,013	0,013
FREQ (Hz)	11,1	4,3	,9
Resultant PPV:	0,19 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	81 db		
	0,0 psi		

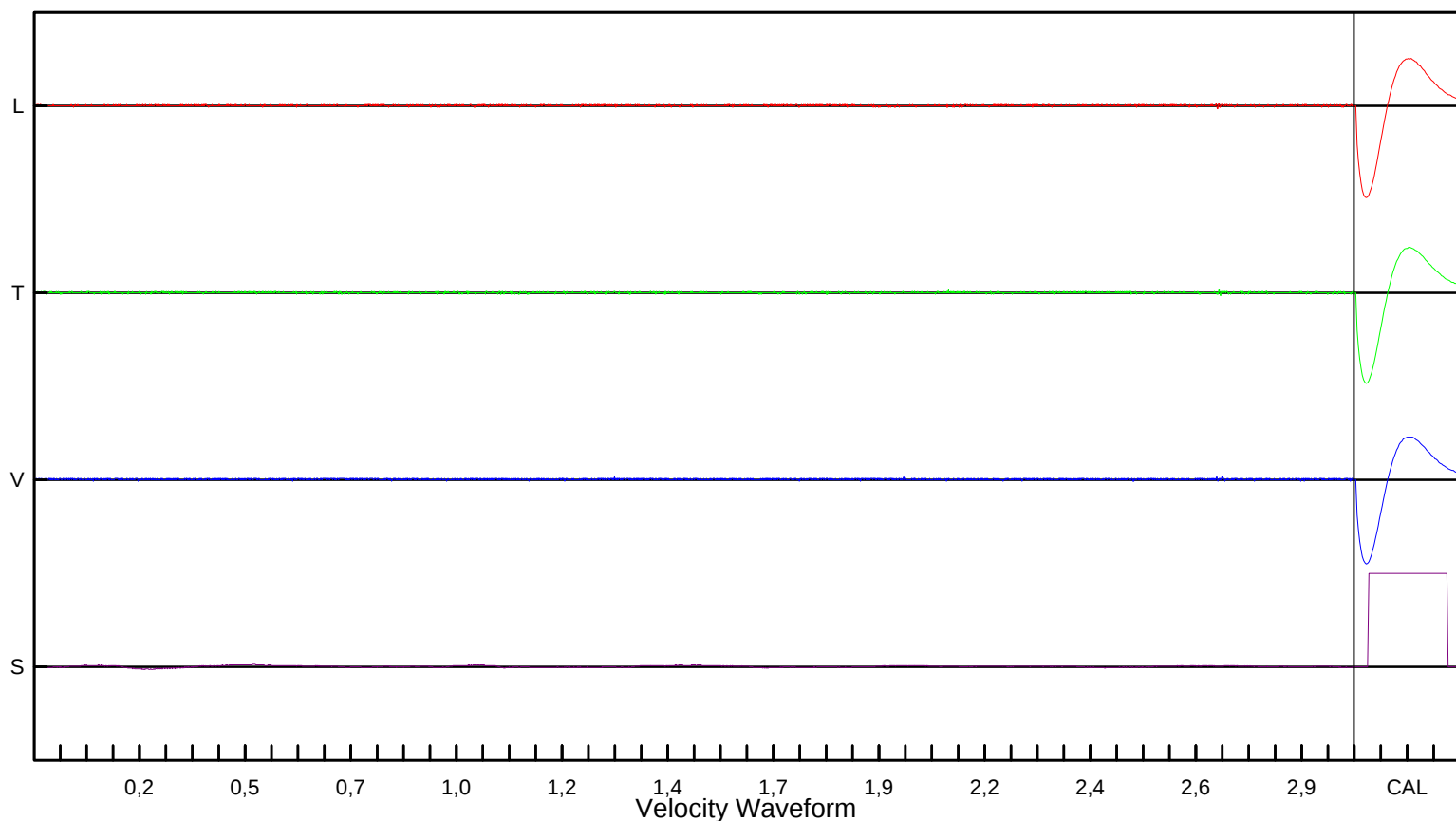
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 11



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 11/14/2011 **Time:** 15:13:23
Event: 54 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: MONITORA DESMONTE
Location: SAPATA
Distance: 86,
Operator: LACAM UFPE
Comment: DESMONTE CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
134 db

SN: 8877 v3.22 Event: 54
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

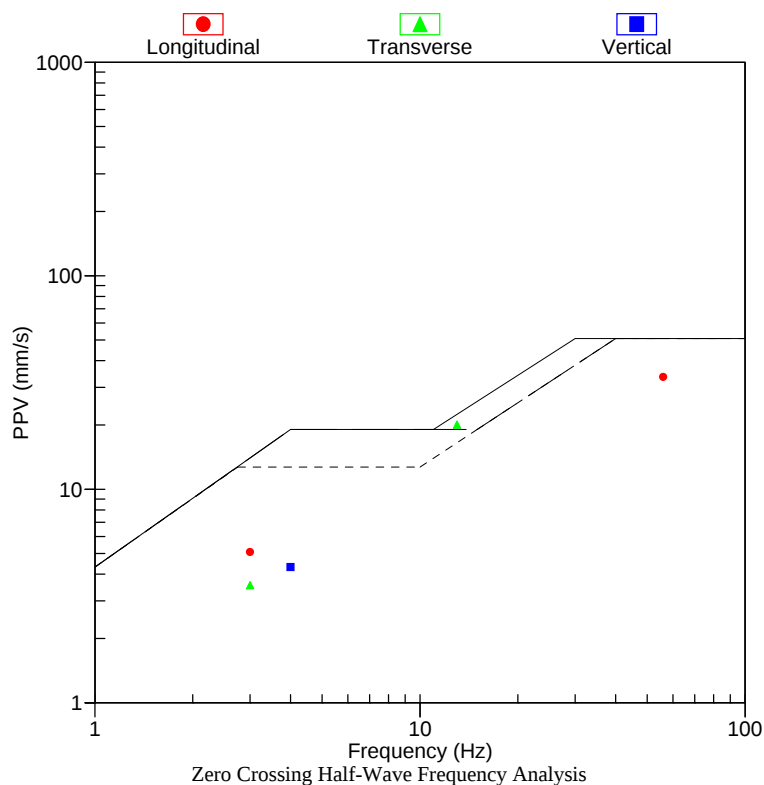
Time = 0,100 s
Seismic = +/- 2,56 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	33,59	20,07	4,32
PD (.01mm)	10,29	5,17	0,95
PPA (g)	1,810	1,263	0,339
FREQ (Hz)	55,6	12,8	3,0
Resultant PPV:	39,31 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	82 db		
	0,0 psi		

