



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ ANDRÉ RAMOS DE LIMA

**CÁLCULO ESTRUTURAL DE UM SOBRADO VIA SOFTWARES AUTODESK
REVIT E ROBOT**

Caruaru

2022

JOSÉ ANDRÉ RAMOS DE LIMA

**CÁLCULO ESTRUTURAL DE UM SOBRADO VIA SOFTWARES AUTODESK
REVIT E ROBOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dsc. José Moura Soares

Caruaru

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades e experiências que Ele me proporciona viver. À Nossa Senhora Aparecida por estar sempre intercedendo por mim. A minha família que sempre me apoiou em todos os momentos, aos meus pais que sempre fizeram de tudo para me proporcionar uma vida confortável e principalmente acesso à educação de qualidade.

A UFPE, professores e funcionários, pelas experiências e conhecimentos, que vou levar para a vida pessoal e profissional, muito do que vivi na universidade contribuiu para a pessoa e profissional que sou hoje. Ao meu orientador José Moura Soares por ter dado todo o suporte para que conseguisse concluir este trabalho. Aos amigos que fiz durante essa caminhada, que ajudaram a tornar o caminho mais leve.

Todos os que de forma direta ou indireta já me ajudaram na caminhada da graduação. Aos amigos que fiz em todos os estágios por onde passei e aos supervisores que sempre trouxeram algum conhecimento para minha vida profissional.

*“Para tudo há um momento, e um tempo
certo para cada coisa debaixo do céu”*

Eclesiastes 3, 1.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	Building Information Modeling
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
IFC	Industry Foundation Classes
NBR	Norma Brasileira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas

Cálculo estrutural de um sobrado via softwares Autodesk Revit e Robot

Structural calculation of a house via softwares Autodesk Revit e Robot

José André Ramos de Lima¹

RESUMO

A metodologia Building Information Modeling (BIM) pretende trazer muitos benefícios para as áreas de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) visando a colaboração entre os profissionais da área, assim tornando os projetos mais eficientes e econômicos. Com o BIM todas as informações das diversas disciplinas que envolvem um projeto de uma edificação, sejam eles arquitetônico, estrutural ou de instalações, estão reunidas em um mesmo modelo digital ao alcance de todos os profissionais envolvidos no projeto. Por isso, é de grande importância a realização de trabalhos que relatem a experiência do desenvolvimento de projetos com ferramentas BIM, podendo assim difundir o uso dessa metodologia entre os profissionais da área. Neste trabalho se realizou o cálculo estrutural de um sobrado utilizando os softwares Autodesk Revit 2021 e o Robot Structural Analysis Professional 2021, objetivando trabalhar a interoperabilidade entre os softwares, a concepção arquitetônica e estrutural do sobrado, o dimensionamento estrutural e o detalhamento das peças. Utilizando o Revit para a concepção do projeto arquitetônico e lançamento estrutural e o Robot para cálculo de esforços, dimensionamento estrutural e detalhamento das peças. Ao final do trabalho verificando os resultados obtidos, a integração entre os softwares de arquitetura e estrutura atenderam satisfatoriamente no que se diz respeito ao uso da tecnologia BIM para fins de concepção, cálculo, dimensionamento e detalhamento de um projeto estrutural como este feito neste trabalho, além de o relato da experiência de realização do cálculo estrutural da edificação utilizando os dois softwares simultaneamente.

Palavras-chave: BIM; Revit; Robot; Interoperabilidade; Projeto Estrutural.

¹Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: andre.ramosl@ufpe.br

ABSTRACT

The Building Information Modeling (BIM) methodology intends to bring many benefits to the Architecture, Engineering and Construction (AEC) areas, aiming at collaboration between professionals in the area, thus making projects more efficient and economical. With BIM, all the information from the various disciplines that involve a building project, whether architectural, structural or installations, are gathered in a single digital model within the reach of all professionals involved in the project. Therefore, it is of great importance to carry out works that report the experience of developing projects with BIM tools, thus being able to spread the use of this methodology among professionals in the area. In this work, the structural calculation of a townhouse was carried out using Autodesk Revit 2021 and Robot Structural Analysis Professional 2021 software, aiming to work on the interoperability between the software, the architectural and structural design of the townhouse, the structural design and the detailing of the parts. Using Revit for the design of the architectural project and structural launch and Robot for the calculation of efforts, structural dimensioning and detailing of the parts. At the end of the work, verifying the results obtained, the integration between the architecture and structure software met satisfactorily with regard to the use of BIM technology for the purposes of design, calculation, dimensioning and detailing of a structural project like the one done in this work, in addition to the report of the experience of carrying out the structural calculation of the building using the two softwares simultaneously.

Keywords: BIM; Revit; Robot; Interoperability; Structural Desing.

DATA DE APROVAÇÃO: 09 de novembro de 2022.

1 INTRODUÇÃO

Uma das últimas revoluções que ocorreu no mercado da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) foi o surgimento do *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção, essa metodologia tem como principal objetivo reunir todas as informações e dados de um projeto em apenas um único modelo digital de forma que o mesmo possa ser utilizado durante toda as fases do projeto, da construção e o ciclo de vida da edificação, facilitando e fomentando a colaboração entre os diversos ramos atuantes no setor de AEC. (EASTMAN et al. 2008, 2011 apud ALVES, 2021)

Para Andrade e Ruschel (2009) as principais tecnologias apresentadas por esta metodologia são a modelagem paramétrica e a interoperabilidade. Na modelagem paramétrica os objetos são representados por parâmetros e regras associadas, além da incorporação de propriedades não geométricas e características dos objetos, os objetos terão sua forma e construção definidos através de parâmetros informados pelo projetista, assim uma mudança em um elemento do projeto será repassada para todos os outros elementos que estão ligados a ele pelo próprio *software* utilizado.

Já a interoperabilidade, para o mesmo autor, consiste em identificar os dados que são necessários para serem passados de um aplicativo para outro. Ocorrendo uma integração entre os aplicativos computacionais utilizados pelos profissionais de AEC, será possível uma prática integralizada, conectando os setores e gerando um fluxo de informações contínuo durante todo o ciclo de vida da edificação de maneira rápida e eficiente. Com isso, é possível a realização de uma compatibilização automática, impedindo o cruzamento das soluções adotadas entre as diversas disciplinas envolvidas no projeto da edificação.

No Brasil, o Decreto Nº 10.306, de 2 de abril de 2020, estabelece a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, ele faz parte da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, que visa difundir e estimular o uso do BIM no mercado brasileiro. Em seu trabalho Ribeiro e César JR (2019) apresentam algumas publicações nacionais que tratam do tema BIM e editais que já solicitaram em algum nível a utilização do BIM, mostrando o quanto crescente é o tema no mercado da AEC, obras para a Copa do Mundo de Futebol de 2014, para os Jogos Olímpicos de 2016, do Museu do Amanhã, no Rio de Janeiro e bibliotecas de objetos para o programa Minha Casa, Minha Vida, são alguns exemplos de obras que já utilizaram a metodologia BIM.

Para Pereira (2017) apud Martins e Rodrigues Junior (2019), algumas vantagens da utilização da tecnologia BIM são diminuições de erros de desenho, facilidade nas modificações, construções mais econômicas e consistentes, quantitativo de materiais mais consistentes, facilidade na obtenção de documentos, elevada produtividade, facilidade na concepção e percepção das várias fases do projeto.

A disciplina de estrutura segundo Ribeiro e César JR (2019) quando comparada as outras disciplinas da área de AEC é a que menos apresenta adesão a metodologia BIM, visto a baixa quantidade de artigos e publicações com esse tema, Antunes e Scheer (2014), Maciel et al. (2018), Dias e Arantes (2015) são alguns exemplos de trabalhos que contribuem para propagação e divulgação do uso da metodologia BIM nesta disciplina. Outros trabalhos que podemos citar são Braunstein et al (2017), Sampaio (2020) e Silva (2019) neles os autores pesquisam a interoperabilidade entre os *softwares* que se encontram dentro do ambiente BIM, para modelagem paramétrica foram utilizados os *softwares* como Autodesk Revit, ArchiCAD ou AECOsim Building Designer e para o dimensionamento estrutural os *softwares* TQS, CypeCAD, SAP ou Autodesk Structural Robot, objetivando sempre avaliar a interação entre o *software* de modelagem e o *software* de análise estrutural. A experiência apresentada nestes trabalhos deve ser considerada visando alcançar melhores resultados e observar os avanços que foram realizados nos *softwares* pelas empresas desenvolvedoras.

A fim de que haja uma boa interoperabilidade entre os *softwares* é necessário que seja criado um padrão de terminologias, dados e processos, com o objetivo de que nenhuma informação deve ser perdida durante a transição de um *software* para outro. Para que isso aconteça deve existir um protocolo para troca de informações e interface entre os *softwares* de modelagem e análise estrutural, o mais indicado é o formato *Industry Foundation Classes* (IFC) é um modelo de dados abertos proposto pela buildingSMART, uma instituição não lucrativa formada por dezessete países com o intuito de auxiliar a indústria de AEC a se tornar mais eficiente. (SILVA, 2019).

Diante de todos os benefícios trazidos pelas tecnologias BIM e da crescente necessidade dos setores de AEC de trabalharem de forma integralizada agrupando todos os projetos, informações e dados de todo o ciclo de vida da edificação em apenas um modelo digital, a realização do cálculo estrutural de um sobrado utilizando os *softwares* Autodesk Revit e Autodesk Robot busca trazer experiência de se trabalhar a integração entre eles e o processo de trabalho para se realizar o dimensionamento estrutural da referida obra.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar o cálculo estrutural de uma residência do tipo sobrado mediante uso de dois *softwares* da empresa de *software* de *design* e de conteúdo digital Autodesk são eles o Autodesk Revit 2021 e o Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021, fazendo uso de forma efetiva da tecnologia BIM que une ambos os softwares.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar os *softwares* Autodesk Revit e Autodesk Robot Structural Analysis Professional e como fazer a interação entre ambos;
- Concepção do projeto estrutural baseado no projeto de arquitetura em estudo e lançamento estrutural;
- Realizar o cálculo dos esforços e dimensionamento estrutural;
- Detalhamento dos elementos estruturais;

2 METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado a metodologia de estudo de caso instrumental, nela se estuda um caso com o objetivo de se entender melhor uma questão mais ampla, visto que neste trabalho se propõe a registrar o processo de realização do cálculo estrutural de um sobrado utilizando *softwares* Autodesk Revit e Robot Structural Analysis visando verificar a interação entre os dois programas.

Para realização deste trabalho foram utilizadas as versões estudantis dos *softwares* disponibilizados pela empresa Autodesk, o Revit 2021 e o Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2021, cabe aqui ressaltar que os programas funcionam de modo completo sem nenhum tipo de restrição com relação a usabilidade dos recursos disponíveis em ambos os *softwares*.

O Revit é um *software* de modelagem paramétrica que reúne todas as disciplinas de arquitetura, engenharia e construção em um ambiente unificado de modelagem visando tornar os projetos mais eficientes e econômicos. Ele é composto pelos módulos de Revit Architecture

destinado a projetos arquitetônicos, o Revit Structure para o desenvolvimento de projetos estruturais e o Revit MEP destinado a projetos de instalações hidráulicas, sanitárias e elétricas, está disponível na versão completa com todos os módulos ou em versões unificadas para cada módulo. O Revit permite a exportação do modelo analítico, que é usado por *softwares* de cálculo estrutural para a realização do dimensionamento estrutural.

Já o Robot Structural Analysis é um *software* de cálculo, dimensionamento, verificações e detalhamento de estruturas avançado que permite realizar análises lineares e não lineares de modelos de construção, pontes e outros tipos de estruturas industriais, pertencente à família Arquitetura, Engenharia e Construção da empresa Autodesk. Realiza o cálculo estrutural de estruturas metálicas, de concreto armado, madeira e alvenaria estrutural através da análise do Método dos Elementos Finitos (MEF). Podendo realizar a interação com outros *softwares* que trabalham com o BIM.

Dentre todas as opções disponíveis de *softwares* dentro do ambiente BIM para realização do presente trabalho escolheu-se o Revit por ser um *software* muito utilizado pelos profissionais das áreas de AEC e o Robot por ser fabricado pela mesma empresa do Revit, diminuindo as chances de haverem erros durante a interação entre os dois programas e por ser um programa pouco conhecido no mercado de trabalho da região (Caruaru – PE), assim podemos ver outras possibilidades de realização do dimensionamento estrutural.

Para elaboração do presente trabalho é realizado o dimensionamento estrutural de um sobrado com as dimensões de 17 metros de comprimento e 3,45 metros de largura, com área construída de 58,65 m², composta por um pavimento térreo, um pavimento superior, além da cobertura e caixa d'água. Esta edificação possui os seguintes cômodos: uma garagem, um WC social, um *hall* de entrada, uma sala de jantar, uma cozinha, uma área de serviço, uma escada, uma sala de estar, duas suítes e uma varanda. Todos os pavimentos com 3,00 metros de pé direito.

Inicialmente é concebido o modelo arquitetônico utilizando o módulo de arquitetura do Revit, para em seguida realiza-se o lançamento estrutural com o módulo de estrutura do mesmo *software*. Assim tem-se o modelo geométrico do projeto, ou seja, o formato real do projeto em três dimensões (comprimento, largura e altura), além de todas as informações que se deseja obter através de tabelas personalizáveis.

Em seguida deve ser realizada a importação do modelo geométrico para o software de cálculo estrutural, nele utilizamos o modelo analítico gerado pelo Revit Architecture, onde os elementos tridimensionais serão transformados em elementos de barras e placas e as ligações em nós, deve-se verificar o modelo analítico gerado para confirmar a equivalência com o modelo geométrico, visto que o mesmo é gerado automaticamente, ajustes manuais podem ser

necessários.

O cálculo dos esforços, as cargas consideradas, o dimensionamento estrutural e o detalhamento das peças devem atender todas as diretrizes indicadas na ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, assim é necessário realizar a configuração do Robot para que o mesmo atenda a todas as prescrições impostas pela norma citada e todas as verificações necessárias sejam realizadas podendo assim considerar o dimensionamento realizado como aprovado.

O *software* Robot Structural Analysis não vem com os parâmetros e propriedades dos materiais configurados de acordo com a norma mencionada anteriormente, porém é possível a configuração do mesmo para que ele atenda as exigências expressas na norma brasileira. Os valores determinados pela norma e que devem ser configurados no *software* utilizado são mostrados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Características do concreto C25.

CONCRETO C25	
Massa específica	2500 kg/m ³
Coeficiente de dilatação	10 ⁻⁵ /°C
Módulo de elasticidade	28000 MPa
Módulo de cisalhamento	10000 MPa
Coeficiente de Poisson	0,2
Peso específico	24,50 kN/m ³
Resistência	25 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

Tabela 2: Características do Aço CA50.

Aço CA50	
Massa específica	7 850 kg/m ³
Coeficiente de dilatação	10 ⁻⁵ /°C
Módulo de elasticidade	210000 MPa
Coeficiente de Poisson	0,3
Peso específico	76,93 kN/m ³
Resistência	500 Mpa
Resistência limite da tensão	540 MPa

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

As características das barras de aço também devem ser adicionadas ao software, tomando os valores apresentados na ABNT NBR 7480:2007 - Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado — Requisitos que estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3: Características das barras de aço.

Barras de aço			
Diâmetro nominal (mm)	Comprimento máximo (m)	Massa linear (kg/m)	Resistência do aço (MPa)
6,3	12	0,245	500
8	12	0,395	500
10	12	0,617	500
12,5	12	0,963	500
16	12	1,578	500
20	12	2,466	500
22	12	2,984	500
25	12	3,853	500
32	12	6,313	500
40	12	9,865	500

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 7480:2007. (2022)

Para a análise da estrutura é necessário se considerar as ações atuantes, que podem ser do tipo permanente ou variável, aqui consideraremos as ações permanentes de peso próprio da estrutura e o peso dos elementos construtivos (piso, forro, alvenaria e telhado). O peso específico dos materiais utilizados no projeto é mostrado nas Tabelas 4, 5 e 6, em todo o projeto é utilizado porcelanato no piso, alvenaria de vedação em bloco cerâmico com espessura de revestimento de 2 cm, forro em gesso em placas e telhado em telha de fibrocimento.

Tabela 4: Peso específico dos materiais pisos, argamassas e concretos.

Material	Peso específico (kN/m³)
Porcelanato	23
Concreto armado	25
Argamassa	21

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6120:2019. (2022)

Tabela 5: Peso específico dos materiais alvenaria.

Alvenaria	Espessura nominal do elemento (cm)	Peso – Espessura de revestimento por face (kN/m²)		
		0 cm	1 cm	2 cm
Bloco cerâmico vazado	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6120:2019. (2022)

Tabela 6: Peso específico matérias de forro e telhado.

Material	Peso específico (kN/m²)
Com telhas de fibrocimento onduladas (com espessura até 5 mm) e estrutura de madeira	0,4
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6120:2019. (2022)

As ações variáveis do tipo direta que são as cargas acidentais previstas para o uso da construção foram consultados na ABNT NBR 6120:2019 e são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7: Carga acidentais.

Local	Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)
Balcões, sacadas, varandas e terraço	2,5
Dormitório	1,5
Sala, copa e cozinha	1,5
Sanitários	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1
Corredor	1,5
Garagem	3

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6120:2019. (2022)

O dimensionamento deve ser realizado objetivando que as solicitações nas peças da estrutura sejam menores ou iguais a sua resistência das mesmas, sendo realizadas a majorações destas solicitações necessárias durante o cálculo, essa situação é alcançada quando estamos no Estado Limite Último (ELU). Já as solicitações ligadas a durabilidade, aparência, conforto do usuário e boa utilização funcional são avaliados no Estado Limite de Serviço (ELS).