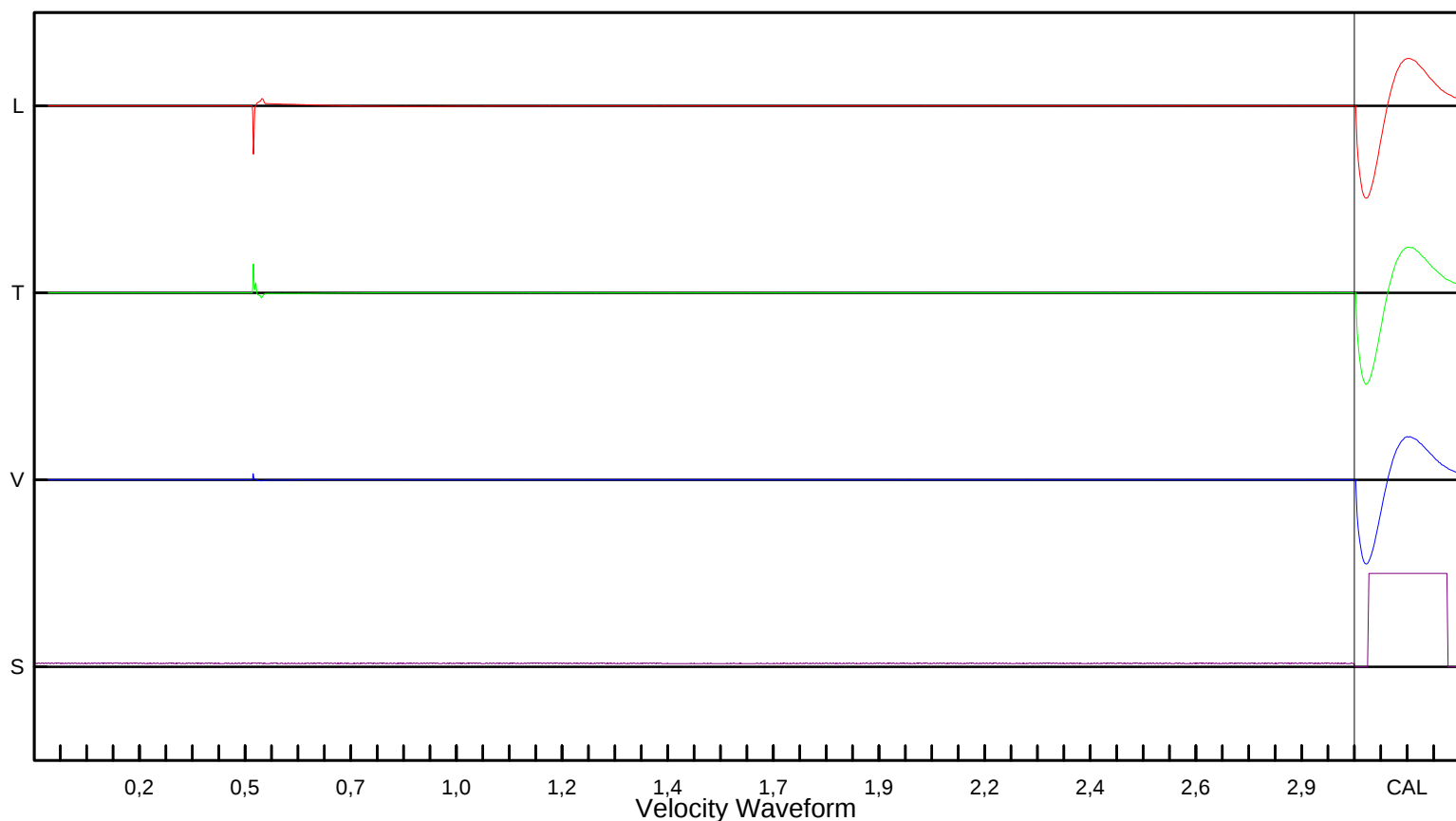
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 54



SN: 7024
Date: 11/14/2011 **Time:** 14:44:39
Event: 002 **Record Time:** 5,0 s
Client: DETEX Ltda
Operation: Monitoramento sismografic
Location: Residencia
Distance: 174, m
Operator: LACAM
Comment: 2HZ:Desmonte confinado
Trigger Level: 0,04 mm/s
134 db

SN: 7024 Event: 002
 OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

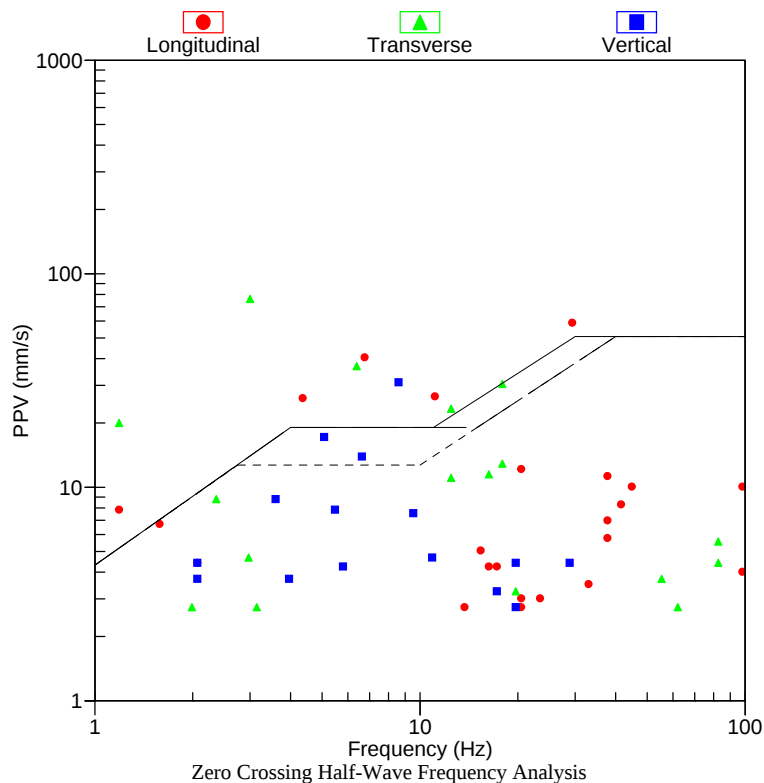
Time = 0.100 s
 Seismic = +/- 5,12 mm/s
 Sound = +/- 16.00 Pa

Summary Data

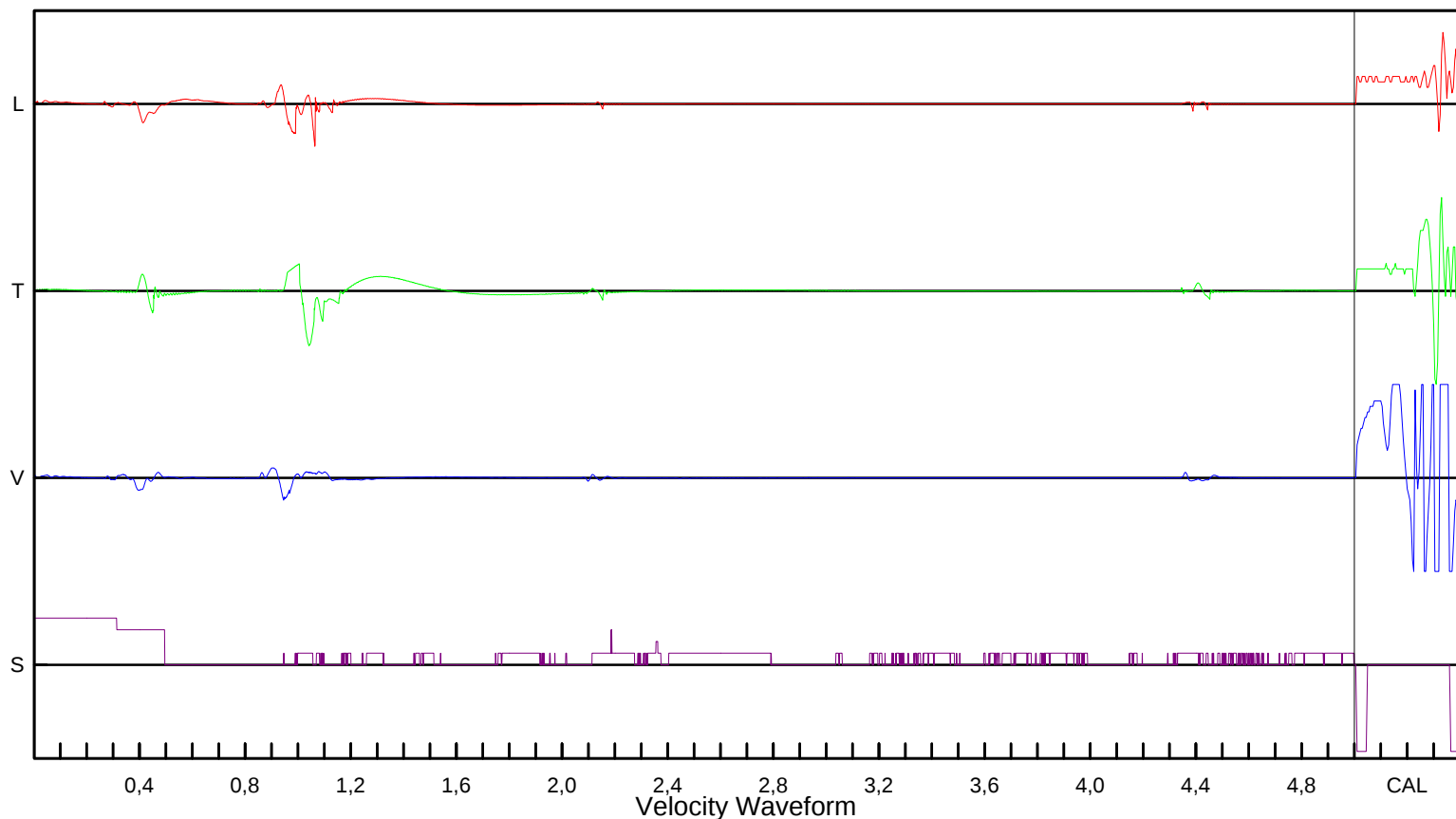
	L	T	V
PPV (mm/s)	58,928	76,2	30,988
PD (.01mm)	99,8474	231,9528	58,7756
PPA (g)	6,690	2,650	0,440
FREQ (Hz)	29,4	3,0	8,6
Resultant PPV:	77,22 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	112 db		
	8.00 Pa		