Se faz necessário encontrar o carregamento solicitante para o ELU e o ELS, para isso, é exigido que se realize a ponderação das ações através de coeficientes de majoração ou redução mostrados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8: Coeficientes de ponderação.

Combinação de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

Tabela 9: Fatores de redução.

	Ações	γ_{f2}		
		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permaneçam fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Vento				
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

Para pilares com seção transversal com dimensões inferiores a 19 cm é pedido ainda que se multiplique o esforço solicitante de cálculo por um coeficiente adicional γ_n , não podendo a área do pilar ser inferior a 360 cm². Os valores de γ_n são mostrados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores de γ_n para pilares.

b (cm)	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

Uma estrutura quando está sendo utilizada pode estar sendo solicitada por diversas ações ao mesmo tempo, por isso, se faz necessário que seja realizada uma combinação das ações atuantes a fim de que se encontre o carregamento final no qual estará atuando na estrutura em questão. A Tabela 11 mostra tais combinações conforme a norma brasileira.

Tabela 11: Combinações de ações.

	Estado Limite	Combinações
	Estado Limite Último	$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} \cdot F_{qjk})$
Estado Limite de Serviço	Combinações quase permanentes	$F_{s,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \Psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$
	Combinações frequentes	$F_{s,ser} = \sum F_{gi,k} + \Psi_1 \cdot F_{q1,k} + \sum \Psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$
	Combinações raras	$F_{s,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1,k} + \sum \Psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$

Fonte: Elaborado pelo autor com base na ABNT NBR 6118:2014. (2022)

Com o *software* Robot configurado de acordo com as normas e com o carregamento já estabelecido é possível realizar o dimensionamento da estrutura, para em seguida realizar-se as verificações necessárias e aprovação dos resultados obtidos.

Por fim, é gerada as peças documentais com a geração de vistas e detalhamentos com os resultados obtidos no Robot seguindo os modelos utilizados no sistema convencional. Pode-se ainda realizar a importação novamente para o *software* modelador e realizar o detalhamento no mesmo, ficando mais acessíveis a consultas posteriores por projetistas de outras disciplinas.

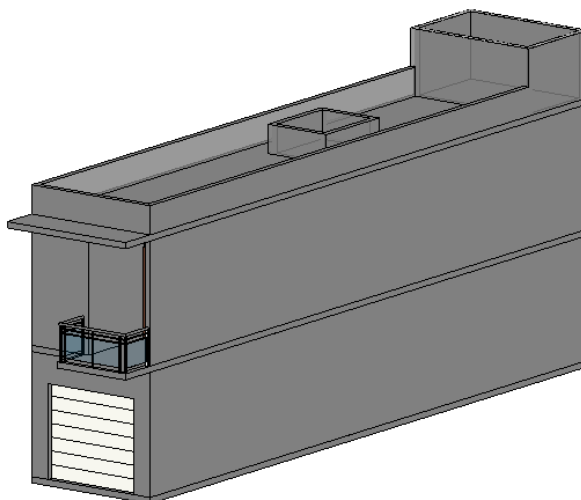
A coleta de dados sobre a experiência de realização do cálculo estrutural do sobrado segue a sequência e divisão apresentada por Ribeiro e Cézar JR (2019), são elas a modelagem de objetos paramétricos, a modelagem física e analítica de elementos estruturais, incluindo a etapa de análise e dimensionamento estrutural, a modelagem física da armadura e a geração de documentos técnicos.

Neste trabalho usaremos como base para realizar o dimensionamento a ABNT NBR 6118:2014, adotou-se a classe de agressividade II, por se tratar de uma residência unifamiliar do tipo sobrado localizada em ambiente urbano com pequeno risco de deterioração da estrutura, assim optamos por utilizar o concreto C25 e cobrimento nominal mínimo de 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares.

Foram adotadas lajes com 10 cm de espessura, vigas de seção transversal de 15 x 40 cm, pilares com seção de 15 x 30 cm e uma fundação em sapatas isoladas de 130 x 70 x 25 cm com tensão admissível do solo de 0,3 MPa. Esses valores são resultados de pré-dimensionamentos, consultas a norma e de acordo com o projeto arquitetônico. Futuras mudanças podem ser realizadas quando necessárias posterior ao dimensionamento. Cabe aqui salientar que para o cálculo não se considerou ação do vento em virtude da edificação está limitada à esquerda e à direita por edificações de mesmo porte.

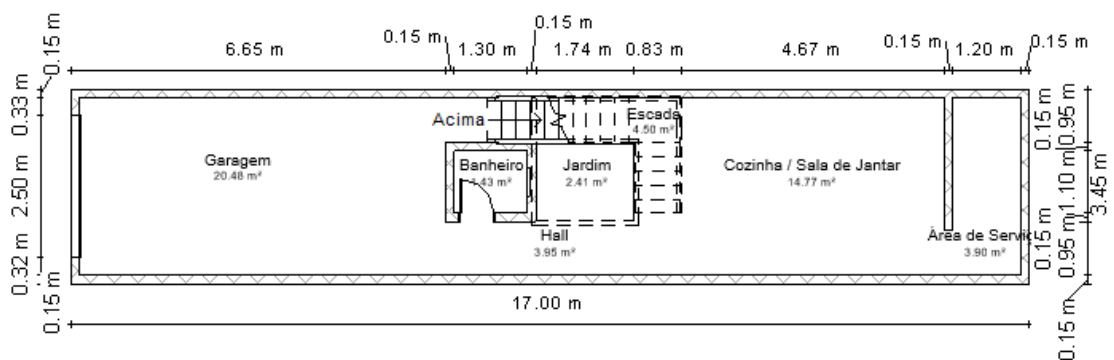
A primeira etapa a ser realizada é a modelagem paramétrica, ou seja, a preparação dos objetos que serão utilizados no projeto, atualmente existe uma grande quantidade de famílias disponíveis na internet, muitas empresas já disponibilizam seus produtos parametrizados prontos para uso, essa tendência só tende a crescer com a difusão da metodologia BIM. Para construção da concepção arquitetônica foram utilizados componentes genéricos já presentes no Revit no módulo de Arquitetura, assim não foi necessária a criação de nenhum componente novo. A Figura 1 mostra a vista 3D da edificação e as Figuras 2 e 3 as plantas baixas do sobrado utilizado neste trabalho.

Figura 1: Vista 3D do sobrado.



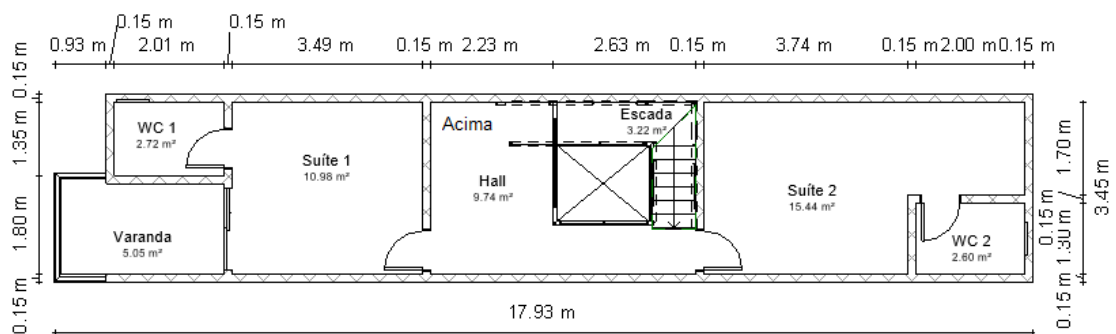
Fonte: Autor (2022)

Figura 2: Planta baixa do pavimento térreo.



Fonte: Autor (2022)

Figura 3: Planta baixa do pavimento superior.

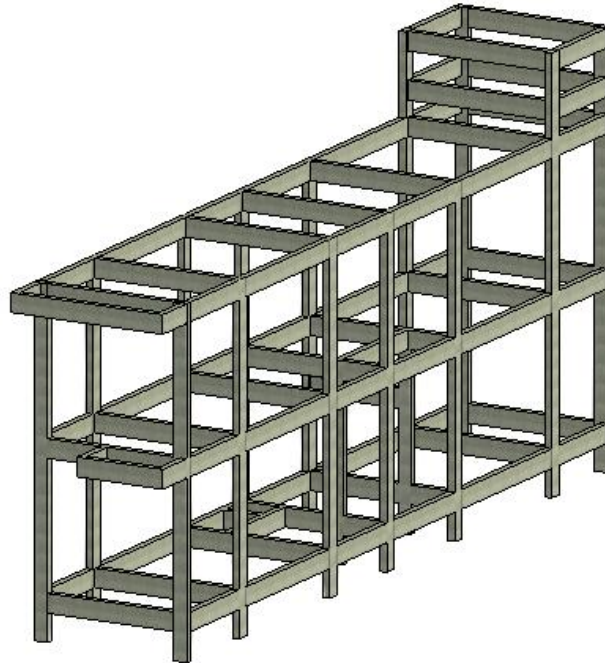


Fonte: Autor (2022)

Finalizado a modelo arquitetônico no módulo de arquitetura, é iniciado o lançamento estrutural no mesmo *software*, porém no módulo de estrutura (Fig. 4). Nesta etapa foram locados todos os elementos estruturais (pilares e vigas), a planta de forma gerada pode ser consultada no Apêndice C, após o lançamento é possível obter o modelo analítico do projeto que será enviado para o Robot para a realização do dimensionamento, o modelo analítico é

gerado pelo próprio *software*, transformando as vigas e os pilares em barras e as junções entre eles em nós. Neste trabalho optou-se em fazer o lançamento das lajes diretamente no *software* de dimensionamento, devido a indicações de outros trabalhos e cursos realizados sobre o Robot, caso houvessem sido adicionados no Revit, as lajes seriam transformadas em elementos de placa. É necessária uma avaliação do modelo analítico gerado, se ele está realmente representando a estrutura analisada.

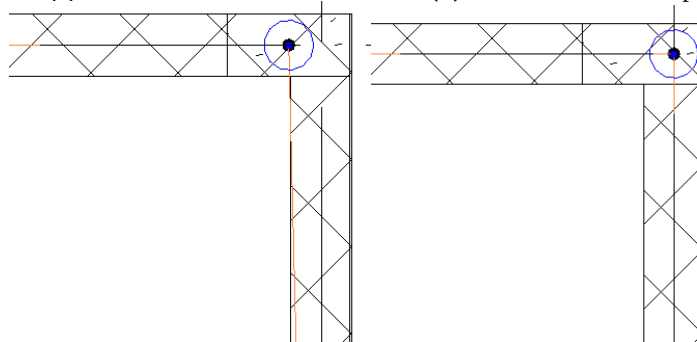
Figura 4: Vista 3D do modelo estrutural.



Fonte: Autor (2022)

É necessário o alinhamento de algumas barras para o eixo do elemento para que o modelo analítico esteja de acordo com o modelo real, como pode ser observado nas imagens a seguir na Figura 5a temos a barra faceando a viga, já na Figura 5b podemos ver a barra no eixo da viga após o ajuste.

Figura 5: (a) Elemento de barra fora do eixo. (b) Elemento de barra após ajuste.

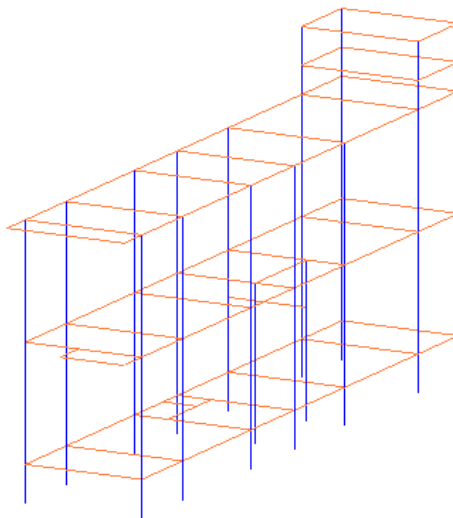


Fonte: Autor (2022)

Esse desalinhamento ocorre, pois os elementos de barra são colocados no eixo do pilar, o que nem sempre ocorre na estrutura real, por exemplo, as vigas que circundam a estrutura estão apoiadas nos pilares com uma excentricidade do eixo, o que ocasionaria erros na hora da análise se não for realizado os ajustes necessários.

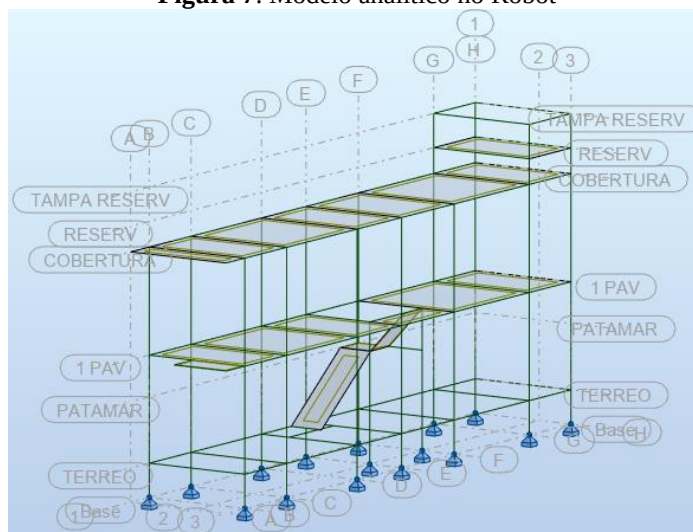
Após todos os ajustes serem realizados se tem como resultado o modelo analítico (Fig. 6) que será enviado para o Robot para realizar o dimensionamento da estrutura. A passagem de informações e dados de um *software* para outro pode ser feita de duas maneiras salvando o arquivo em formato IFC que seria aberto no Robot ou diretamente através do *plugin* que é instalado no Revit quando se instala o Robot Structural, neste trabalho optou-se por fazer a transferência de dados através do *pluing*, pois como os dois *softwares* pertencem ao mesmo desenvolvedor teremos menores chances de erro na transferência de informações. Durante o envio do modelo analítico do Revit para o Robot não foi detectado nenhum erro.

Figura 6: Modelo analítico gerado no Revit.



Fonte: Autor (2022)

Antes de iniciar a análise no Robot é necessário fazer toda a configuração do *software* para atender os parâmetros e características dos materiais presentes na ABNT NBR 6118:2014. Feito isso é atribuído os materiais as peças e adicionado as lajes (Fig. 7).

Figura 7: Modelo analítico no Robot

Fonte: Autor (2022)

Adicionado as lajes e todas as cargas que são consideradas, que são o peso próprio do forro ($0,15 \text{ kN/m}^2$), do telhado ($0,4 \text{ kN/m}^2$), das paredes ($1,33 \text{ kN/m}$ para platibanda, $5,22 \text{ kN/m}$ paredes de vedação, $1,9 \text{ kN/m}$ paredes do reservatório), revestimentos de piso ($0,89 \text{ kN/m}^2$), da caixa d'água ($2,82 \text{ kN/m}^2$), e as sobrecargas de cada cômodo ($2,5 \text{ kN/m}^2$ para varanda e escada, $1,5 \text{ kN/m}^2$ para dormitórios, banheiro, cozinha e sala e $0,1 \text{ kN/}$ para cobertura). Realizado a adição de cargas, é feita a combinação das cargas manual por meio da adição dos coeficientes de majoração das cargas neste trabalho o coeficiente utilizado foi o de 1,4.

Em seguida é preciso atribuir os parâmetros de norma e parâmetros de cálculo aos elementos estruturais, primeiramente as vigas e em seguida aos pilares, como o Robot Structural não tem a ABNT NBR 6118:2014 em seu banco de dados é necessário a escolha de outra norma para a realização das análises e dimensionamento, no presente trabalho escolheu-se trabalhar com a *Eurocode 2: Design of concrete structures* (EN1992-1-1:2004/A1:2014), por ser ter trabalhos acadêmicos que estudaram as duas normas comparando-as e verificando a proximidade dos resultados obtidos, como o trabalho de Lopes et al. que analisa o dimensionamento de lajes e vigas pelas duas normas tendo resultados aproximados devido as similaridades no método de cálculo, concluindo que a Eurocode 2 é mais conservadora que a ABNT NBR 6118:2014.

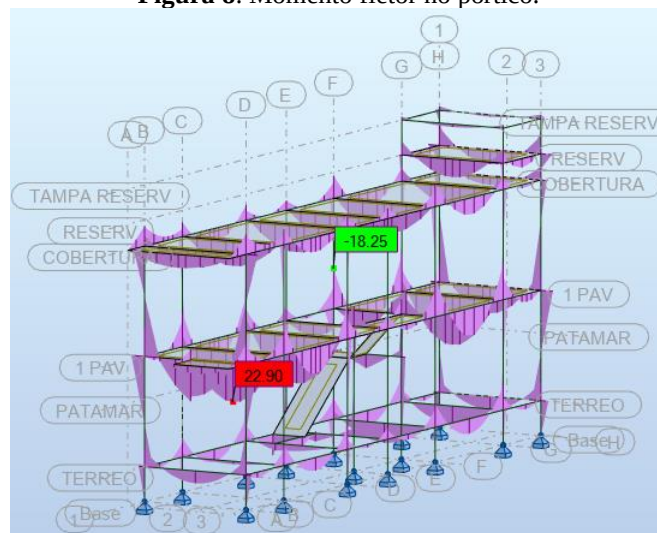
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos em termos de cálculo, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais que compõem o modelo tridimensional da edificação. Devido a limitação no número de páginas neste formato de artigo, no presente trabalho

escolheu-se relatar apenas a análise de uma viga contínua, do pilar mais carregado, da laje de maior área, da escada em formato L convencional e da fundação do pilar citado anteriormente. Assim se iniciará a apresentação dos resultados pelo o dimensionamento e detalhamento da viga superior 04 (VS-04), do pilar P06 ao nível do pavimento térreo onde atua a maior carga, da laje L13 e a referida escada e da sapata isolada.

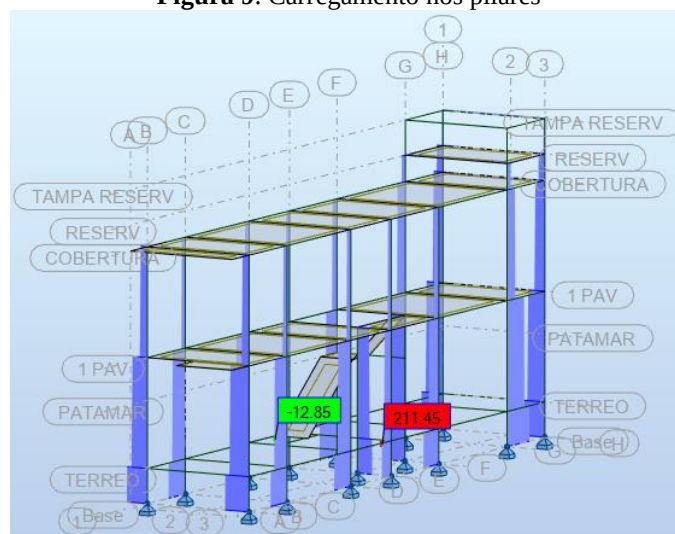
Na Figura 8 é mostrado os resultados obtidos em termos de diagramas de momento fletor do pórtico completo, sendo evidenciado as vigas e os pilares. Na Figura 9 são mostrados os esforços normais em todos os pilares do pórtico, os valores de máximo e mínimo global são mostrados na figura.

Figura 8: Momento fletor no pórtico.



Fonte: Autor (2022)

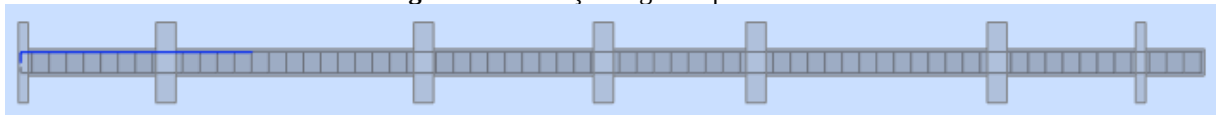
Figura 9: Carregamento nos pilares



Fonte: Autor (2022)

De uma maneira geral para o dimensionamento de elementos estruturais deve-se calcular a armadura necessária para combater os esforços de tração (vigas) e compressão (pilares), mas antes disso deve-se realizar as configurações de parâmetros do andar, opções de cálculo e padrões de armadura. Realizado o cálculo, o software mostra como resultado uma sugestão de armação do ponto de vista quantitativo que é mostrado na Figura 10 e complementado pelas informações da Figura 11.

Figura 10: Armação sugerida pelo Robot.



Fonte: Autor (2022)

Figura 11: Tabela de barras sugeridas pelo Robot para a viga VS-04.

	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	Espaçamento (m)	(m)
VS-04								
1	1	principal - superior	CA-50	8	00	2		A = 3,50
2	2	transversal - principal	CA-50	6.3	31	34	$1*0,20 + 7*0,26 + 1*0,46 + 13*$	A = 0,09
3	3	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 1,82
4	4	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 1,72
5	5	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 2,47
6	6	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 1,82
7	7	montagem - superior	CA-50	8	00	2		A = 2,09
8	8	principal - superior	CA-50	8	00	2		A = 7,93
9	9	transversal - principal	CA-50	6.3	31	*31	$1*6,30 + 9*0,26 + 1*0,43 + 7*0$	A = 0,09
10	10	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 1,77
11	11	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 4,07
12	12	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 3,23
13	13	montagem - superior	CA-50	8	00	2		A = 2,37
14	14	principal - superior	CA-50	8	00	2		A = 4,33
15	15	montagem - inferior	CA-50	8	00	2		A = 3,27
16	16	principal - inferior	CA-50	8	00	2		A = 0,48

Fonte: Autor (2022)

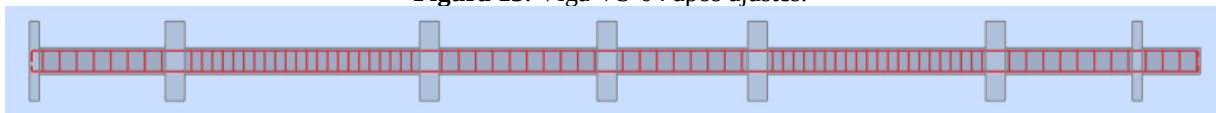
No entanto, o *software* emite mensagens de erro que possivelmente aconteceram no dimensionamento dos elementos estruturais. Erros típicos são mostrados na Figura 12, onde na viga em estudo VS-04 evidenciou os seguintes erros de dimensionamento: nos vãos 2 e 5 não se obteve a armadura transversal suficiente para suprimir a demanda necessária, por isso, é necessário a realização de modificações para correção destes erros.

Figura 12: Erros durante ocorridos no dimensionamento da viga VS-04.

VS-04	
Capacidade do projeto. A capacidade de cisalhamento em ULS não é suficiente para o vão Nº. 2	Fator de segurança: 0,798
Capacidade do projeto. A capacidade de cisalhamento em ULS não é suficiente para o vão Nº. 5	Fator de segurança: 0,828
Análise da biela e amarração. A armadura transversal não satisfaz os requisitos de capacidade para o vão Nº. 2 Lado esquerdo	
Análise da biela e amarração. A armadura transversal não satisfaz os requisitos de capacidade para o vão Nº. 2 Direita	
Análise da biela e amarração. A armadura transversal não satisfaz os requisitos de capacidade para o vão Nº. 5 Lado esquerdo	
Análise da biela e amarração. A armadura transversal não satisfaz os requisitos de capacidade para o vão Nº. 5 Direita	

Fonte: Autor (2022)

Para solucionar os seguintes erros de cálculo aumentou-se o número de barras transversais e diminuiu o espaçamento entre elas. A nova configuração de barras pode ser observada na Figura 13. Na Figura 14 na linha 2 da tabela de barras pode-se verificar a armadura transversal modificada para eliminação do erro.

Figura 13: Viga VS-04 após ajustes.

Fonte: Autor (2022)

Figura 14: Tabela de barras para a viga VS-04 após o ajuste.

	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	(m)
1	1	principal - superior	CA-50	8	00	2	A = 7,82
2	2	transversal - principal	CA-50	6.3	31	81	A = 0,08
3	3	principal - inferior	CA-50	8	00	2	A = 11,40
4	4	principal - inferior	CA-50	8	00	2	A = 6,96
5	5	principal - superior	CA-50	8	00	2	A = 10,57
*							

Fonte: Autor (2022)

Diante do exposto, no vão 2 a quantidade de estribos foi alterada de 14 para 22 e o espaçamento de 26 cm para 16 cm, no vão 5 aumentou-se o número de barras transversais de 13 para 21 e o espaçamento de 26 cm para 16 cm. As notas de cálculo desta viga podem ser consultadas no Apêndice A.

Como pode-se observar na Figura 11, a armação sugerida pelo Robot faz distinção entre as barras que são colocadas para vencer os esforços solicitantes e barras que são utilizadas apenas na montagem, em situações em que poderiam continuar o prolongamento da barra. Questões ligadas ao bom aproveitamento do material e otimização da execução não são levadas em consideração nas sugestões de armadura propostas pelo programa, por isso é necessária uma

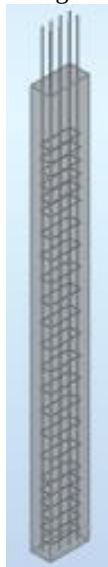
otimização da armadura visando melhorias na armação que aumentem o rendimento do material e facilitem o processo executivo da armação.

Para realizar essa otimização da armação sugerida é necessário prática e experiência por parte do projetista com projetos de dimensionamento estrutural, para saber a melhor forma de organizar as barras para se obter máximo aproveitamento do material e uma armação que seja de fácil montagem na hora da execução, levando em consideração ainda aspectos econômicos. Neste trabalho foram realizados alguns ajustes visando a melhoria na montagem das armações, as Figuras 13 e 14 já mostram a viga com a armação otimizada, para emendas das barras foi adotado um transpasse de 50 cm.

Para o dimensionamento do pilar P06 realizou-se uma nova combinação de cargas visto que devemos multiplicar o esforço solicitante por um coeficiente adicional γ_n devido o pilar ter dimensão menor que 19 cm, para um pilar com dimensão de 15 cm o valor de γ_n é igual a 1,2. Assim, o coeficiente de majoração deve ser agora 1,68.

Assim como na viga atribuiu-se os parâmetros da norma brasileira e de cálculo. Estes requisitos são necessários para realização do cálculo dos pilares em termos de armadura necessária. Antes de realizar o cálculo configurou-se e atribuiu-se os parâmetros de andar, opções de cálculo, padrões de armadura e comprimento de flambagem. Após isto foi realizado o cálculo e a armadura sugerida é mostrada na Figura 15 e complementado pelas informações da Figura 16. A solução proposta pelo Robot foi 8 barras de $\phi 10\text{mm}$ com espaçamento variando, um primeiro intervalo na base da viga com espaçamento de 8 cm, um segundo com espaçamento de 15 cm e um último intervalo no topo da viga com espaçamento de 9 cm.

Figura 15: Armadura sugerida para a coluna P06.



Fonte: Autor (2022)

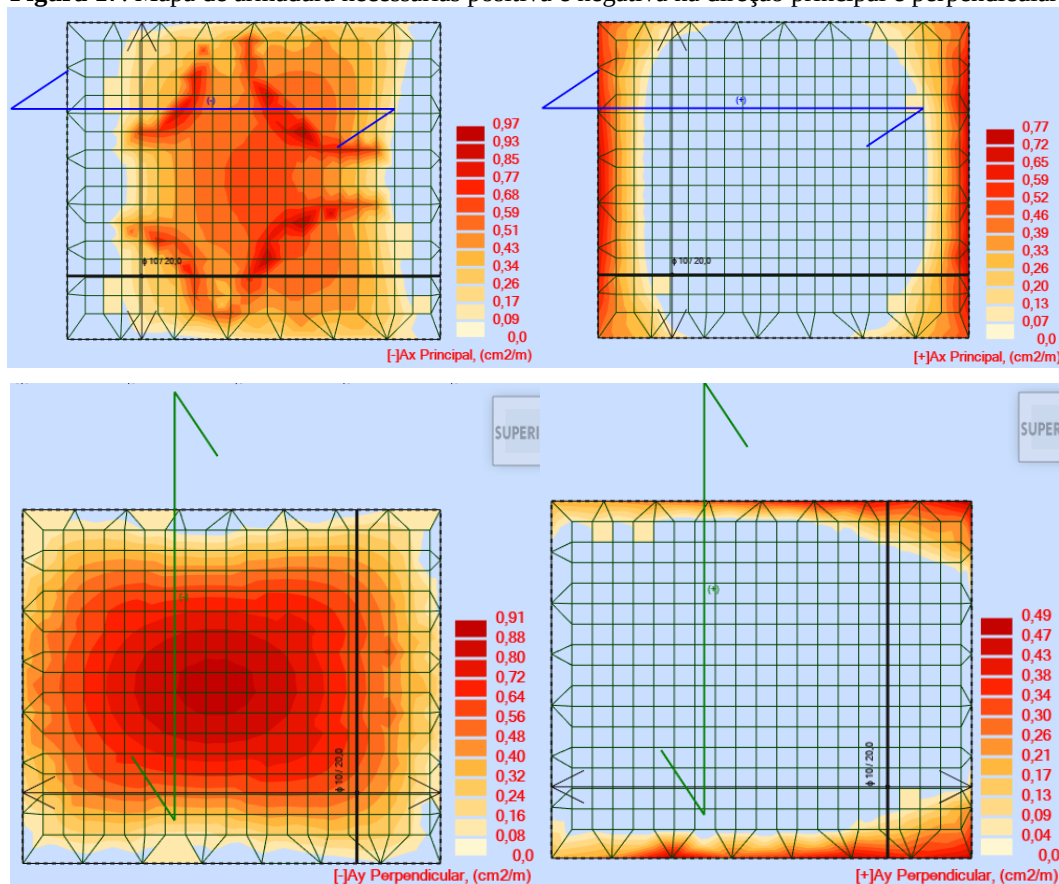
Figura 16: Tabela de barras sugeridas pelo Robot para o pilar P06.

	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	(m)
1	1	principal	CA-50	10	00	8	A = 3,55
2	2	transversal	CA-50	6.3	31	23	A = 0,09

Fonte: Autor (2022)

Mais uma vez lembra-se da necessidade de se realizar uma otimização da armadura resultante, na hora da execução prefere-se por adotar um espaçamento constante entre os estribos visando facilitar a montagem da armação no canteiro da obra.

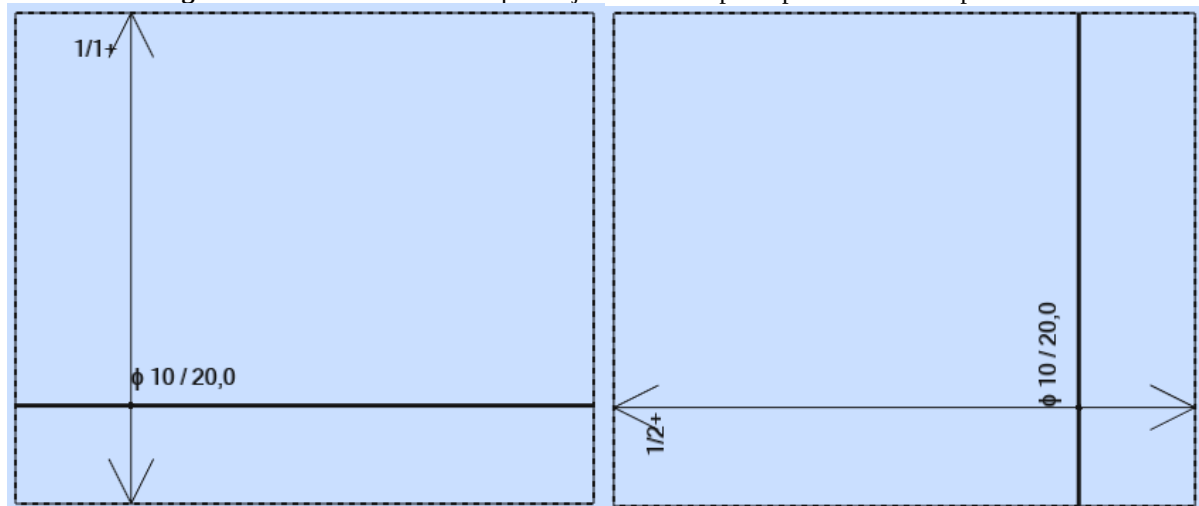
Na laje, após atribuir os parâmetros da norma brasileira foi realizado o cálculo da armadura necessária para os esforços atuantes, e o *software* gerou um mapa de cores relativo às armaduras onde consta as áreas de aço que são necessárias para cada região da laje (a laje é discretizada em diversos elementos “regiões”). A Figura 17 mostra o referido mapa para as armaduras principais e as secundárias positivas e negativas em regiões delimitadas.

Figura 17: Mapa de armadura necessárias positiva e negativa na direção principal e perpendicular.

Fonte: Autor (2022)

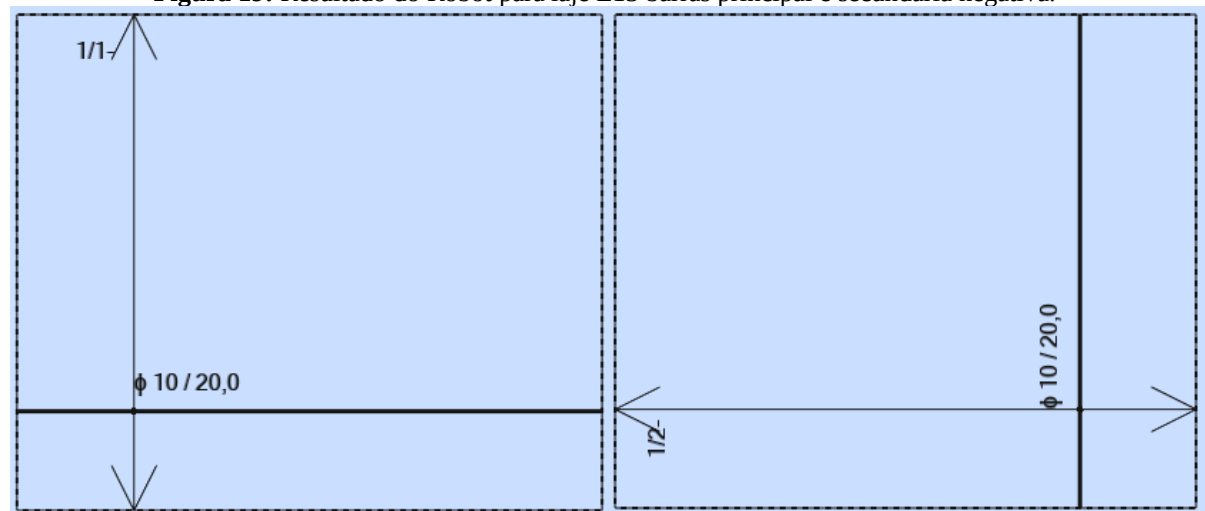
Em seguida, é feito o cálculo para gerar a sugestão de armadura fornecida, os resultados são mostrados na Figura 18 e 19, junto com a Figura 20 que mostra o resumo de barras utilizadas na armação da laje e a Figura 21 que representa a armação resultante para a laje estudada. A solução proposta para a Laje L13 pelo Robot foi uma armação positiva e negativa iguais com barras com $\phi 10\text{mm}$ e espaçamento de 20 cm nas duas direções.