Shaketable Calibrated: 05/18/2011

By: GeoSonics Inc.
 359 Northgate Drive
 Warrendale, PA 15086 U.S.A.
 TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 7024 Event: 002



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 11/19/2011 **Time:** 15:18:18
Event: 57 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: MONITORA DESMONTE
Location: SAPATA
Distance: 5,
Operator: LACAM UFPE
Comment: DESMONTE CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
134 db

SN: 8877 v3.22 Event: 57
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 5,12 mm/s
Sound = +/- 0,0023 psi

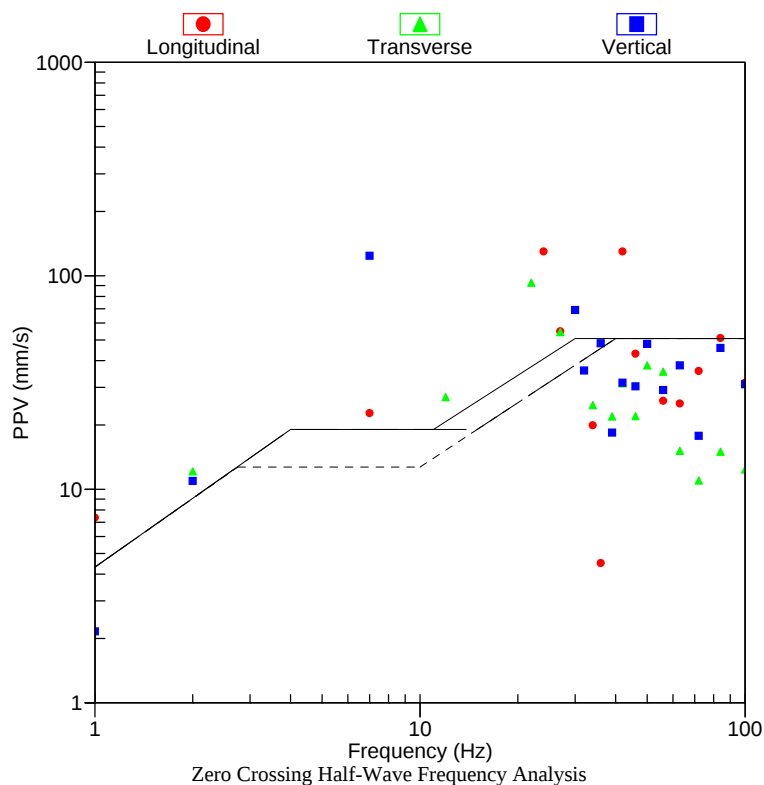
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	129,98	92,71	123,89
PD (.01mm)	138,16	116,59	110,73
PPA (g)	6,934	2,598	4,668
FREQ (Hz)	23,8	21,7	6,1
Resultant PPV:	152,97 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	108 db		
	0,0 psi		

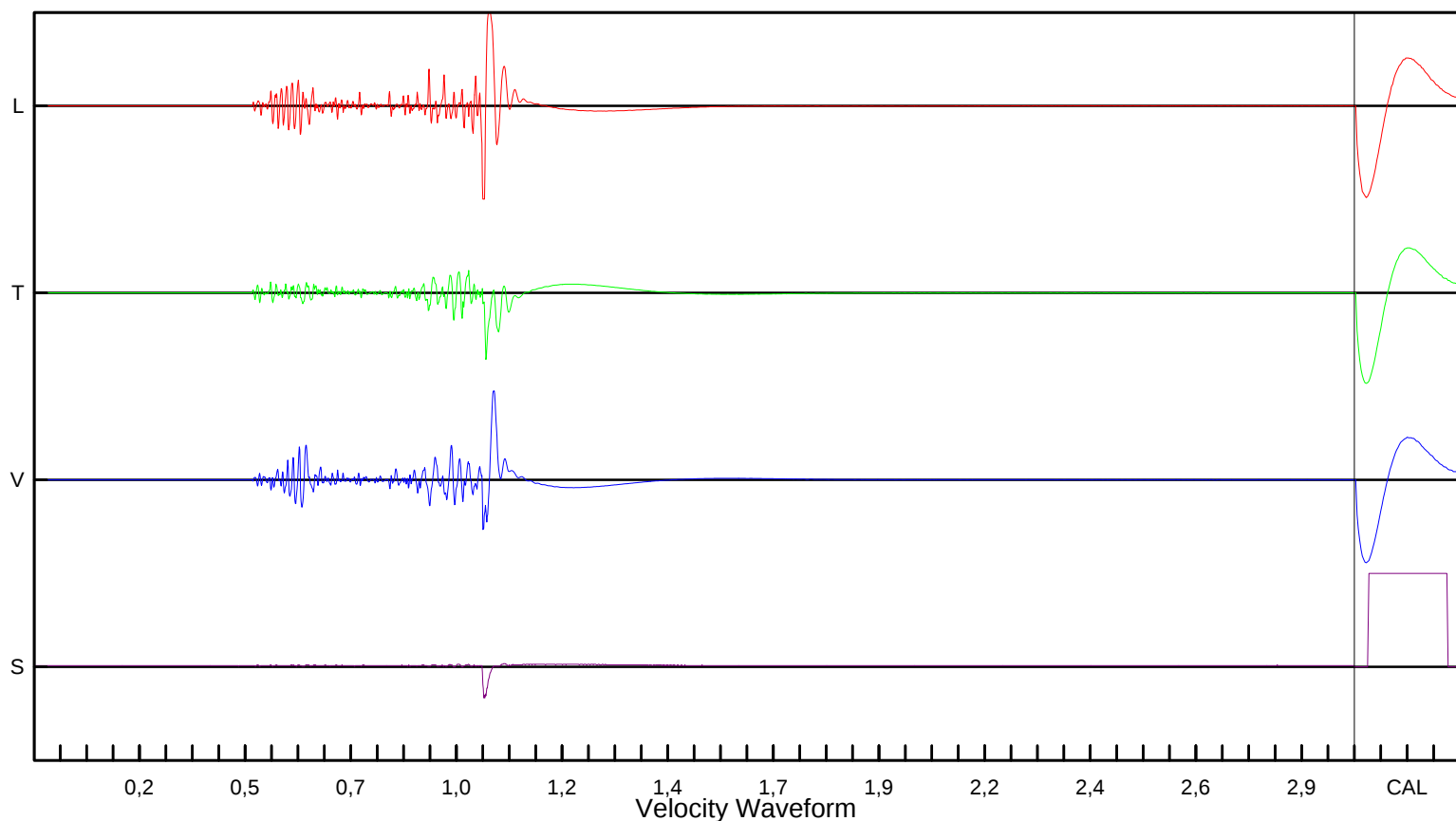
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 57



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 12/20/2011 **Time:** 13:09:39
Event: 59 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: SISMICA
Location: RAMPA SUDOESTE
Distance: 76,
Operator: LACAM UFPE
Comment: FOGO CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
134 db

SN: 8877 v3.22 Event: 59
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,16 mm/s
Sound = +/- 0,0363 psi

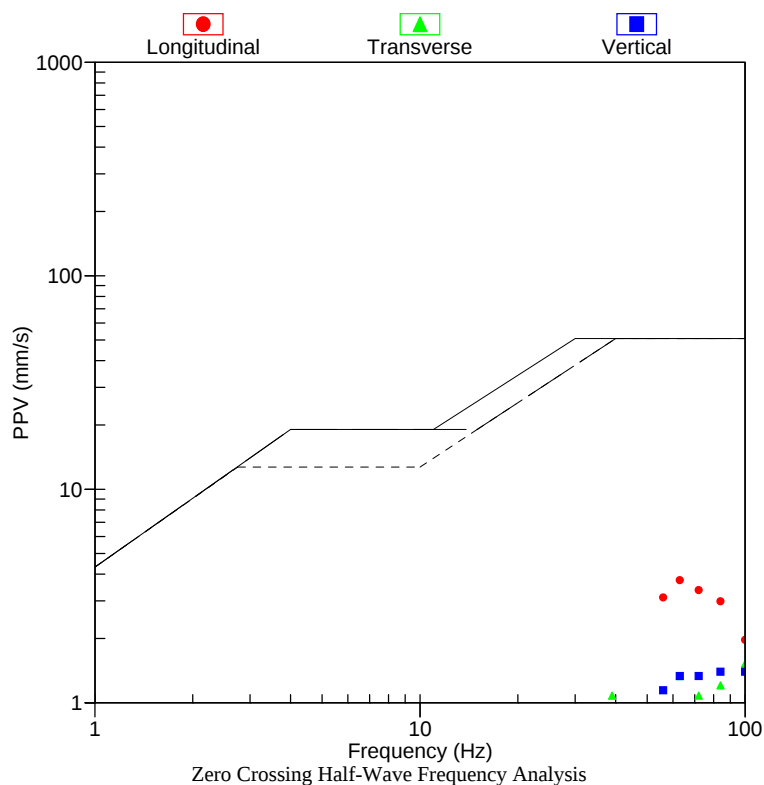
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	3,75	1,52	1,4
PD (.01mm)	1,04	0,41	0,42
PPA (g)	0,169	0,091	0,104
FREQ (Hz)	62,5	100,0	100,0
Resultant PPV:	4,00 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	138 db		
	0,0 psi		

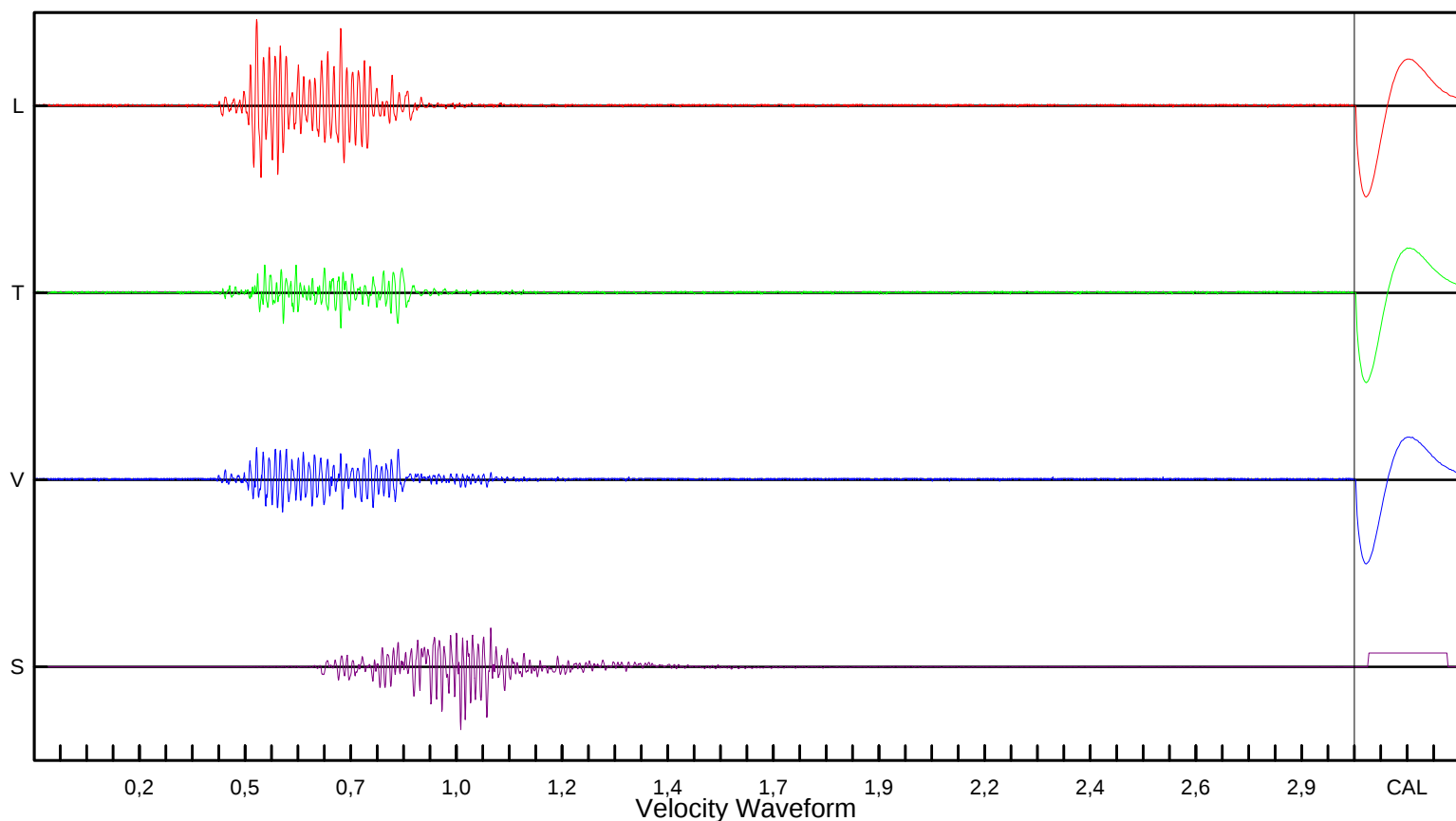
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 59



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 12/28/2011 **Time:** 12:04:13
Event: 61 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: SISMICA
Location: SAPATA
Distance: 39,
Operator: LACAM UFPE
Comment: FOGO CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
134 db