Figura 18: Resultado do Robot para laje L13 barras principal e secundária positiva.



Fonte: Autor (2022)

Figura 19: Resultado do Robot para laje L13 barras principal e secundária negativa.



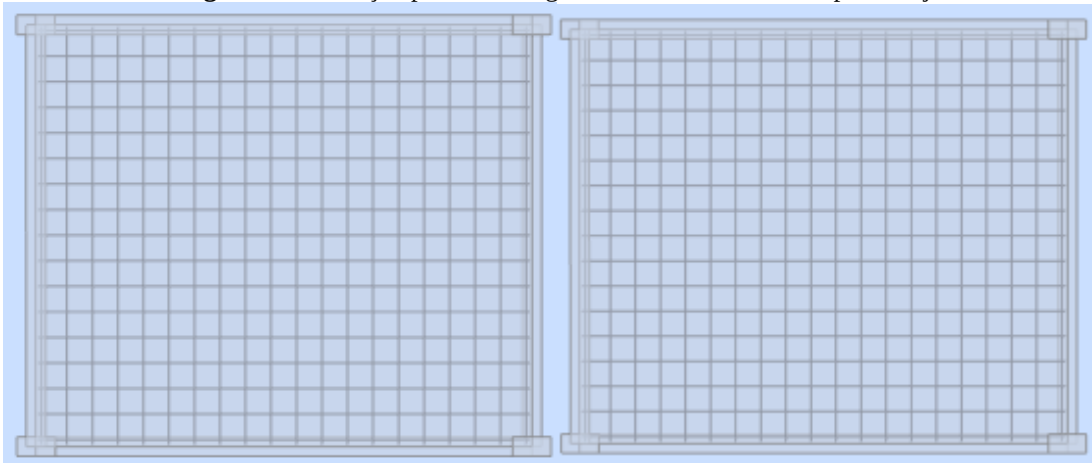
Fonte: Autor (2022)

Figura 20: Tabela de barras resultado do Robot para a laje L13.

	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	(m)
1	1	<valor diferente >	CA-50	10	00	34	A = 3,86
2	2	<valor diferente >	CA-50	10	00	40	A = 3,27

Fonte: Autor (2022)

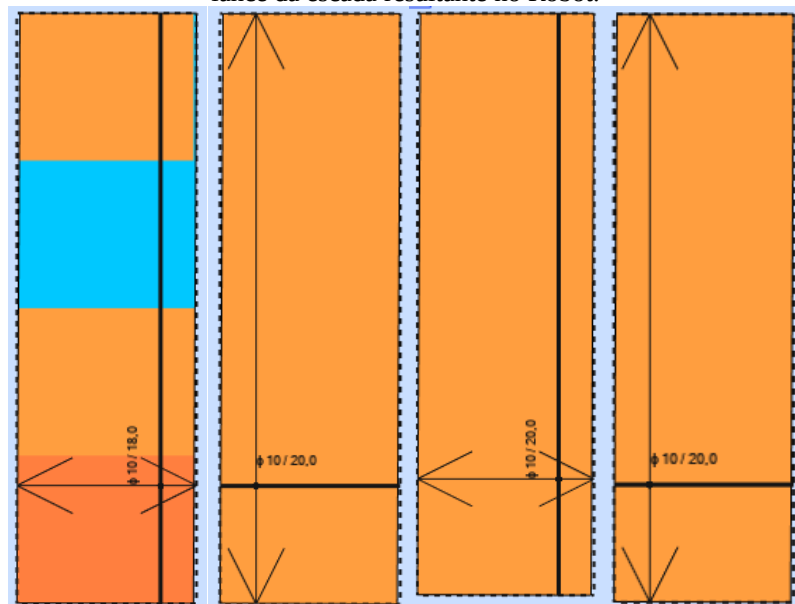
Figura 21: Armação positiva e negativa resultante do Robot para a laje L13.



Fonte: Autor (2022)

No dimensionamento das escadas foi realizado o cálculo dos lances separadamente, o prolongamento das barras para realizar a união das partes da escada deve ser feito no Revit quando realizado o detalhamento. Neste trabalho as escadas foram analisadas como lajes. A Figura 22 mostra o resultado para o primeiro lance da escada, a armação sugerida foi barras de $\phi 10\text{mm}$, na armadura positiva se tem um espaçamento de 18 cm na direção principal e 20 cm na secundária, já na armadura negativa o espaçamento em ambas as direções são 20 cm.

Figura 22: Armadura positiva principal e secundária e armadura negativa principal e secundária para o primeiro lance da escada resultante no Robot.

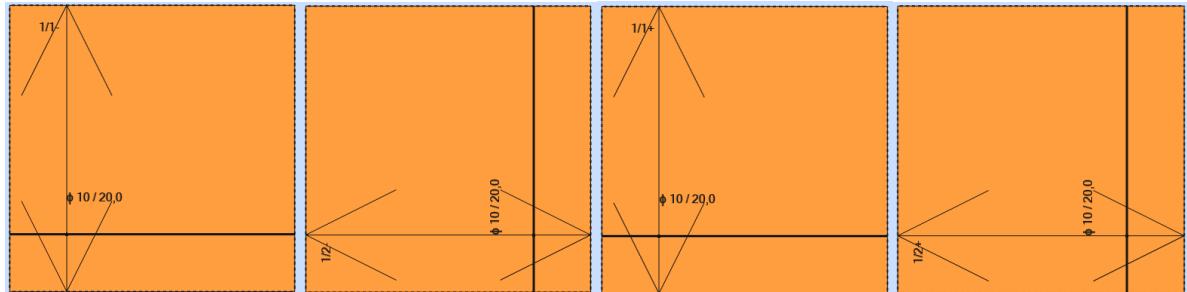


Fonte: Autor (2022)

Para o patamar a armação proposta é composta por barras de $\phi 10\text{ mm}$ com espaçamento de 20 cm tanto na armadura positiva e quanto na negativa, em ambas as direções, principal e

secundária. A imagem 23 mostra o mapa de armadura com as barras propostas pelo software.

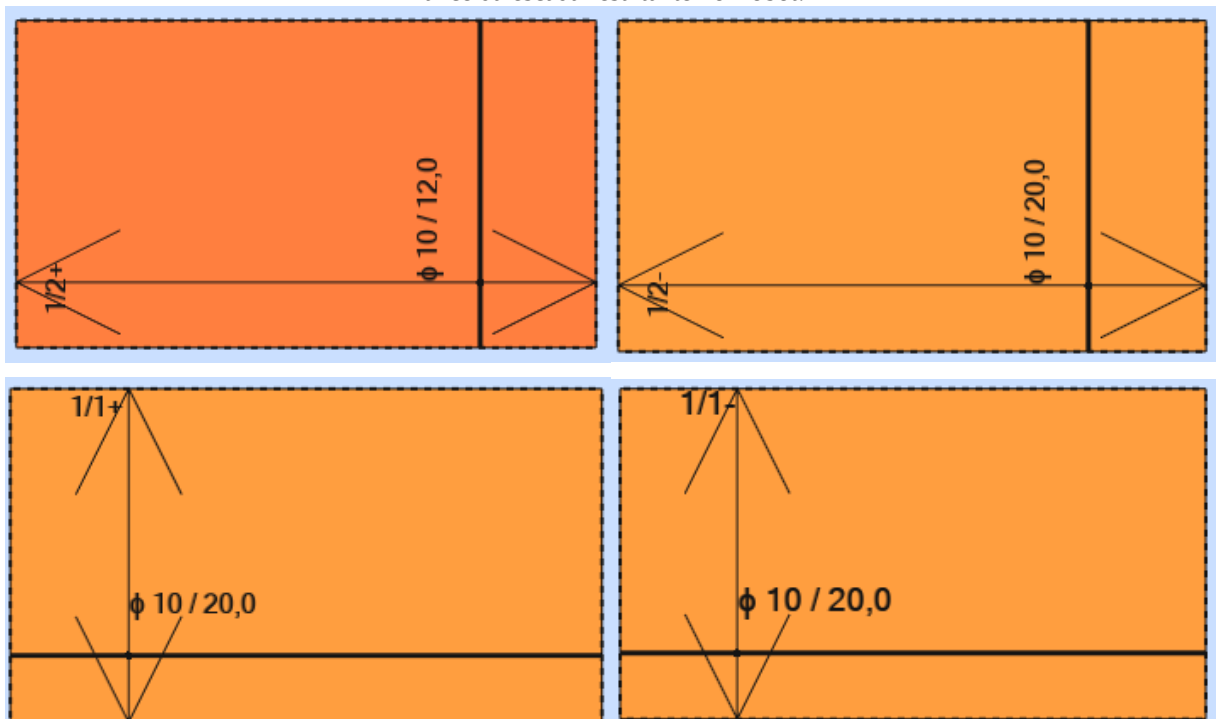
Figura 23: Armadura positiva principal e secundária e armadura negativa principal e secundária para o patamar da escada resultante no Robot.



Fonte: Autor (2022)

Finalizando a escada, o segundo lance teve como resultado de armadura barras de $\phi 10\text{mm}$, para as armaduras principais positivas tivemos um espaçamento de 12 cm, enquanto que para as armaduras principais e secundárias negativas e as armaduras secundárias positivas tivemos espaçamento de 20 cm como mostrado na Figura 24.

Figura 24: Armadura principal e secundária positiva e armadura principal e secundária negativa para o segundo lance da escada resultante no Robot.

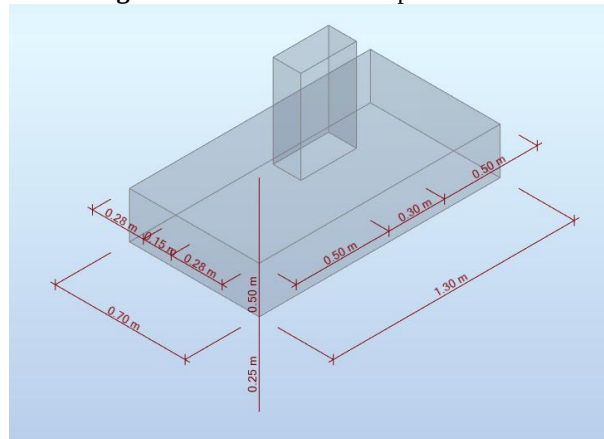


Fonte: Autor (2022)

Por fim, para concluir o dimensionamento estrutural realizou-se o dimensionamento das sapatas isoladas, sendo considerado uma tensão admissível do solo de 0,3 MPa, estimada uma

vez que não se tem sondagens do terreno. Assim, neste trabalho será apresentado o resultado do cálculo da fundação superficial para o pilar mais carregado, cujo a carga foi de 212,33 kN, realizou-se o processamento da estrutura que automaticamente gerou uma sapata com as dimensões de 130 x 70 x 25 cm como mostrado na Figura 25.

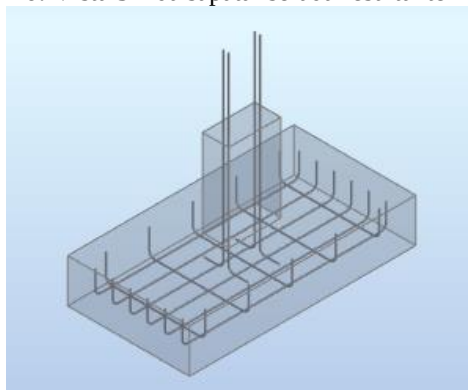
Figura 25: Dimensões da sapata isolada.



Fonte: Autor (2022)

A armação que o software gerou foram barras de $\phi 10\text{mm}$ espaçadas em 10 cm na direção principal e 25 cm na direção secundária. As barras de espera são barras de $\phi 10\text{mm}$. Estas informações podem ser encontradas nas Figuras 26 e 27.

Figura 26: Vista 3D da sapata isolada resultante no Robot.



Fonte: Autor (2022)

Figura 27: Tabela de barras sugerida pelo Robot para a sapata isolada.

	Nº	Tipo de armadura	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	(m)
1	1	barra de espera	CA-50	10	00	4	A = 1,09
2	2	inferior na direção X	CA-50	10	00	6	A = 1,18
3	3	inferior na direção Y	CA-50	10	00	5	A = 0,58

Fonte: Autor (2022)

O Robot gera o desenho das armaduras de forma automática com o detalhamento destas, porém a forma de apresentação é específica do programa, sendo diferente do detalhamento de armaduras de lajes maciças de outros softwares comumente usados na área de estrutura. Também não é possível realizar modificações de qualquer modo, apenas como o programa possibilita e a geração das pranchas é gerado automaticamente, porém a organização não é das melhores necessitando se dedicar um tempo para melhor dispor o detalhamento dos elementos estruturais que compõem o pórtico. A apresentação das pranchas possui características diferentes das normalmente vistas em outros programas de cálculo utilizados no mercado de trabalho, e no cotidiano das obras. Para realizar um detalhamento mais próximo ao utilizado por projetistas de estruturas, torna-se necessário exportar o modelo estrutural para o Revit e fazer os devidos ajustes para gerar os documentos técnicos mais próximos da apresentação típica.

Pode-se ressaltar ainda que com as armaduras no Revit, pode-se realizar a verificação de interferências com outras disciplinas e gerar quantitativos para orçamentos e execução. No Apêndice C encontram-se as plantas de forma e planta de situação junto ao detalhamento da viga VS-04 realizado no Revit. Também estão disponíveis para consulta as notas de cálculo geradas (Apêndice A) e o detalhamento das peças analisadas anteriormente geradas pelo Robot (Apêndice B).

4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos conclui-se que os benefícios trazidos pela metodologia BIM são de grande valia para profissionais das áreas de AEC, a interoperabilidade traz para o processo de projeto e construção grandes ganhos: a atualização de mudanças realizadas em uma disciplina pode ser repassada para as outras apenas atualizando o modelo, assim como, interferências entre as soluções podem ser rapidamente detectadas. Com a modelagem paramétrica se tem a visualização das peças em 3D facilitando o entendimento de outros profissionais que tiverem acesso ao projeto, além de outras informações que estão agregadas aos projetos podendo ser produzidas planilhas e tabelas de maneira mais rápida e fácil. Além de que, os projetos de todas as disciplinas podem ser agrupados em único modelo digital que ficará disponível a todos os diversos profissionais envolvidos e durante todas as fases da vida da edificação projetada.

Sobre o Robot Structural, mesmo sem a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014 em seu banco de dados originalmente foi possível realizar modificações de modo a ajustar as

configurações necessárias para o dimensionamento com os parâmetros exigidos pela mesma, os resultados obtidos no software foram satisfatórios, visto que, é necessária uma análise dos resultados por parte do projetista, pois aspectos ligados ao bom aproveitamento dos materiais e a maneira como é feito o detalhamento da armação do ponto de vista executivo não são parâmetros levados em consideração pelo programa, se faz necessário reavaliar e fazer as mudanças necessária para se aproveitar bem o material e deixar as armações de modo que facilitem a execução. Essa visão de reorganizar a armação visando aumentar o aproveitamento do material e facilitar a execução é algo adquirido com a prática e experiência.

Em resumo, o Robot pode ser uma ótima ferramenta para o dimensionamento estrutural visto que tem uma boa integração com o Revit e tem todas suas funções disponíveis na versão estudantil, sendo uma oportunidade para estudantes que estão ainda na graduação podem ter acesso à um *software* de dimensionamento estrutural dentro do ambiente BIM. Com relação ao mercado de trabalho de projetistas estruturais é necessária uma visão mais abrangente com relação a utilização de novas tecnologias para conhecer esta nova plataforma e fazer uso dos seus benefícios.

Por fim, conclui-se que os objetivos de se conhecer e aprender a trabalhar com os softwares Revit e Robot fazendo uso da metodologia BIM, e realizando a interação entre ambos foi alcançado, visto que se conseguiu concluir o projeto estrutural do sobrado realizando o lançamento, dimensionamento e detalhamento do mesmo. Cabe aqui ressaltar que este é o primeiro trabalho que está sendo desenvolvido no campus usando a metodologia BIM para elaboração tanto do projeto arquitetônico quanto do estrutural, levando-se em consideração a interação entre os dois modelos e utilizando o Robot como *software* de dimensionamento. Sugere-se que futuros trabalhos desenvolvam modelos de outras edificações para realização de modelagem e cálculo de estruturas buscando proximidade do detalhamento próximos aos tipicamente utilizados fazendo os devidos ajustes no Robot e Revit, bem como, uma comparação entre os resultados obtidos no Robot e em outros softwares de dimensionamento ou até mesmo por cálculos manuais.