SN: 8877 v3.22 Event: 61
OSM/USBM Safe Blasting Levels

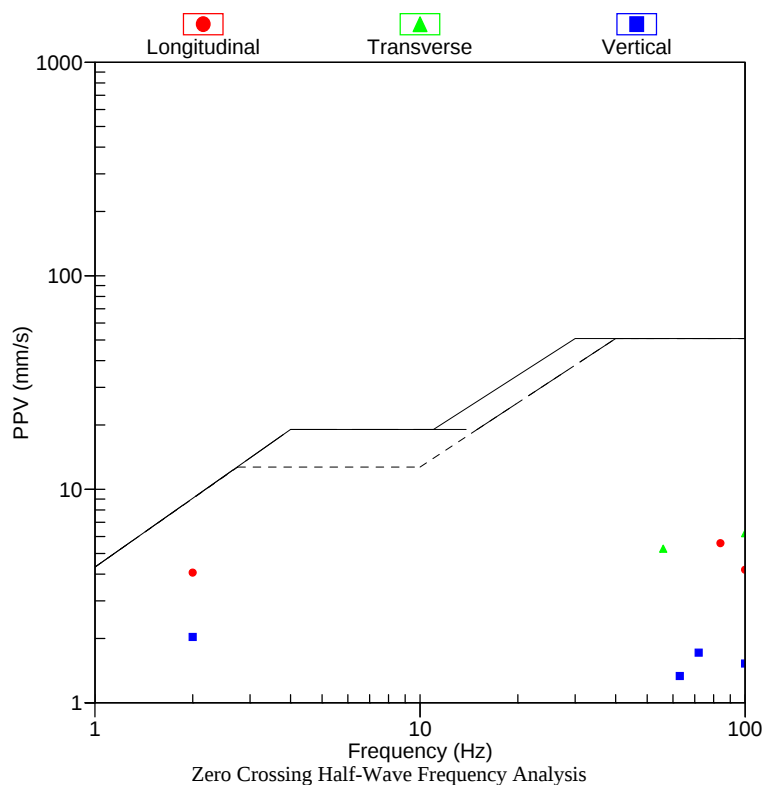
Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,32 mm/s
Sound = +/- 0,0091 psi

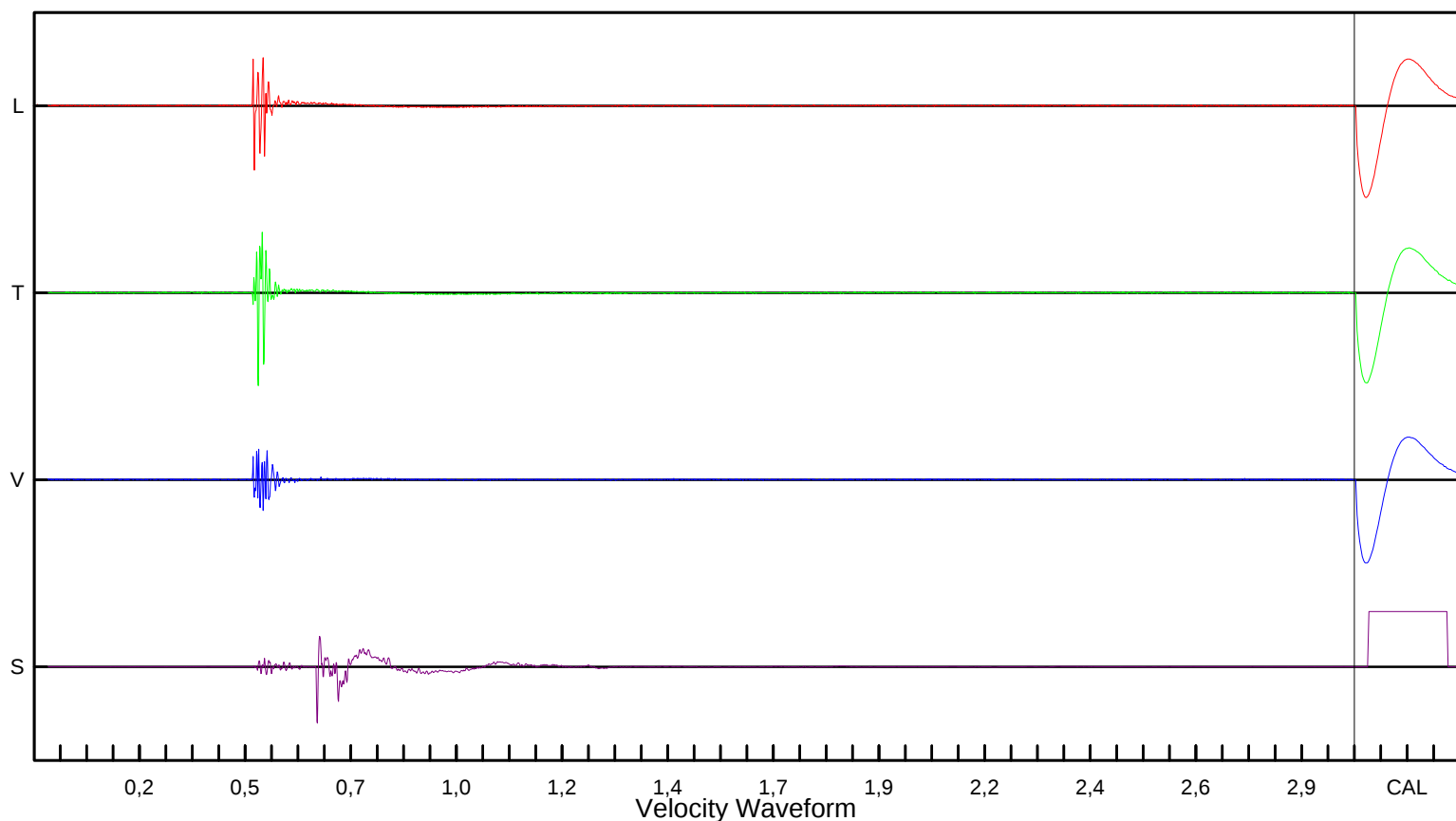
	Summary Data		
	L	T	V
PPV (mm/s)	5,59	8,06	2,67
PD (.01mm)	2,25	2,69	0,51
PPA (g)	0,547	0,599	0,299
FREQ (Hz)	83,3	125,0	166,7
Resultant PPV:	8,64 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	126 db		
	0,0 psi		

Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011
By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 61



SN: 8877 **Firmware:** v3.22
Date: 12/28/2011 **Time:** 12:18:04
Event: 63 **Record Time:** 3,0 s
Client: DETEX ARENA PE
Operation: SISMICA
Location: SAPATA
Distance: 39,
Operator: LACAM UFPE
Comment: FOGO CONFINADO
Trigger Level: 1,02 mm/s
134 db

SN: 8877 v3.22 Event: 63
OSM/USBM Safe Blasting Levels

Velocity Waveform Graph Scale:

Time = 0,100 s
Seismic = +/- 0,32 mm/s
Sound = +/- 0,0091 psi

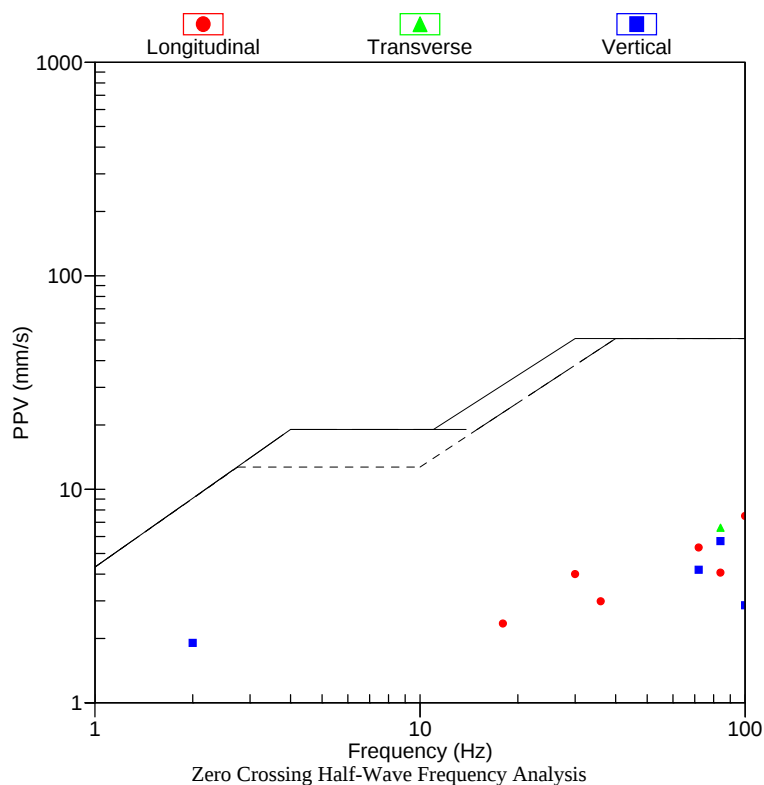
Summary Data

	L	T	V
PPV (mm/s)	7,49	6,6	5,72
PD (.01mm)	2,07	1,56	1,16
PPA (g)	0,671	0,586	0,495
FREQ (Hz)	100,0	83,3	83,3
Resultant PPV:	10,35 (mm/s)		
Peak Air Pressure:	129 db		
	0,0 psi		