REFERÊNCIAS

ALVES, T. R. O. **Diagnóstico das condições para implantação da modelagem da informação da construção (BIM) em municípios de pequeno porte**. 2021. 193 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

ANDRADE, M. L. V. X. RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no brasil e tendências.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Carlos: Sbqp2009, 2009. p. 602-613.

ANTUNES, C. E. SCHEER, S. **Objetos paramétricos no projeto de estruturas em concreto armado.** Revista Técnico-Científica do CREA-PR, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 18-34, outubro 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6120 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7480 - Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado — Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

AUTODESK. **Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica.** In: Autodesk. Revit Suporte e Aprendizado. 22 jan. 2019. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/gettingstarted/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html>. Acesso em: 17 out. 2021.

BRAUNSTEIN, F. A. CAMPOS, C. M. O. CARVALHO, C. R. **Emprego de modelo computacional integrado na plataforma BIM na análise de estruturas de concreto.** XXXVIII Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia - CILAMCE. Santa Catarina, 2017.

DIAS, E. R. ARANTES, E. M. **Interoperabilidade de ferramentas de modelagem paramétrica em projetos de plantas industriais.** Gestão e Tecnologia de Projetos, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 35-46, jul/dez. 2015.

LOPES, P. H. P. COLARES, L. L. B. SANTOS, W. J. dos. RIBEIRO, S. E. C. **NBR 6118 e Eurocode 2: Análise comparativa no dimensionamento de lajes e vigas em concreto armado**. 2015. Revista FUMEC, vol. 07.

MACIEL, A. R. CORRÊA, F. R. BARROS, M. M. S. B. **Em direção à interface digital no projeto-produção industrial de armaduras integrado ao processo BIM**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 9, n. 3, p. 178-190, setembro 2018.

MARTINS, D. A. RODRIGUES JÚNIOR, A. S. **Análise da Comparativa da Utilização da Tecnologia BIM em Projeto de Residências Unifamiliares**. Revista Teccen, Vassouras, Jul/Dez 2019.

RIBEIRO, R R. CÉZAR JR, K. M. L. **BIM no projeto de estruturas de concreto armado: Estudos de caso em Revit e Robot**. Artigo. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420 - 22ª edição – novembro de 2019.

SAMPAIO, A. Z. **Metodologia BIM e interoperabilidade**. Conferências IADIS Ibero-Americanas WWW/Internet e Computação Aplicada 2020.

SILVA, K. R. **Interoperabilidade entre software de projeto estrutural com a plataforma BIM**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

APÊNDICE A – NOTAS DE CÁLCULO

1 Nível:

- Nome : ---
- Nível de referência : ---
- Fissura máxima : 0,40 (mm)
- Exposição : XC1
- Coeficiente de fluência do concreto : $\varphi_{\pi} = 3,052$
- Classe do cimento : N
- Idade do concreto (momento de carga) : 28 (dias)
- Idade do concreto : 50 (anos)
- Idade do concreto após erguer uma estrutura : 365 (anos)
- Classe de estrutura : S3
- Classe de resistência ao fogo : sem requisitos
- Recomendações de FFB 7.4.3(7) : 0,000

2 Viga: VS-04 elementos idênticos: 1

Número de

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
Distribuição de tensões
retangulares [3.1.7(3)]
Densidade : 2498,30 (kg/m³)
Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
diagrama de tensão-esforço
Classe de ductilidade : B
- Armadura transversal: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
diagrama de tensão-esforço
Classe de ductilidade : B
- Armadura adicional: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Ramificação horizontal do
diagrama de tensão-esforço

2.2 Geometria:

2.2.1	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)
	P1	Vão 0,15	1,93	0,30	
	Comprimento do vão: $L_0 = 2,15$ (m)				
	Seção de 0,00 até 1,93 (m)				
	15,0 x 40,0 (cm)				
	sem laje esquerda				
	sem laje direita				
2.2.2	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)

	P2	Vão 0,30	3,59	0,30		
	Comprimento do vão: $L_o = 3,89$ (m)					
	Seção de 0,00 até 3,59 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.3	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)	Apoio direito
	P3	Vão 0,30	2,41	0,30		
	Comprimento do vão: $L_o = 2,71$ (m)					
	Seção de 0,00 até 2,41 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.4	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)	Apoio direito
	P4	Vão 0,30	2,00	0,30		
	Comprimento do vão: $L_o = 2,30$ (m)					
	Seção de 0,00 até 2,00 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.5	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)	Apoio direito
	P5	Vão 0,30	3,34	0,30		
	Comprimento do vão: $L_o = 3,64$ (m)					
	Seção de 0,00 até 3,34 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.6	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)	Apoio direito
	P6	Vão 0,30	1,94	0,15		
	Comprimento do vão: $L_o = 2,16$ (m)					
	Seção de 0,00 até 1,94 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					
2.2.7	Vão	Posição	Apoio esquerdo (m)	Apoio direito (m)	L (m)	Apoio direito
	P7	Balanço direito	0,15	0,89	----	
	Comprimento do vão: $L_o = 0,97$ (m)					
	Seção de 0,00 até 0,89 (m)					
	15,0 x 40,0 (cm)					
	sem laje esquerda					
	sem laje direita					

2.3 Vigas adjacentes:

Nome	Formato	Vão	X*	Z*	DX	DZ	
15x40 (Barra 31)	retâng.	P7	(m)	(m)	(m)	(m)	0,40
			P7	0,82	0,00	0,15	

* - coordenadas do canto esquerdo inferior da viga adjacente

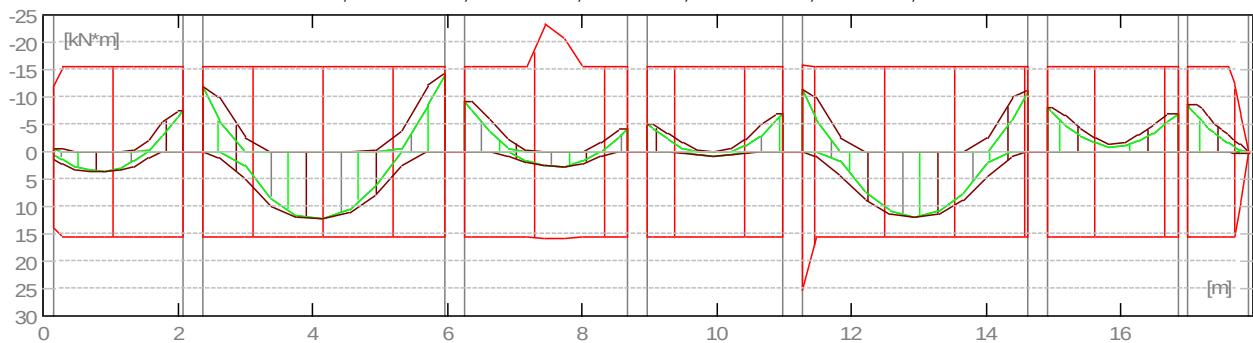
2.4 Opções de cálculo:

- Regulagem das combinações : EN 1990:2002
- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Viga pré-moldada : não
- Cobrimento : fundo c = 3,0 (cm)
- : lado c1= 3,0 (cm)
- : superior c2= 3,0 (cm)
- Desvios de cobrimento : Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)
- Coefficiente $\beta_2 = 0.50$: carga de longo prazo ou cíclica
- Método de cálculos de cisalhamento : inclinação da biela

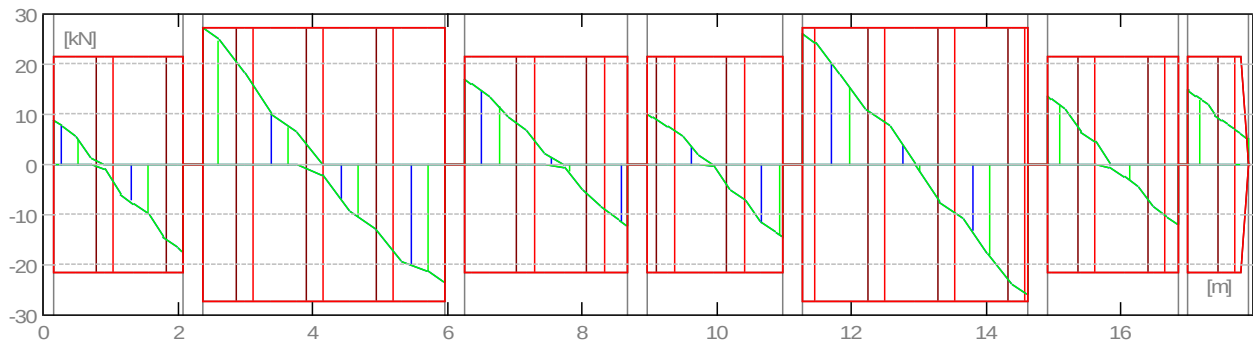
2.5 Resultados do cálculo:

2.5.1 Forças internas em ELU

Vão	Mt máx. (kN*m)	Mt mín. (kN*m)	MI (kN*m)	Mr (kN*m)	Ql (kN)	Qr (kN)
P1	3,51	-2,29	1,44	-7,46	8,84	-17,29
P2	12,24	-0,24	-12,05	-14,12	27,12	-23,48
P3	2,64	-2,33	-9,22	-4,27	16,82	-12,20
P4	0,71	-2,30	-4,86	-6,96	10,05	-14,52
P5	11,88	-0,00	-11,38	-11,19	26,15	-25,86
P6	0,00	-4,13	-8,10	-7,06	13,55	-11,82
P7	0,32	-6,37	-8,48	0,32	14,87	5,06



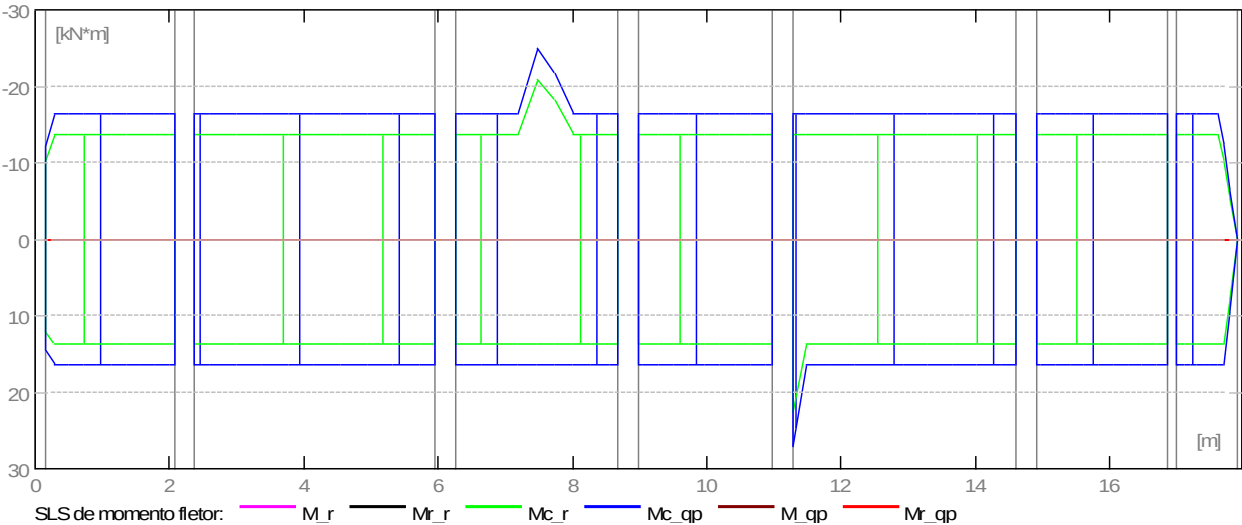
ELU de momento fletor: — M — Mr — Mt — Mc



ELU de força de cisalhamento: — V — Vr — Vc (estribos) — Vc (total)

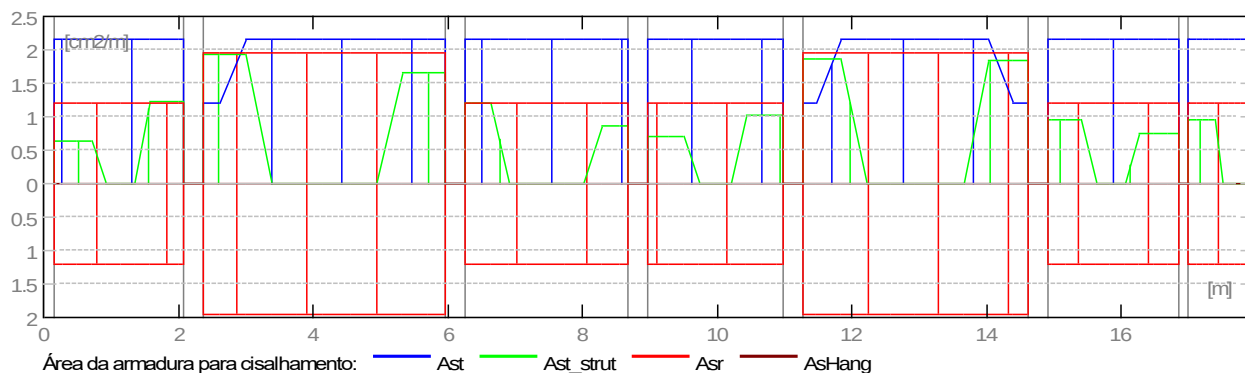
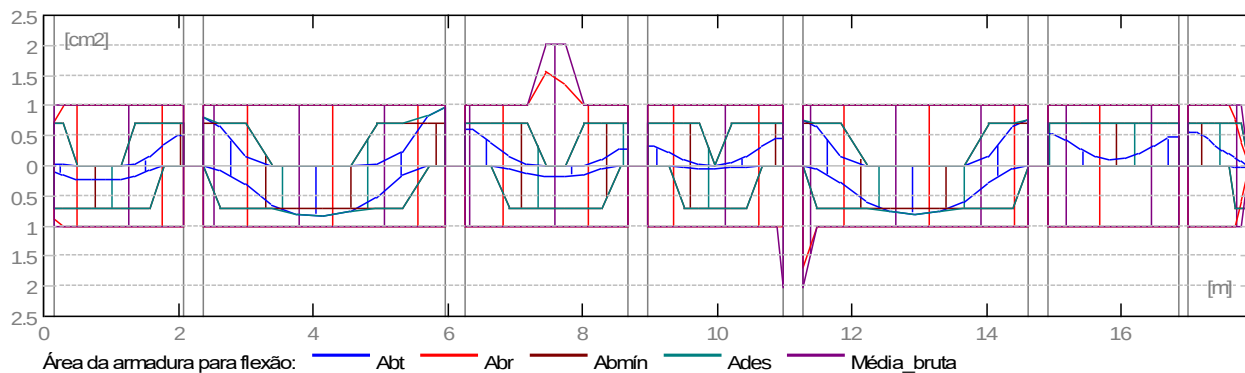
2.5.2 Forças internas em SLS

Vão	Mt máx. (kN*m)	Mt mín. (kN*m)	MI (kN*m)	Mr (kN*m)	Ql (kN)	Qr (kN)
P1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



2.5.3 Área de armadura necessária

Vão	Vão (cm2)		Apoio esquerdo (cm2)		Apoio direito (cm2)	
	fundo	superior	fundo	superior	fundo	superior
P1	0,23	0,00	0,09	0,03	0,00	0,50
P2	0,82	0,00	0,00	0,81	0,00	0,95
P3	0,17	0,00	0,00	0,62	0,00	0,28
P4	0,05	0,00	0,00	0,32	0,00	0,46
P5	0,80	0,00	0,00	0,76	0,00	0,75
P6	0,00	0,00	0,00	0,54	0,00	0,47
P7	0,02	0,00	0,00	0,57	0,02	0,00



2.5.4 Deflexão e fissura

wt(QP) Total devido à combinação quase permanente

wt(QP)dop Tolerável devido à combinação quase permanente

Dwt(QP) Incremento de flecha da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.

Dwt(QP)dop Incremento de flecha admissível da combinação de carga quase permanente após erguer uma estrutura.

wk - largura das fissuras perpendiculares

Vão	wt(QP) (cm)	wt(QP)dop (cm)	Dwt(QP) (cm)	Dwt(QP)dop (cm)	wk (mm)
P1	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
P2	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0
P3	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0
P4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
P5	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0
P6	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
P7	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0

2.6 Resultados teóricos - resultados detalhados:

2.6.1 P1 : Vão de 0,15 até 2,08 (m)

Abscissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)		
0,15	1,44	-0,53	0,00	0,00	0,09	0,03
0,29	2,35	-0,53	0,00	0,00	0,15	0,03
0,51	3,27	-0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
0,72	3,50	-0,00	0,00	0,00	0,23	0,00

0,94	3,51	-0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
1,15	3,42	-0,00	0,00	0,00	0,23	0,00
1,37	2,77	-0,22	0,00	0,00	0,18	0,01
1,58	1,24	-2,29	0,00	0,00	0,08	0,14
1,80	0,00	-5,48	0,00	0,00	0,00	0,36
2,01	0,00	-7,46	0,00	0,00	0,00	0,50
2,08	0,00	-7,46	0,00	0,00	0,00	0,50

Abscissa (m)	ULS	SLS	afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
0,15	8,84	0,00	0,0
0,29	7,53	0,00	0,0
0,51	5,52	0,00	0,0
0,72	1,21	0,00	0,0
0,94	-0,80	0,00	0,0
1,15	-5,99	0,00	0,0
1,37	-8,00	0,00	0,0
1,58	-10,02	0,00	0,0
1,80	-14,67	0,00	0,0
2,01	-16,68	0,00	0,0
2,08	-17,29	0,00	0,0

2.6.2 P2 : Vão de 2,38 até 5,96 (m)

Abscissa (m)	ULS	M mín. (kN*m)	SLS	M mín. (kN*m)	A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)		M máx. (kN*m)			
2,38	0,00	-12,05	0,00	0,00	0,00	0,81
2,61	1,04	-10,00	0,00	0,00	0,07	0,66
3,00	5,02	-2,36	0,00	0,00	0,32	0,15
3,39	9,89	-0,00	0,00	0,00	0,66	0,00
3,78	11,95	-0,00	0,00	0,00	0,80	0,00
4,17	12,24	-0,00	0,00	0,00	0,82	0,00
4,56	11,21	-0,00	0,00	0,00	0,75	0,00
4,95	7,90	-0,24	0,00	0,00	0,52	0,02
5,33	2,53	-3,92	0,00	0,00	0,15	0,24
5,72	0,00	-12,35	0,00	0,00	0,00	0,83
5,96	0,00	-14,12	0,00	0,00	0,00	0,95

Abscissa (m)	ULS	SLS	afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
2,38	27,12	0,00	0,0
2,61	24,89	0,00	0,0
3,00	18,12	0,00	0,0
3,39	10,03	0,00	0,0
3,78	6,39	0,00	0,0
4,17	-1,99	0,00	0,0
4,56	-9,52	0,00	0,0
4,95	-13,16	0,00	0,0
5,33	-19,24	0,00	0,0
5,72	-21,24	0,00	0,0
5,96	-23,48	0,00	0,0

2.6.3 P3 : Vão de 6,26 até 8,68 (m)

Abscissa (m)	ULS	M mín. (kN*m)	SLS	M mín. (kN*m)	A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)		M máx. (kN*m)			
6,26	0,00	-9,22	0,00	0,00	0,00	0,62
6,38	0,00	-9,22	0,00	0,00	0,00	0,62
6,65	0,00	-5,87	0,00	0,00	0,00	0,39
6,93	0,92	-2,33	0,00	0,00	0,06	0,15
7,20	2,07	-0,37	0,00	0,00	0,13	0,02
7,47	2,55	-0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
7,74	2,64	-0,00	0,00	0,00	0,17	0,00
8,01	2,23	-0,07	0,00	0,00	0,15	0,00
8,28	0,96	-1,71	0,00	0,00	0,06	0,10

8,55	0,00	-4,27	0,00	0,00	0,00	0,28
8,68	0,00	-4,27	0,00	0,00	0,00	0,28

Abscissa (m)	ULS	SLS	afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
6,26	16,82	0,00	0,0
6,38	16,02	0,00	0,0
6,65	13,47	0,00	0,0
6,93	9,25	0,00	0,0
7,20	6,71	0,00	0,0
7,47	2,08	0,00	0,0
7,74	-0,46	0,00	0,0
8,01	-5,01	0,00	0,0
8,28	-8,53	0,00	0,0
8,55	-11,06	0,00	0,0
8,68	-12,20	0,00	0,0

2.6.4 P4 : Vão de 8,98 até 10,98 (m)

Abscissa (m)	ULS	M mín. (kN*m)	SLS	M mín. (kN*m)	A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)		M máx. (kN*m)			
8,98	0,00	-4,86	0,00	0,00	0,00	0,32
9,06	0,00	-4,86	0,00	0,00	0,00	0,32
9,29	0,00	-3,46	0,00	0,00	0,00	0,23
9,52	0,38	-1,63	0,00	0,00	0,02	0,10
9,75	0,66	-0,39	0,00	0,00	0,04	0,02
9,98	0,71	-0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
10,21	0,63	-0,69	0,00	0,00	0,04	0,04
10,44	0,30	-2,30	0,00	0,00	0,02	0,15
10,67	0,00	-4,91	0,00	0,00	0,00	0,33
10,90	0,00	-6,96	0,00	0,00	0,00	0,46
10,98	0,00	-6,96	0,00	0,00	0,00	0,46

Abscissa (m)	ULS	SLS	afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
8,98	10,05	0,00	0,0
9,06	9,30	0,00	0,0
9,29	7,71	0,00	0,0
9,52	5,56	0,00	0,0
9,75	1,80	0,00	0,0
9,98	-0,35	0,00	0,0
10,21	-5,08	0,00	0,0
10,44	-7,23	0,00	0,0
10,67	-11,62	0,00	0,0
10,90	-13,77	0,00	0,0
10,98	-14,52	0,00	0,0

2.6.5 P5 : Vão de 11,28 até 14,61 (m)

Abscissa (m)	ULS	M mín. (kN*m)	SLS	M mín. (kN*m)	A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)		M máx. (kN*m)			
11,28	0,00	-11,38	0,00	0,00	0,00	0,76
11,49	0,78	-10,04	0,00	0,00	0,05	0,67
11,85	4,32	-2,61	0,00	0,00	0,27	0,16
12,22	8,99	-0,00	0,00	0,00	0,60	0,00
12,58	11,30	-0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
12,94	11,88	-0,00	0,00	0,00	0,80	0,00
13,31	11,31	-0,00	0,00	0,00	0,76	0,00
13,67	9,00	-0,00	0,00	0,00	0,60	0,00
14,03	4,36	-2,55	0,00	0,00	0,27	0,16
14,40	0,81	-9,87	0,00	0,00	0,05	0,66
14,61	0,00	-11,19	0,00	0,00	0,00	0,75

Abscissa	ULS	SLS	afp
	V máx.	V máx.	

(m)	(kN)	(kN)	(mm)
11,28	26,15	0,00	0,0
11,49	24,15	0,00	0,0
11,85	17,99	0,00	0,0
12,22	10,88	0,00	0,0
12,58	7,47	0,00	0,0
12,94	0,01	0,00	0,0
13,31	-7,44	0,00	0,0
13,67	-10,84	0,00	0,0
14,03	-17,88	0,00	0,0
14,40	-23,86	0,00	0,0
14,61	-25,86	0,00	0,0

2.6.6 P6 : Vão de 14,91 até 16,85 (m)

Abscissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)		
14,91	0,00	-8,10	0,00	0,00	0,00	0,54
14,98	0,00	-8,10	0,00	0,00	0,00	0,54
15,19	0,00	-6,53	0,00	0,00	0,00	0,43
15,41	0,00	-4,13	0,00	0,00	0,00	0,27
15,63	0,00	-2,43	0,00	0,00	0,00	0,16
15,84	0,00	-1,37	0,00	0,00	0,00	0,09
16,06	0,00	-1,74	0,00	0,00	0,00	0,11
16,28	0,00	-3,01	0,00	0,00	0,00	0,20
16,49	0,00	-4,92	0,00	0,00	0,00	0,33
16,71	0,00	-7,06	0,00	0,00	0,00	0,47
16,85	0,00	-7,06	0,00	0,00	0,00	0,47

Abscissa (m)	ULS		SLS afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
14,91	13,55	0,00	0,0
14,98	12,93	0,00	0,0
15,19	10,90	0,00	0,0
15,41	6,46	0,00	0,0
15,63	4,43	0,00	0,0
15,84	-0,51	0,00	0,0
16,06	-2,54	0,00	0,0
16,28	-4,56	0,00	0,0
16,49	-8,47	0,00	0,0
16,71	-10,50	0,00	0,0
16,85	-11,82	0,00	0,0

2.6.7 P7 : Balanço direito de 17,00 até 17,89 (m)

Abscissa (m)	ULS		SLS		A fundo (cm2)	A superior (cm2)
	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)	M máx. (kN*m)	M mín. (kN*m)		
17,00	0,00	-8,48	0,00	0,00	0,00	0,57
17,02	0,00	-8,48	0,00	0,00	0,00	0,57
17,12	0,00	-8,48	0,00	0,00	0,00	0,57
17,21	0,00	-7,72	0,00	0,00	0,00	0,51
17,31	0,00	-6,37	0,00	0,00	0,00	0,42
17,41	0,00	-5,12	0,00	0,00	0,00	0,34
17,50	0,00	-3,95	0,00	0,00	0,00	0,26
17,60	0,00	-2,93	0,00	0,00	0,00	0,19
17,70	0,22	-2,08	0,00	0,00	0,01	0,14
17,79	0,32	-1,31	0,00	0,00	0,02	0,08
17,89	0,32	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

Abscissa (m)	ULS		SLS afp (mm)
	V máx. (kN)	V máx. (kN)	
17,00	14,87	0,00	0,0
17,02	14,67	0,00	0,0
17,12	13,76	0,00	0,0
17,21	12,86	0,00	0,0

17,31	11,95	0,00	0,0
17,41	9,58	0,00	0,0
17,50	8,67	0,00	0,0
17,60	7,77	0,00	0,0
17,70	6,87	0,00	0,0
17,79	5,96	0,00	0,0
17,89	5,06	0,00	0,0

2.7 Armadura:

2.7.1 P1 : Vão de 0,15 até 2,08 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
2 ϕ 8 $l = 11,47$ de 0,03 até 11,43
- apoio (CA-50)
2 ϕ 8 $l = 7,97$ de 0,03 até 7,85

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 8 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,05 + 7*0,26$ (m)

2.7.2 P2 : Vão de 2,38 até 5,96 (m)

Armadura longitudinal:

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 22 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,10 + 21*0,16$ (m)

2.7.3 P3 : Vão de 6,26 até 8,68 (m)

Armadura longitudinal:

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 10 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,04 + 9*0,26$ (m)

2.7.4 P4 : Vão de 8,98 até 10,98 (m)

Armadura longitudinal:

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 8 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,09 + 7*0,26$ (m)

2.7.5 P5 : Vão de 11,28 até 14,61 (m)

Armadura longitudinal:

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 21 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,08 + 20*0,16$ (m)

2.7.6 P6 : Vão de 14,91 até 16,85 (m)

Armadura longitudinal:

- fundo (CA-50)
2 ϕ 8 $l = 7,03$ de 10,90 até 17,86
- apoio (CA-50)
2 ϕ 8 $l = 10,64$ de 7,29 até 17,86

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 8 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,06 + 7*0,26$ (m)

2.7.7 P7 : Balanço direito de 17,00 até 17,89 (m)

Armadura longitudinal:

Armadura transversal:

- principal (CA-50)
estribos 4 ϕ 6.3 $l = 0,79$
 $e = 1*0,06 + 3*0,26$ (m)

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 1,07 (m³)
- Gabarito = 16,85 (m²)
- Aço CA-50
 - Peso total= 44,90 (kG)
 - Densidade = 41,83 (kG/m³)
 - Diâmetro médio = 7,2 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Peso (kG)	Peso (Nº)	Número (kG)	Peso total
6.3	0,79	0,19	81	15,59	
8	7,03	2,78	2	5,55	
8	7,97	3,15	2	6,29	
8	10,64	4,20	2	8,40	
8	11,47	4,53	2	9,06	

1 Nível:

- Nome : Nível +3,15
- Nível de referência : ---
- Coeficiente de fluência do concreto : $\varphi_p = 3,121$
- Classe do cimento : N
- Classe do ambiente : XC1
- Classe de estrutura : S3

2 Coluna: P06 Número de elementos idênticos: 1

2.1 Propriedades de material:

- Concreto : C25 $f_{ck} = 25,00$ (MPa)
Peso unitário : 2498,30 (kG/m³)
Tamanho do agregado : 20,0 (mm)
- Armadura longitudinal: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)
Classe de ductilidade : B
- Armadura transversal: : CA-50 $f_{yk} = 500,00$ (MPa)

2.2 Geometria:

- 2.2.1 Retangular 15,0 x 30,0 (cm)
- 2.2.2 Altura: L = 3,15 (m)
- 2.2.3 Espessura da laje = 0,10 (m)
- 2.2.4 Altura da viga = 0,40 (m)
- 2.2.5 Cobrimento = 3,0 (cm)

2.3 Opções de cálculo:

- Cálculos de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Disposições sísmicas : Sem requisitos
- Coluna pré-moldada : não
- Pré-projeto : não
- Esbeltez levada em consideração : sim
- Compressão : com flexão
- Amarras : à viga
- Classe de resistência ao fogo : Sem requisitos

2.4 Cargas:

Caso	Natureza	Grupo	γ_f	N (kN)	My(s) (kN*m)	My(i) (kN*m)	Mz(s) (kN*m)	Mz(i) (kN*m)
COMB2	projeto	111	1,000	143,65	-4,11	3,47	-2,70	1,78

γ_f - fator de carga

2.5 Resultados do cálculo:

Fatores de segurança $R_d/E_d = 1,065 > 1.0$

2.5.1 Análise ELU/ALS

Combinação do projeto: COMB2 (C)

Tipo de combinação: ULS

Forças internas:

Nsd = 143,65 (kN) Msdy = -1,64 (kN*m) Msdz = -1,08 (kN*m)

Forças do projeto:

Seção transversal no meio da coluna

N = 143,65 (kN) N*etotz = -2,87 (kN*m) N*etoty = -13,59 (kN*m)

Excentricidade:		ez (My/N)	ey (Mz/N)
Inicial	e0:	-1,1 (cm)	-0,8 (cm)
Imperfeição	ei:	0,0 (cm)	0,8 (cm)
I ordem (e0 + ei)	e0Ed:	-1,1 (cm)	0,0 (cm)
Mínima	eEdmin:	2,0 (cm)	2,0 (cm)
Total	eEd:	-2,0 (cm)	-9,5 (cm)

2.5.1.1. Análise detalhada-Direção Y:

2.5.1.1.1 Análise de esbeltez

Estrutura indeslocável

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
3,15	3,15	36,373	94,107	Coluna curta

2.5.1.1.2 Análise de flambagem

MA = -4,11 (kN*m) MB = 3,47 (kN*m) MC = -1,64 (kN*m)

Caso: Seção transversal no meio da coluna, Esbeltez não levada em consideração

M02 = max(|MA| ; |MB|)

M01 = min(|MA| ; |MB|)

M0e = 0.6*M02+0.4*M01 = -1,64 (kN*m)

M0emin = 0.4*M02

M0 = max(M0e, M0emin)

ea = 0,0 (cm)

Ma = N*ea = 0,00 (kN*m)

MEdmin = 2,87 (kN*m)

M0Ed = max(MEdmin, M0 + Ma) = -2,87 (kN*m)

2.5.1.2. Análise detalhada-Direção Z:

2.5.1.2.1 Análise de esbeltez

Estrutura indeslocável

L (m)	Lo (m)	λ	λ_{lim}	
3,15	3,15	72,746	61,272	Coluna esbelta

2.5.1.2.2 Análise de flambagem

MA = -2,70 (kN*m) MB = 1,78 (kN*m) MC = -1,08 (kN*m)

Caso: Seção transversal no meio da coluna, Esbeltez levada em consideração

M02 = max(|MA| ; |MB|)

M01 = min(|MA| ; |MB|)

M0e = 0.6*M02+0.4*M01 = -1,08 (kN*m)

M0emin = 0.4*M02

M0 = max(M0e, M0emin)

ea = $\theta_1 * l_0 / 2 = 0,8$ (cm)

$\theta_1 = \theta_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,005$

$$\begin{aligned}\theta_o &= 0,005 \\ \alpha h &= 1,000 \\ \alpha m &= (0,5(1+1/m))^{0.5} = 1,000 \\ m &= 1,000\end{aligned}$$

Método baseado na rigidez nominal

$$\left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] = 6,147$$

$$\beta = 1,234$$

$$N_b = (\pi^2 * EJ) / l_o^2 = 178,09 \text{ (kN)}$$

$$EJ = K_c * E_{cd} * J_c + K_s * E_s * J_s = 179,04 \text{ (kN*m}^2\text{)}$$

$$\varphi_{ef} = 3,121$$

$$J_c = 8437,5 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$J_s = 65,3 \text{ (cm}^4\text{)}$$

$$K_c = 0,022 \text{ ()}$$

$$K_s = 1,000 \text{ ()}$$

$$M_{Edmin} = 2,87 \text{ (kN*m)}$$

$$M_{Ed} = \max \left\{ M_{Edmin}; \left[1 + \frac{\beta}{(N_B / N) - 1} \right] M_{0Ed} \right\} = -13,59 \text{ (kN*m)}$$

2.5.2 Armadura:

Área real (fornecida)

$$A_{sr} = 6,28 \text{ (cm}^2\text{)}$$

Relação:

$$\rho = 1,396 \%$$

2.6 Armadura:

Barras principais (CA-50):

- 8 $\phi 10$ $l = 3,55 \text{ (m)}$

Armadura transversal: (CA-50):

estribos: 23 $\phi 6.3$ $l = 0,62 \text{ (m)}$

3 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,12 (m3)
- Gabarito = 2,48 (m2)
- Aço CA-50
 - Peso total = 20,99 (kG)
 - Densidade = 169,60 (kG/m3)
 - Diâmetro médio = 8,8 (mm)
 - Levantamento de armaduras:

Diâmetro	Comprimento (m)	Peso (kG)	Número (Nº)	Peso total (kG)
6.3	0,62	0,15	23	3,47
10	3,55	2,19	8	17,52

1. Laje: L13

1.1. Armadura:

- Tipo : NBR 6118
- Direção da armadura principal : 0°
- Grau da armadura principal : CA-50; Resistência característica = 500,00 MPa
- Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
- Diâmetros da barra
 - fundo d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
 - superior d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
- Cobrimento
 - fundo c1 = 1,5 (cm)
 - superior c2 = 1,5 (cm)
- Desvios de cobrimento Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)