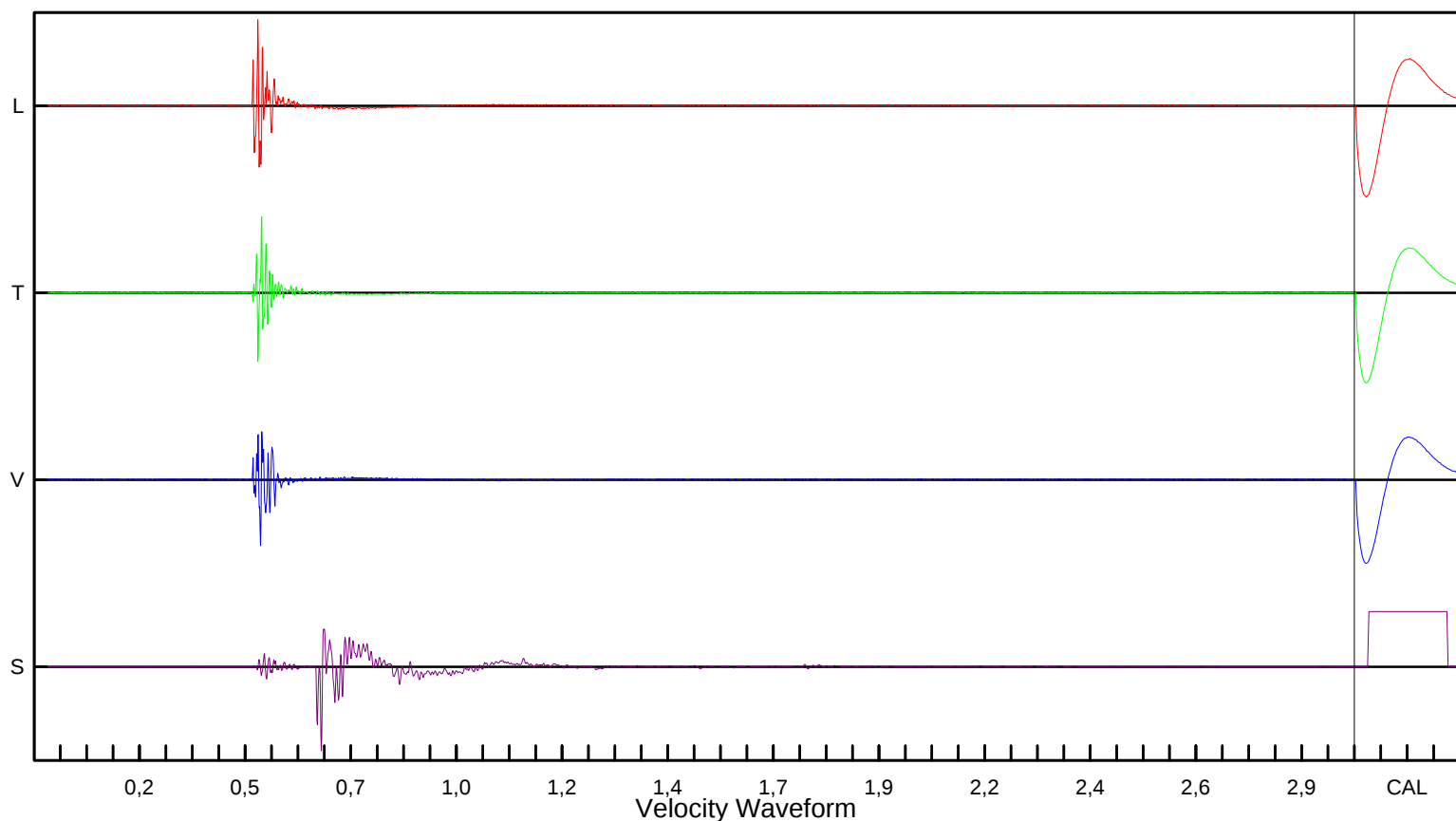
Additional Info:

Shaketable Calibrated: 07/15/2011

By: GeoSonics Inc.
359 Northgate Drive
Warrendale, PA 15086 U.S.A.
TEL: 724.934.2900 FAX: 724.934.2999



SN: 8877 v3.22 Event: 63



ANEXO C – ABNT NBR 9653:2005



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (021) 210-3122
Fax: (021) 220-1762/220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 1999,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

ICS 13.220.60

SET 2005

NBR 9653

Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas – Procedimento

Origem: NBR 9653:1986

ABNT/CB-18: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados

CE 18:205.02 – Comissão de Estudo de Desmonte de Rochas com o Uso de Explosivos

NBR 9653:2005 - Guide for the evaluation of effects of the use of explosives in minning and quarrying near urban areas – Proceedings

Descriptors: Explosives. Vibrations. Airblast. Flyrock.

É previsto para cancelar e substituir a NBR 9653:1986.

Palavra(s)-chave: Explosivos. Vibrações. Pressão
Acústica. Ultralancamentos.
Detonações

10 páginas

Sumário

Prefácio

1 Objetivo

2 Referências normativas

3 Definições

4 Critérios de Avaliação

5 Procedimentos de avaliação

6 Recomendações gerais

Anexo A (Informativo) – Modelos de cadastro de detonação

Anexo B (Informativo) – Bibliografia

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (ABNT/CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ONS circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

1 Objetivo

1.1 Esta Norma fixa a metodologia para reduzir os riscos inerentes ao desmonte de rocha com uso de explosivos em minerações, estabelecendo parâmetros a um grau compatível com a tecnologia disponível para a segurança das populações vizinhas, referindo-se a danos estruturais e procedimentos recomendados quanto ao conforto ambiental.

1.2 Esta Norma se aplica somente às emissões de ruídos impulsivos, vibrações pelo terreno e ultralancamentos decorrentes do desmonte de rocha por explosivos.

1.3 É facultativa a aplicação desta Norma nas minerações localizadas em áreas não urbanas. Para situações que envolvam riscos semelhantes a Norma deve ser aplicada.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contém disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Brasileira. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas brasileiras em vigor em um dado momento.

NBR 7497:1982 Vibrações mecânicas e choques – Terminologia

IEC 61672-1:2002 Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications

IEC 61672-2:2003 Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests

3 Definições

Para os efeitos desta Norma são adotados as definições de 3.1 a 3.10, complementadas pelos termos definidos na NBR 7497.

3.1 pressão acústica

É aquela provocada por uma onda de choque aérea com componentes na faixa audível (20 Hz a 20 000 Hz) e não audível, com duração menor do que um segundo.

3.2 desmonte de rocha com uso de explosivos

Operação de arrancamento, fragmentação, deslocamento e lançamento de rocha mediante aplicação de cargas explosivas.

3.3 área de operação

Área compreendida pela união da área de licenciamento ambiental mais a área de propriedade da empresa de mineração.

3.4 ultralancamento

Arremesso de fragmentos de rocha decorrente do desmonte com uso de explosivos, além da área de operação.

3.5 pico da componente de velocidade de vibração de partícula

Máximo valor de qualquer uma das três componentes ortogonais de velocidade de vibração de partícula medido durante um dado intervalo de tempo.