1.2. Concreto

- Classe : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
- Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
- Densidade : 2549,29 (kg/m³)
- Coeficiente de fluência do concreto : 3,121
- Classe do cimento : N

1.3. Hipóteses

- Cálculos de acordo com 1992-1-1:2004/A1:2014 : EN
- Método de cálculo da área de armadura : analítica
- Largura de fissura tolerável
 - camada superior : 0,30 (mm)
 - camada inferior : 0,30 (mm)
- Deflexão tolerável : 3,0 (cm)
- Verificação da punção : sim
- Exposição
 - camada superior : XC1
 - camada inferior : XC1
- Tipo de cálculo : flexão simples
- Classe de estrutura : S3

1.4. Geometria da laje

Espessura 0,10 (m)

Contorno:

aresta	início		fim		comprimento
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	0,00	3,30	3,89	3,30	3,89
2	3,89	3,30	3,89	0,00	3,30
3	3,89	0,00	0,00	0,00	3,89
4	0,00	0,00	0,00	3,30	3,30

Apoio:

n°	Nome	dimensões	coordenadas	aresta
----	------	-----------	-------------	--------

		(m)	x	y	
6	ponto	0,30 / 0,15	0,00	3,30	—
6	linear		0,00	1,65	—
6	linear	0,15 / 3,89	1,95	3,30	—
16	ponto	0,30 / 0,15	0,00	0,00	—
16	linear	0,15 / 3,89	1,95	0,00	—
61	linear	3,30 / 0,15	3,89	1,65	—
61	ponto	0,30 / 0,15	3,89	3,30	—
61	ponto	0,30 / 0,15	3,89	3,30	—
62	ponto	0,30 / 0,15	3,89	0,00	—
62	ponto	0,30 / 0,15	3,89	0,00	—

* - presença de cabeça

1.5. Resultados do cálculo:

1.5.1. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Armadura fornecida (cm2/m):	3,93 3,93	3,93	3,93
Armadura necessária modificada (cm2/m):	0,76 0,91	0,95	0,47
Armadura necessária original (cm2/m):	0,76 0,91	0,95	0,47
Coordenadas (m):	3,89;2,36 1,71;1,59	2,46;1,21	3,89;3,30

1.5.2. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Símbolo: área necessária/área fornecida			
Ax(+) (cm2/m)	0,76/3,93 0,00/0,00	0,00/3,93	0,67/3,93
Ax(-) (cm2/m)	0,00/0,00 0,61/3,93	0,95/3,93	0,00/3,93
Ay(+) (cm2/m)	0,07/3,93 0,00/0,00	0,00/0,00	0,47/3,93
Ay(-) (cm2/m)	0,16/3,93 0,91/3,93	0,84/3,93	0,05/3,93
ULS			
Mxx (kN*m/m)	1,96 -1,80	-1,62	0,96
Myy (kN*m/m)	-0,11 -2,32	-1,95	0,76
Mxy (kN*m/m)	0,19 -0,01	-0,18	0,53
Nxx (kN/m)	-0,80 -0,22	-0,04	-1,57
Nyy (kN/m)	5,33 -0,44	0,17	7,95

Nxy (kN/m)	0,29 0,06	0,17	1,68
Coordenadas (m)	3,89;2,36 1,71;1,59	2,46;1,21	3,89;3,30
Coordenadas* (m)	15,67;2,36;6,30 13,48;1,59;6,30	14,24;1,21;6,30	15,67;3,30;6,30
estrutura	* - Coordenadas no sistema de coordenadas global da		

1.5.4. Deflexão

$$|f(+)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(+) = 3,0 \text{ (cm)}$$

$$|f(-)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(-) = 3,0 \text{ (cm)}$$

1.5.5. Fissura

camada superior

$$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

$$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

camada inferior

$$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

$$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

2. Cargas:

Caso	Tipo	Lista	Valor
1	peso próprio	59 60 62para76	118 PZ Negativo
2	(EF) uniforme	67para76	PZ=-0,89(kN/m2)
3	carga uniforme		PZ=-5,22(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,33(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,90(kN/m)
4	(EF) uniforme	60 62para73	PZ=-0,15(kN/m2)
4	(EF) uniforme	118	PZ=-0,15(kN/m2)
5	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,40(kN/m2)
5	(EF) uniforme	118	PZ=-0,40(kN/m2)
6	(EF) uniforme	59	PZ=-2,82(kN/m2)
7	(EF) uniforme	67para72	PZ=-1,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	73para76	PZ=-2,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	118	PZ=-0,10(kN/m2)

Combinação/Componente

ULS/8

ULS/9

Definição

$$(1+2+3+4+5+6+7)*1.400$$

$$(1+2+3+4+5+6)*1.200+7*1.600$$

3. Resultados - detalhamento

Lista de soluções:

Armadura: barras

Solução n°	Alcance da armadura Diâmetro / Peso	Peso total (kG)
1	-	138,55
2	-	171,95
3	-	177,52
4	-	177,52
5	-	183,09
6	-	216,49

Resultados para a solução nº 1
Zonas de armadura

Armadura inferior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1 (cm2/m)	x2 (cm2/m)	y2 (cm2/m)			
1/1- Ax principal <	0,00 3,93	0,00	3,89	3,30	10,0 / 20,0	0,95	
1/2- Ay perpendicular <	0,00 3,93	0,00	3,89	3,30	10,0 / 20,0	0,91	

Armadura superior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1 (cm2/m)	x2 (cm2/m)	y2 (cm2/m)			
1/1+(1/4+) Ax principal <	0,00 3,93	0,00	0,97	3,30	10,0 / 20,0	0,70	
1/2+(1/4+) Ax principal <	2,92 3,93	0,00	3,89	3,30	10,0 / 20,0	0,76	
1/3+(1/4+) Ax principal <	0,97 3,93	0,00	3,89	0,83	10,0 / 20,0	0,27	
1/4+ Ax principal <	0,97 3,93	2,48	3,89	3,30	10,0 / 20,0	0,14	
1/5+(1/8+) Ay perpendicular 20,0	0,00 0,45	0,00 <	0,00 3,93	3,89	0,83	10,0 /	
1/6+(1/8+) Ay perpendicular 20,0	0,97 0,47	2,48 <	3,89 3,93	3,89	3,30	10,0 /	
1/7+(1/8+) Ay perpendicular 20,0	0,00 0,26	0,00 <	0,00 3,93	0,97	3,30	10,0 /	
1/8+ Ay perpendicular <	2,92 3,93	0,83	3,89	2,48	10,0 / 20,0	0,23	

4. Levantamento de materiais

- Volume de concreto = 1,28 (m3)
- Gabarito = 12,84 (m2)
- Circunferência da laje = 14,38 (m)
- Área de aberturas = 0,00 (m2)
- Aço CA-50
- Peso total = 147,81 (kG)
- Densidade = 115,14 (kG/m3)
- Diâmetro médio = 10,0 (mm)
- Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número de elementos idênticos:
10	0,87	20
10	1,53	18
10	3,27	30
10	3,86	25

1. Laje: 1º LANCE DA ESCADA

1.1. Armadura:

- Tipo : NBR 6118
- Direção da armadura principal : 0°
- Grau da armadura principal : CA-50; Resistência característica = 500,00 MPa
- Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
- Diâmetros da barra
 - fundo d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
 - superior d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
- Cobrimento
 - fundo c1 = 1,5 (cm)
 - superior c2 = 1,5 (cm)
- Desvios de cobrimento Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)

1.2. Concreto

- Classe : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
- Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
- Densidade : 2549,29 (kg/m³)
- Coeficiente de fluência do concreto : 1,573
- Classe do cimento : N

1.3. Hipóteses

- Cálculos de acordo com 1992-1-1:2004/A1:2014 : EN
- Método de cálculo da área de armadura : analítica
- Largura de fissura tolerável
 - camada superior : 0,30 (mm)
 - camada inferior : 0,30 (mm)
- Deflexão tolerável : 3,0 (cm)
- Verificação da punção : não
- Exposição
 - camada superior : XC1
 - camada inferior : XC1
- Tipo de cálculo : flexão simples
- Classe de estrutura : S3

1.4. Geometria da laje

Espessura 0,15 (m)

Contorno:

aresta	início		fim		comprimento
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	-0,95	-0,00	-0,00	-0,00	0,95
2	-0,00	-0,00	-0,02	-3,18	3,18
3	-0,02	-3,18	-0,97	-3,18	0,95
4	-0,97	-3,18	-0,95	-0,00	3,18

Apoio:

n°	Nome	dimensões	coordenadas	aresta
----	------	-----------	-------------	--------

74	linear	(m)	x	y	—
0	linear	0,15 / 0,95	-0,49	-3,18	—
			-0,47	-0,00	—

* - presença de cabeça

1.5. Resultados do cálculo:

1.5.1. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Armadura fornecida (cm2/m):	3,93 3,93	3,93	4,36
Armadura necessária modificada (cm2/m):	0,81 1,26	0,48	4,04
Armadura necessária original (cm2/m):	0,81 1,26	0,48	4,04
Coordenadas (m):	-0,02;-3,18 -0,96;-1,06	-0,96;-1,59	-0,02;-3,18

1.5.2. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Símbolo: área necessária/área fornecida			
Ax(+) (cm2/m)	0,81/3,93 0,01/3,93	0,01/3,93	0,81/3,93
Ax(-) (cm2/m)	0,23/3,93 0,16/3,93	0,48/3,93	0,23/3,93
Ay(+) (cm2/m)	4,04/4,36 0,00/4,36	0,00/4,36	4,04/4,36
Ay(-) (cm2/m)	0,00/0,00 1,26/3,93	1,26/3,93	0,00/0,00
	ULS		
Mxx (kN*m/m)	3,47 -0,01	-0,06	3,47
Myy (kN*m/m)	18,09 -5,61	-4,84	18,09
Mxy (kN*m/m)	-1,02 0,58	0,33	-1,02
Nxx (kN/m)	-4,51 -6,48	-4,35	-4,51
Nyy (kN/m)	-20,22 -67,81	-62,35	-20,22
Nxy (kN/m)	18,55 0,45	1,51	18,55
Coordenadas (m)	-0,02;-3,18 -0,96;-1,06	-0,96;-1,59	-0,02;-3,18
Coordenadas* (m)	8,31;2,35;0,00 9,99;3,30;1,29	9,57;3,30;0,97	8,31;2,35;0,00

* - Coordenadas no sistema de coordenadas global da estrutura

1.5.4. Deflexão

$$|f(+)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(+) = 3,0 \text{ (cm)}$$

$$|f(-)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(-) = 3,0 \text{ (cm)}$$

1.5.5. Fissura

camada superior

$$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

$$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

camada inferior

$$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

$$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$$

2. Cargas:

Caso	Tipo	Lista	Valor
1	peso próprio	59 60 62para73 118 120para122	
PZ Negativo			
2	(EF) uniforme	67para73	PZ=-0,89(kN/m2)
2	(EF) uniforme	120para122	PZ=-0,89(kN/m2)
3	carga uniforme		PZ=-5,22(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,33(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,90(kN/m)
4	(EF) uniforme	60 62para73	PZ=-0,15(kN/m2)
4	(EF) uniforme	118	PZ=-0,15(kN/m2)
5	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,40(kN/m2)
5	(EF) uniforme	118	PZ=-0,40(kN/m2)
6	(EF) uniforme	59	PZ=-2,82(kN/m2)
7	(EF) uniforme	67para72	PZ=-1,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	73	PZ=-2,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	118	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	120para122	PZ=-2,50(kN/m2)
Combinação/Componente		Definição	
ULS/8		(1+2+3+4+5+6+7)*1.400	
ULS/9		(1+2+3+4+5+6)*1.200+7*1.600	

3. Resultados - detalhamento

Lista de soluções:

Armadura: barras

Solução n°	Alcance da armadura Diâmetro / Peso	Peso total (kG)
1	-	38,30
2	-	47,74
3	-	47,74
4	-	48,78
5	-	48,78
6	-	58,22

Resultados para a solução n° 1

Zonas de armadura

Armadura inferior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2			
1/1- Ax principal <	-0,97 3,93	-3,18	-0,00	-0,00	10,0 / 20,0	0,48	
1/2- Ay perpendicular <	-0,97 3,93	-3,18	-0,00	-0,00	10,0 / 20,0	1,26	
Armadura superior							
Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2			
1/1+ Ax principal <	-0,97 3,93	-3,18	-0,00	-0,00	10,0 / 20,0	0,81	
1/2+ Ay perpendicular <	-0,97 4,36	-3,18	-0,00	-0,00	10,0 / 18,0	4,04	

4. Levantamento de materiais

- Volume de concreto = 0,45 (m3)
- Gabarito = 3,02 (m2)
- Circunferência da laje = 8,26 (m)
- Área de aberturas = 0,00 (m2)
- Aço CA-50
- Peso total = 39,53 (kG)
- Densidade = 87,23 (kG/m3)
- Diâmetro médio = 10,0 (mm)
- Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número de elementos idênticos:
10	0,92	32
10	3,15	11

1. Laje: PATAMAR DA ESCADA

1.1. Armadura:

- Tipo : NBR 6118
 - Direção da armadura principal : 0°
 - Grau da armadura principal : CA-50; Resistência característica = 500,00 MPa
- Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
 - Diâmetros da barra
 - fundo d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
 - superior d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
 - Cobrimento
 - fundo c1 = 1,5 (cm)
 - superior c2 = 1,5 (cm)
 - Desvios de cobrimento Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)

1.2. Concreto

- Classe : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
- Densidade : 2549,29 (kg/m³)
 - Coeficiente de fluência do concreto : 1,573
 - Classe do cimento : N

1.3. Hipóteses

- Cálculos de acordo com 1992-1-1:2004/A1:2014 : EN
- Método de cálculo da área de armadura : analítica
- Largura de fissura tolerável
 - camada superior : 0,30 (mm)
 - camada inferior : 0,30 (mm)
- Deflexão tolerável : 3,0 (cm)
- Verificação da punção : sim
- Exposição
 - camada superior : XC1
 - camada inferior : XC1
- Tipo de cálculo : flexão simples
- Classe de estrutura : S3

1.4. Geometria da laje

Espessura 0,15 (m)

Contorno:

aresta	início		fim		comprimento
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	-0,00	-0,95	0,94	-0,95	0,94
2	0,94	-0,95	0,94	0,00	0,95
3	0,94	0,00	0,00	0,00	0,94
4	0,00	0,00	-0,00	-0,95	0,95

Apoio:

n°	Nome	dimensões	coordenadas	aresta
----	------	-----------	-------------	--------

		(m)	x	y	
69	linear		0,00	-0,47	—
69	ponto	0,30 / 0,15	-0,00	-0,95	—
69	ponto	0,30 / 0,15	-0,00	-0,95	—
0	linear	0,15 / 0,94	0,47	-0,00	—
0	linear	0,95 / 0,15	0,94	-0,47	—

* - presença de cabeça

1.5. Resultados do cálculo:

1.5.1. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Armadura fornecida (cm2/m):	3,93 3,93	3,93	3,93
Armadura necessária modificada (cm2/m):	1,63 0,83	0,80	0,99
Armadura necessária original (cm2/m):	1,63 0,83	0,80	0,99
Coordenadas (m):	-0,00;-0,95 0,94;0,00	0,94;0,00	-0,00;-0,95

1.5.2. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Símbolo: área necessária/área fornecida			
Ax(+) (cm2/m)	1,63/3,93 0,17/3,93	0,17/3,93	1,63/3,93
Ax(-) (cm2/m)	0,00/3,93 0,80/3,93	0,80/3,93	0,00/3,93
Ay(+) (cm2/m)	0,99/3,93 0,01/3,93	0,01/3,93	0,99/3,93
Ay(-) (cm2/m)	0,27/3,93 0,83/3,93	0,83/3,93	0,27/3,93
	ULS		
Mxx (kN*m/m)	5,23 -2,98	-2,98	5,23
Myy (kN*m/m)	2,25 -3,10	-3,10	2,25
Mxy (kN*m/m)	2,75 1,01	1,01	2,75
Nxx (kN/m)	-40,24 9,61	9,61	-40,24
Nyy (kN/m)	3,10 -7,08	-7,08	3,10
Nxy (kN/m)	-13,70 -0,84	-0,84	-13,70
Coordenadas (m)	-0,00;-0,95 0,94;0,00	0,94;0,00	-0,00;-0,95
Coordenadas* (m)	11,78;3,30;1,93	10,83;2,35;1,93	11,78;3,30;1,93

10,83;2,35;1,93

* - Coordenadas no sistema de coordenadas global da

estrutura

1.5.4. Deflexão

$|f(+)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(+) = 3,0 \text{ (cm)}$

$|f(-)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(-) = 3,0 \text{ (cm)}$

1.5.5. Fissura

camada superior

$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

camada inferior

$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

2. Cargas:

Caso	Tipo	Lista	Valor
1	peso próprio	59 60 62para73 118 120para122	
PZ Negativo			
2	(EF) uniforme	67para73	PZ=-0,89(kN/m2)
2	(EF) uniforme	120para122	PZ=-0,89(kN/m2)
3	carga uniforme		PZ=-5,22(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,33(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,90(kN/m)
4	(EF) uniforme	60 62para73	PZ=-0,15(kN/m2)
4	(EF) uniforme	118	PZ=-0,15(kN/m2)
5	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,40(kN/m2)
5	(EF) uniforme	118	PZ=-0,40(kN/m2)
6	(EF) uniforme	59	PZ=-2,82(kN/m2)
7	(EF) uniforme	67para72	PZ=-1,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	73	PZ=-2,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	118	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	120para122	PZ=-2,50(kN/m2)
Combinação/Componente		Definição	
ULS/8		$(1+2+3+4+5+6+7)*1.400$	
ULS/9		$(1+2+3+4+5+6)*1.200+7*1.600$	