NOTA: Enquanto que uma perturbação ocasionada por uma fonte de vibrações se propaga a partir desta com uma dada velocidade de onda, as partículas do terreno oscilam com uma velocidade de partícula variável. A uma dada localização ao longo do percurso de propagação, o movimento pode ser definido em termos de três componentes mutuamente perpendiculares (geralmente vertical, transversal e longitudinal ou radial). Para garantir que a velocidade de vibração de partícula de pico seja medida corretamente, as três componentes devem ser medidas simultaneamente.

3.6 velocidade de vibração de partícula de pico

Máximo valor instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo.

3.7 velocidade de vibração de partícula resultante de pico (VR)

Máximo valor obtido pela soma vetorial das três componentes ortogonais simultâneas de velocidade de vibração de partícula, considerado ao longo de um determinado intervalo de tempo.

3.8 frequência de vibração de partícula

Número de oscilações por segundo em que o terreno vibra conforme energia sísmica criada pela detonação de explosivos que passa por um ponto determinado, obtido a partir da análise do registro de velocidade de vibração de partícula, dada em hertz (1Hz é igual a uma oscilação por segundo).

3.9 deslocamento de partícula de pico

Máxima distância na qual a partícula se desloca quando colocada em movimento por uma onda sísmica criada pela detonação de explosivos, segundo as direções das três componentes ortogonais.

3.10 distância escalonada (DE) ou distância reduzida

Calculada através da seguinte equação e usada para estimar a vibração do terreno:

$$DE = D/Q^{0,5}$$

onde:

D é a distância horizontal entre o ponto de medição e o ponto mais próximo da detonação, em metros;

Q é a carga máxima de explosivos a ser detonado por espera, em quilogramas.

4 Critérios de avaliação e limites recomendáveis de segurança

Em operações de desmonte de rocha por explosivos devem ser observadas as condições estabelecidas de 4.1 a 4.3.

4.1 Ultralancamento

O ultralancamento não deve ocorrer além da área de operação do empreendimento, respeitadas as normas internas de segurança referentes à operação de desmonte.

4.2 Pressão acústica

A pressão acústica, medida além da área de operação, não deve ultrapassar o valor de 100Pa, o que corresponde a um nível de pressão acústica de 134 dBL pico.

4.3 Velocidade de vibração de partícula de pico

4.3.1 Os riscos de ocorrência de danos induzidos por vibrações do terreno devem ser avaliados levando-se em consideração a magnitude e a frequência de vibração de partícula.

4.3.2 Os limites para velocidade de vibração de partícula de pico acima dos quais podem ocorrer danos induzidos por vibrações do terreno são apresentados numericamente na Tabela 1 e graficamente na Figura 1.

Tabela 1 - Limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência

Faixa de Frequência	Limite de Velocidade de vibração de partícula de pico
4 Hz a 15 Hz	Iniciando em 15 mm/s aumenta linearmente até 20 mm/s
15 Hz a 40 Hz	Acima de 20 mm/s aumenta linearmente até 50 mm/s
Acima de 40 Hz	50 mm/s
NOTA -Para valores de frequência abaixo de 4 Hz deve ser utilizado como limite o critério de deslocamento de partícula de pico de no máximo 0,6 mm (de zero a pico)	

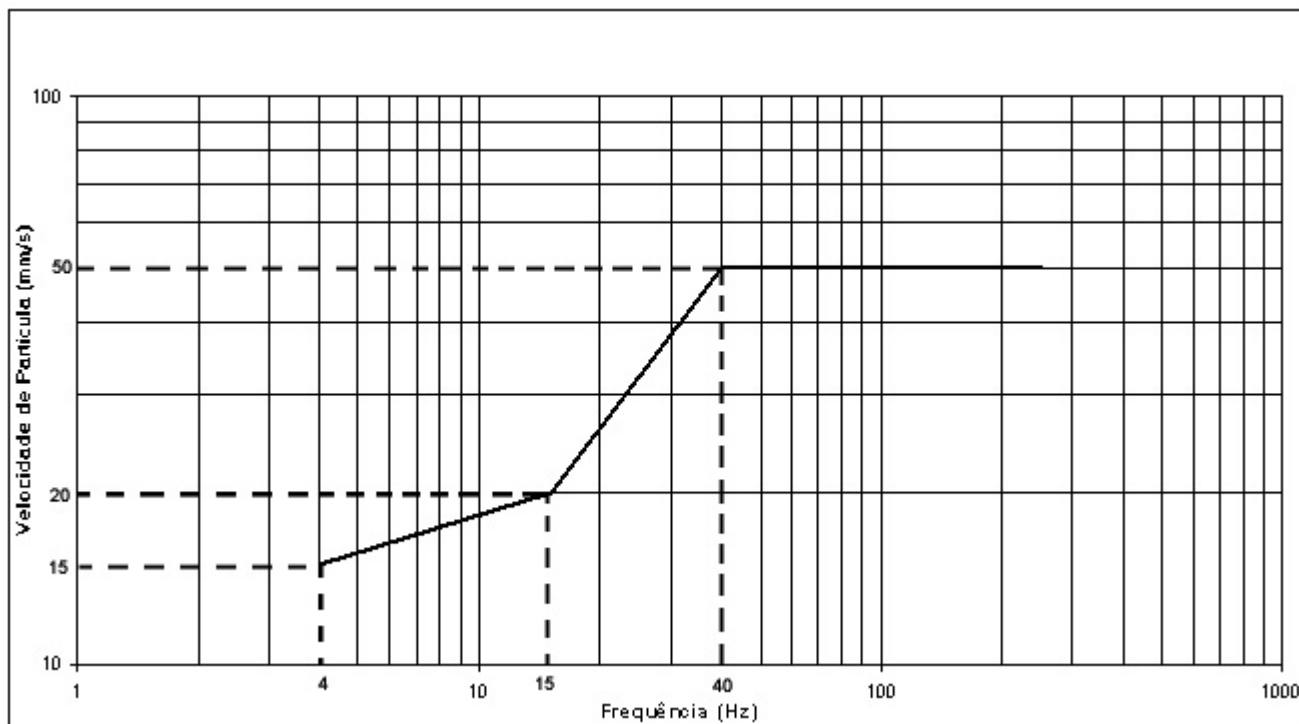


Figura 1 – Representação gráfica dos limites de velocidade de vibração de partícula de pico por faixas de frequência

5 Procedimentos de avaliação

5.1 Ultralancamento

A verificação do ultralancamento deve ser efetuada em ambiente externo à área de operação da mina, observado o disposto em 4.1.

5.2 Pressão acústica

Para verificação do critério estabelecido em 4.2, devem ser seguidos os procedimentos de 5.2.1 a 5.2.5.

5.2.1 O sensor deve ser instalado:

- junto à estrutura mais próxima do desmonte onde se presume que sejam atingidos os maiores valores de pressão acústica, e
- na parte externa da estrutura ou da edificação, preferencialmente a uma distância superior a 3,0 m e a uma altura de 1,0 m do solo ou conforme a especificação do equipamento.

Nota: Recomenda-se o uso de protetor de vento nos sensores durante as medições.

5.2.2 Instalar os sensores em pontos onde não haja obstáculo natural ou artificial entre o local de detonação e o ponto de registro. No entanto, se isso não puder ser evitado, recomenda-se que a distância horizontal entre o sensor e o obstáculo seja maior que a altura deste acima do sensor.

5.2.3 O aparelho de medida deve obedecer à norma IEC 61672 (Partes 1 e 2) ou equivalente, no que se refere ao equipamento do tipo I.

5.2.4 Os relatórios de medição devem conter, além do tipo de aparelho, os valores de frequência e intensidade registrados na medição efetuada. Devem ser descritos os métodos de medição e cálculo.

5.2.5 Os aparelhos de registro devem ser calibrados de acordo com as recomendações dos seus fabricantes, no máximo a cada 2 anos, com equipamentos rastreáveis, preferencialmente na RBC (Rede Brasileira de Calibração).

5.3 Velocidade de vibração de partícula

Para verificação do critério estabelecido em 4.3, devem ser seguidos os procedimentos de 5.3.1 a 5.3.4.

5.3.1 Posicionamento de transdutores e equipamentos

5.3.1.1 Quando a medição for executada junto ao limite da área de operação da mina, instalar os transdutores em pontos onde presumivelmente devem ser atingidos os maiores valores de velocidade de vibração de partícula de pico.

5.3.1.2 Quando a medição for executada em locais onde existam edificações, instalar os transdutores de modo preferencial no mesmo terreno no qual as estruturas ou edificações estejam construídas, junto a pilares e cantos de construção.

5.3.1.3 O transdutor de velocidade de vibração de partícula deve ser fixado rigidamente ao terreno objeto da medição. Na impossibilidade de fixação em solo pode ser fixado à estrutura. Deve ser observado o estabelecido a seguir:

- a) no caso de superfície rígida, deve-se utilizar gesso ou outro material adesivo que torne o transdutor o mais perfeitamente solidário ao meio de propagação (rocha e, eventualmente, estrutura);
- b) no caso de solo, deve-se preferencialmente enterrar o transdutor a uma profundidade nunca inferior a 10cm e nunca superior a 30cm. Alternativamente, pode-se utilizar cravos de comprimento máximo de 20cm, desde que o sistema não fique em balanço.

5.3.1.4 Os geofones contendo os transdutores devem ser nivelados e orientados conforme a direção da detonação.

5.3.2 Características dos equipamentos

5.3.2.1 Sismógrafo

O aparelho de medição, sismógrafo de engenharia, deve:

- a) possuir sistema de verificação interna da calibração por pulso eletrônico (autochecagem);
- b) dispor de capacidade de armazenamento de eventos sísmicos (memória);
- c) estar preparado para efetuar medições em temperaturas compreendidas na faixa de -12°C a $+55^{\circ}\text{C}$;
- d) de modo preferencial, registrar instantaneamente os valores máximos de velocidade de vibração de partícula em três direções mutuamente perpendiculares, sendo os valores expressos em milímetros por segundo (mm/s).

Os aparelhos de registro devem ser calibrados de acordo com as recomendações dos seus fabricantes, no máximo a cada 2 anos, com equipamentos rastreáveis, preferencialmente na RBC (Rede Brasileira de Calibração).

5.3.2.2 Transdutores de velocidade

Os transdutores de velocidade devem apresentar, como mínimo:

- a) resposta plana linear na faixa de frequências 4Hz a 125Hz;
- b) realizar medição de intensidade de velocidade de vibração de partícula no intervalo de 0,5mm/s a 100mm/s na faixa de frequência de 2Hz a 250Hz;
- c) resolução de 0,25mm/s;
- d) precisão de $\pm 5\%$ ou $\pm 0,5\text{mm/s}$, o que for maior;

A taxa de amostragem mínima deve ser de 1 000 pontos por segundo por canal, para eventos de até 5s de duração.

5.3.3 Relatórios sismográficos

Os relatórios sismográficos de cada medição devem conter:

- data e hora da medição;
- identificação do local de monitoramento;
- identificação do local de detonação;
- registros sismográficos das intensidades no tempo (onda sísmica);
- valores de pico da velocidade de vibração de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);
- valores de pico da aceleração de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);
- valores de pico do deslocamento de partícula para cada uma das três componentes (L, T e V);

- valores da frequência associada ao pico da velocidade para cada componente tri-ortogonal;
- máximo valor da velocidade de vibração de partícula resultante de pico;

Adicionalmente os relatórios podem conter, entre outras, as seguintes informações:

- distância entre o local de detonação e o local de monitoramento;
- carga explosiva máxima por espera detonada;
- intervalos da sequência detonante;
- carga explosiva total detonada;
- condições atmosféricas.

6 Recomendações Gerais

6.1 Conforto Ambiental

Com relação ao conforto das populações vizinhas às minerações são recomendáveis os seguintes procedimentos:

- a) implantação de um sistema de informação à população quanto às atividades de desmonte, envolvendo aspectos tais como: sinalização, horário de detonação, procedimentos de segurança adotados e outros;
- b) estabelecimento de um registro de reclamações em formulário adequado, contendo pelo menos: nome e endereço do reclamante, horário, tipo de incômodo verificado, quais as providências tomadas pela empresa para minimizar os aspectos relativos ao objeto de reclamação e outras providências eventuais;
- c) estabelecimento, de comum acordo com a comunidade, de horários determinados de detonação com sinal sonoro audível que não gere desconforto adicional;
- d) uso de insumos, na operação de desmonte, de modo a minimizar os impactos ambientais, especialmente os propagados pela atmosfera na forma de ruído e poeiras (ex.: cordel detonante substituído por tubo de choque ou espoleta eletrônica);
- e) implantação de um único canal de comunicação com a comunidade, através de agente tecnicamente habilitado e familiarizado com as operações de produção;
- f) implantação de uma sistemática de treinamento para os operadores vinculados às tarefas de desmonte, visando habilitá-los na minimização dos impactos ambientais;
- g) manutenção do registro de todos os planos de fogo realizados, por um período mínimo de um ano, para eventual verificação do órgão fiscalizador local;
- h) estabelecimento de um plano de monitoramento das detonações compatível com as necessidades específicas de cada unidade mineradora em operação.

6.2 Situações Excepcionais

Quando, por motivos excepcionais, houver o impedimento da realização do monitoramento sismográfico, pode ser considerada atendida esta norma com relação ao item 4.3, se for obedecida uma distância escalonada que cumpra com as seguintes exigências:

$$DE \geq 40 \text{ m/kg}^{0,5}$$

para $D \leq 300 \text{ m}$

/ANEXO A

Anexo A (Informativo)
Modelos de cadastro de detonação

1.1.1.1 Cadastro de detonação tipo 1				
Local		Fogo n°.	Data	
		Horário	Folha n°.	
Perfuração		Previsto	Executado	Observações
Malha (ExA) ¹⁾ (mxm)				
Altura da bancada (m)				
Profundidade perfurada (m)				
Total de furos				
Profundidade média (m)				
Subfuração média (m)				
Diâmetro dos furos	cm			
	pol			
Inclinação dos furos				
Volume teórico deslocado (m³)				
Explosivo		1	2	3
Nome				
Tipo				
Posição no furo				
Dimensões	cm			
	pol			
Peso por cartucho (kg)				
Total utilizado (kg)				
Total geral de explosivo (kg):		Cordel detonante (m):		
Razão de carregamento (kg/m³):		Espera da carga máxima:		
Carga máxima por espera (kg):		No. de furos da carga máxima:		
Retardos utilizados	tempo			
	quantidade			
Método de iniciação				
Método de tamponamento				
Tipo de proteção				
Tipo de material detonado				
Fragmentação resultante				
Condições meteorológicas				
Observações				
¹⁾ E = espaçamento A = afastamento				

¹⁾ E é o espaçamento; A é o afastamento.

1.1.1.2 Cadastro de detonação tipo 1 (continuação)
1.1.1.3 Croquis da ligação
1.1.1.4 Croquis da localização
1.1.1.5 Observações

Anexo B (Informativo)
Bibliografia

Decreto n° 55649, de 28.01.65 – D.O.U. 05.02.65

Decreto lei n° 227, de 28.02.67 – Código de Mineração – D.O.U. 28.02.67

NBR 6118:2003 Projeto de estruturas de concreto – Procedimento

NBR 6122:1996 Projeto e execução de fundações – Procedimento

NBR 7731:1983 Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem – Procedimento

ANSI S1.4 -1983 (Rev. 2001) – Specification for sound level meters.