3. Resultados - detalhamento

Lista de soluções:

Armadura: barras

Solução n°	Alcance da armadura Diâmetro / Peso	Peso total (kG)
1	-	11,07
2	-	14,19
3	-	14,19
4	-	14,19
5	-	14,19
6	-	17,30

Resultados para a solução n° 1

Zonas de armadura

Armadura inferior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1 (cm2/m)	x2 (cm2/m)	y2 (cm2/m)			
1/1- Ax principal <	-0,00 3,93	-0,95	0,94	0,00	10,0 / 20,0	0,80	
1/2- Ay perpendicular <	-0,00 3,93	-0,95	0,94	0,00	10,0 / 20,0	0,83	

Armadura superior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida ϕ (mm) / (cm)	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1 (cm2/m)	x2 (cm2/m)	y2 (cm2/m)			
1/1+ Ax principal <	-0,00 3,93	-0,95	0,94	0,00	10,0 / 20,0	1,63	
1/2+ Ay perpendicular <	-0,00 3,93	-0,95	0,94	0,00	10,0 / 20,0	0,99	

4. Levantamento de materiais

- Volume de concreto = 0,13 (m3)
- Gabarito = 0,90 (m2)
- Circunferência da laje = 3,79 (m)
- Área de aberturas = 0,00 (m2)

- Aço CA-50
- Peso total = 9,05 (kG)
- Densidade = 67,24 (kG/m3)
- Diâmetro médio = 10,0 (mm)
- Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número de elementos idênticos:
10	0,91	16

1. Laje: 2º LANCE DA ESCADA

1.1. Armadura:

- Tipo : NBR 6118
- Direção da armadura principal : 0°
- Grau da armadura principal : CA-50; Resistência característica = 500,00 MPa
- Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
- Classe de ductilidade : B
- Diâmetros da barra
 - fundo d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
 - superior d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)
- Cobrimento
 - fundo c1 = 1,5 (cm)
 - superior c2 = 1,5 (cm)
- Desvios de cobrimento Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)

1.2. Concreto

- Classe : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
- Distribuição de tensões retangulares [3.1.7(3)]
- Densidade : 2549,29 (kg/m³)
- Coeficiente de fluência do concreto : 1,573
- Classe do cimento : N

1.3. Hipóteses

- Cálculos de acordo com 1992-1-1:2004/A1:2014 : EN
- Método de cálculo da área de armadura : analítica
- Largura de fissura tolerável
 - camada superior : 0,30 (mm)
 - camada inferior : 0,30 (mm)
- Deflexão tolerável : 3,0 (cm)
- Verificação da punção : não
- Exposição
 - camada superior : XC1
 - camada inferior : XC1
- Tipo de cálculo : flexão simples
- Classe de estrutura : S3

1.4. Geometria da laje

Espessura 0,15 (m)

Contorno:

aresta	início		fim		comprimento
	x1	y1	x2	y2	(m)
1	0,00	-0,94	1,75	-0,94	1,75
2	1,75	-0,94	1,75	0,00	0,94
3	1,75	0,00	0,00	0,00	1,75
4	0,00	0,00	0,00	-0,94	0,94

Apoio:

n°	Nome	dimensões	coordenadas	aresta
----	------	-----------	-------------	--------

0	linear	(m)	x	y	—
*	- presença de cabeça		1,75	-0,47	

1.5. Resultados do cálculo:

1.5.1. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Armadura fornecida (cm2/m):	3,93 3,93	3,93	5,61
Armadura necessária modificada (cm2/m):	2,73 0,94	0,91	4,54
Armadura necessária original (cm2/m):	2,73 0,93	0,87	4,54
Coordenadas (m):	0,00;-0,94 0,58;-0,94	1,04;-0,32	0,00;-0,94

1.5.2. Momentos máximos + armadura para a flexão

	Ax(+) Ay(-)	Ax(-)	Ay(+)
Símbolo: área necessária/área fornecida			
Ax(+) (cm2/m)	2,73/3,93 0,14/3,93	0,00/3,93	2,73/3,93
Ax(-) (cm2/m)	0,00/3,93 0,91/3,93	0,91/3,93	0,00/3,93
Ay(+) (cm2/m)	4,54/5,61 0,23/5,61	0,00/5,61	4,54/5,61
Ay(-) (cm2/m)	0,00/3,93 0,94/3,93	0,05/3,93	0,00/3,93
	ULS		
Mxx (kN*m/m)	7,71 -1,97	-2,37	7,71
Myy (kN*m/m)	15,88 -2,23	-0,12	15,88
Mxy (kN*m/m)	5,67 2,48	0,16	5,67
Nxx (kN/m)	3,20 -0,25	8,95	3,20
Nyy (kN/m)	13,58 12,29	-1,08	13,58
Nxy (kN/m)	18,13 -0,06	4,37	18,13
Coordenadas (m)	0,00;-0,94 0,58;-0,94	1,04;-0,32	0,00;-0,94
Coordenadas* (m)	11,78;1,10;3,15 11,78;1,52;2,74	11,15;1,84;2,43	11,78;1,10;3,15
	* - Coordenadas no sistema de coordenadas global da estrutura		

1.5.4. Deflexão

$|f(+)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(+) = 3,0 \text{ (cm)}$
 $|f(-)| = 0,0 \text{ (cm)} \leq f_{dop}(-) = 3,0 \text{ (cm)}$

1.5.5. Fissura

camada superior

$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

camada inferior

$a_x = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

$a_y = 0,00 \text{ (mm)} \leq a_{dop} = 0,30 \text{ (mm)}$

2. Cargas:

Caso	Tipo	Lista	Valor
1	peso próprio	59 60 62para73 118 120para122	
PZ Negativo			
2	(EF) uniforme	67para73	PZ=-0,89(kN/m2)
2	(EF) uniforme	120para122	PZ=-0,89(kN/m2)
3	carga uniforme		PZ=-5,22(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,33(kN/m)
3	carga uniforme		PZ=-1,90(kN/m)
4	(EF) uniforme	60 62para73	PZ=-0,15(kN/m2)
4	(EF) uniforme	118	PZ=-0,15(kN/m2)
5	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,40(kN/m2)
5	(EF) uniforme	118	PZ=-0,40(kN/m2)
6	(EF) uniforme	59	PZ=-2,82(kN/m2)
7	(EF) uniforme	67para72	PZ=-1,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	60 62para66	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	73	PZ=-2,50(kN/m2)
7	(EF) uniforme	118	PZ=-0,10(kN/m2)
7	(EF) uniforme	120para122	PZ=-2,50(kN/m2)

Combinação/Componente

ULS/8

ULS/9

Definição

$(1+2+3+4+5+6+7)*1.400$

$(1+2+3+4+5+6)*1.200+7*1.600$

3. Resultados - detalhamento

Lista de soluções:

Armadura: barras

Solução nº	Alcance da armadura Diâmetro / Peso	Peso total (kG)
1	-	22,43
2	-	25,96
3	-	25,96
4	-	28,13
5	-	28,13
6	-	31,66

Resultados para a solução nº 1

Zonas de armadura

Armadura inferior

Nome	coordenadas	Armadura fornecida	At	Ar
------	-------------	--------------------	----	----

		x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2	φ (mm) / (cm)	
1/1-	Ax principal	0,00	-0,94	1,75	0,00	10,0 / 20,0	0,91
<		3,93					
1/2-	Ay perpendicular	0,00	-0,94	1,75	0,00	10,0 / 20,0	0,94
<		3,93					

Armadura superior

Nome	coordenadas				Armadura fornecida	At	Ar
	x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2	φ (mm) / (cm)		
1/1+	Ax principal	0,00	-0,94	1,75	0,00	10,0 / 20,0	2,73
<		3,93					
1/2+	Ay perpendicular	0,00	-0,94	1,75	0,00	10,0 / 14,0	4,54
<		5,61					

4. Levantamento de materiais

- Volume de concreto = 0,25 (m3)
- Gabarito = 1,64 (m2)
- Circunferência da laje = 5,37 (m)
- Área de aberturas = 0,00 (m2)

- Aço CA-50
- Peso total = 22,94 (kG)
- Densidade = 93,10 (kG/m3)
- Diâmetro médio = 10,0 (mm)
- Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número de elementos idênticos:
10	0,91	22
10	1,72	10

1 Sapata distribuída: Fundação elementos idênticos: 1

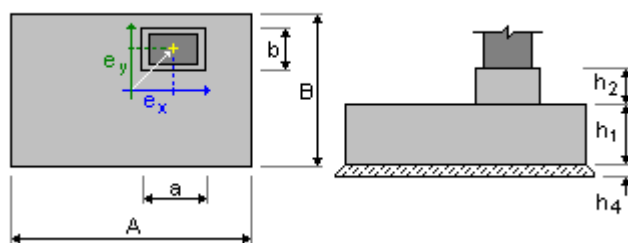
Número de

1.1 Dados básicos

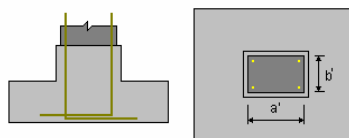
1.1.1 Suposições

- Cálculos geotécnicos de acordo com : ACI
- Cálculos de concreto de acordo com : EN 1992-1-1:2004/A1:2014
- Seleção do formato : sapata homotética

1.1.2 Geometria:



A	= 1,30 (m)	a	= 0,30 (m)
B	= 0,70 (m)	b	= 0,15 (m)
h1	= 0,25 (m)	ex	= 0,00 (m)
h2	= 0,50 (m)	ey	= 0,00 (m)
h4	= 0,05 (m)		



a'	= 30,0 (cm)
b'	= 15,0 (cm)
Cnom1	= 6,0 (cm)
Cnom2	= 6,0 (cm)
Desvios de cobrimento: Cdev = 1,0(cm), Cdur = 0,0(cm)	

1.1.3 Materiais

- Concreto : C25; Resistência característica = 25,00 MPa
Peso unitário = 2498,30 (kG/m3)
Distribuição de tensões retangulares
- [3.1.7(3)]
- Armadura longitudinal característica = 500,00 MPa : tipo CA-50 Resistência
Classe de ductilidade: B
Ramificação horizontal do diagrama de tensão-esforço
- Armadura transversal característica = 500,00 MPa : tipo CA-50 Resistência
- Armadura adicional: : tipo CA-50 Resistência

característica = 500,00 MPa

1.1.4 Cargas:

Cargas de fundação:

Caso	Natureza	Grupo	N (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)	Mx (kN*m)	My (kN*m)
DL1	carga morta	1	211,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Cargas do aterro:

Caso	Natureza	Q1 (kN/m2)
------	----------	---------------

1.1.5 Lista de combinação

1/	SLS : 1.00DL1
2/*	ULS : 1.35DL1
3/*	ULS : 1.00DL1
4/*	SLS : 1.00DL1

1.2 Projeto geotécnico

1.2.1 Suposições

Projeto de fundação para:

- Capacidade
- Rotação
- Levantamento
- Assentamento médio
- Leve a redistribuição plástica de tensões toleráveis em consideração

1.2.2 Solo:

Nível do solo:	N_1	= 0,50 (m)
Nível do pilar da coluna:	N_a	= 0,00 (m)
Nível mínimo de referência:	N_f	= -0,50 (m)

well graded gravels

- Nível do solo: 0.50 (m)
- Peso unitário: 2243.38 (kG/m3)
- Peso da unidade de sólido: 2702.25 (kG/m3)
- Ângulo de atrito interno: 42.0 (Deg)
- Coesão: 0.00 (MPa)

1.2.3 Estados limite

Cálculos de tensão

Leve a redistribuição plástica de tensões toleráveis em consideração

Tipo de solo sob a fundação: sem camadas

Combinação do projeto **SLS : 1.00DL1**

Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação

1.00 * Peso do solo

Resultados do cálculo: No nível da fundação

Peso da fundação e do solo sobre ela: $Gr = 25,16$ (kN)

Carga de projeto:
 $N_r = 236,16 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$
 Tensão no solo: 0.26 (MPa)
 Pressão do solo do projeto 0.30 (MPa)
 Fator de segurança: $1.156 > 1$

Levantamento

Levantamento em SLS

Combinação do projeto: **SLS : 1.00DL1**
 Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação
1.00 * Peso do solo
 Área de contato: $s = 4,333$
 $s_{lim} = 1,000$

Assentamento médio

Tipo de solo sob a fundação: sem camadas
 Combinação do projeto **SLS : 1.00DL1**
 Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação
1.00 * Peso do solo
 Peso da fundação e do solo sobre ela: $G_r = 25,16 \text{ (kN)}$
 Tensão média causada pela carga de projeto: $q = 0,26 \text{ (MPa)}$
 Espessura do solo com assentamento ativo: $z = 2,45 \text{ (m)}$
 Tensão no nível z:
 - Adicional: $\sigma_{zd} = 0,02 \text{ (MPa)}$
 - Causado pelo peso do solo: $\sigma_{z\gamma} = 0,08 \text{ (MPa)}$
 Assentamento:
 - Original $s' = 0,1 \text{ (cm)}$
 - Secundário $s'' = 0,0 \text{ (cm)}$
 - TOTAL $S = 0,1 \text{ (cm)} < S_{adm} = 5,0 \text{ (cm)}$
 Fator de segurança: $60.75 > 1$

Diferença de assentamento

Combinação do projeto **SLS : 1.00DL1**
 Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação
1.00 * Peso do solo
 Diferença de assentamento: $S = 0,0 \text{ (cm)} < S_{adm} = 5,0 \text{ (cm)}$
 Fator de segurança: ∞

Rotação

Em torno do eixo OX

Combinação do projeto **SLS : 1.00DL1**
 Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação
1.00 * Peso do solo
 Peso da fundação e do solo sobre ela: $G_r = 25,16 \text{ (kN)}$
 Carga de projeto:
 $N_r = 236,16 \text{ (kN)}$ $M_x = -0,00 \text{ (kN*m)}$ $M_y = 0,00 \text{ (kN*m)}$
 Momento de estabilidade: $M_{stab} = 82,65 \text{ (kN*m)}$
 Momento de rotação: $M_{renv} = 0,00 \text{ (kN*m)}$
 Estabilidade para rotação: ∞

Em torno do eixo OY

Combinação do projeto: **SLS : 1.00DL1**
 Fatores de carga: **1.00** * Peso da fundação
 1.00 * Peso do solo
 Peso da fundação e do solo sobre ela: Gr = 25,16 (kN)
 Carga de projeto:
 Nr = 236,16 (kN) Mx = -0,00 (kN*m) My = 0,00 (kN*m)
 Momento de estabilidade: Mstab = 153,50 (kN*m)
 Momento de rotação: Mrenv = 0,00 (kN*m)
 Estabilidade para rotação: ∞

1.3 Projeto de CA

1.3.1 Suposições

- Exposição : XC1
- Classe de estrutura : S3

1.3.2 Análise da punção e do cisalhamento

Perfuração

Combinação do projeto **ULS : 1.35DL1**
 Fatores de carga: **1.35** * Peso da fundação
 1.35 * Peso do solo
 Carga de projeto:
 Nr = 318,81 (kN) Mx = -0,00 (kN*m) My = 0,00 (kN*m)
 Comprimento da circunferência crítica: 1,80 (m)
 Força de punção: 210,04 (kN)
 Altura de seção efetiva heff = 0,18 (m)
 Taxa de armadura: ρ = 0.216 %
 Tensão de cisalhamento: 0,65 (MPa)
 Tensão de cisalhamento tolerável: 1,24 (MPa)
 Fator de segurança: 1.914 > 1

1.3.3 Armadura necessária

Sapata distribuída:

inferior:

ULS : 1.35DL1
 My = 32,48 (kN*m) A_{sx} = 6,21 (cm²/m)

ULS : 1.35DL1
 Mx = 17,97 (kN*m) A_{sy} = 2,43 (cm²/m)

A_{s min} = 2,43 (cm²/m)

superior:

A'_{sx} = 0,00 (cm²/m)
 A'_{sy} = 0,00 (cm²/m)

$$A_{s \text{ min}} = 0,00 \text{ (cm}^2\text{/m)}$$

Pilar da coluna:

$$\begin{aligned} \text{Armadura longitudinal } A &= 0,90 \text{ (cm}^2\text{)} & A_{\text{min.}} &= 0,90 \text{ (cm}^2\text{)} \\ A &= 2 * (A_{sx} + A_{sy}) \\ A_{sx} &= 0,17 \text{ (cm}^2\text{)} & A_{sy} &= 0,28 \text{ (cm}^2\text{)} \end{aligned}$$

1.3.4 Armadura fornecida

Sapata distribuída:

Inferior:

$$\begin{aligned} \text{Ao longo do eixo X:} & & & \\ 6 \text{ CA-50 10} & l = 1,41 \text{ (m)} & e = 1 * -0,25 + 5 * 0,10 \\ \text{Ao longo do eixo Y:} & & & \\ 5 \text{ CA-50 10} & l = 0,84 \text{ (m)} & e = 1 * -0,50 + 4 * 0,25 \end{aligned}$$

Pilar

Armadura longitudinal

Esperas

Armadura longitudinal

$$4 \text{ CA-50 10} \quad l = 1,18 \text{ (m)} \quad e = 1 * -0,09 + 1 * 0,18$$

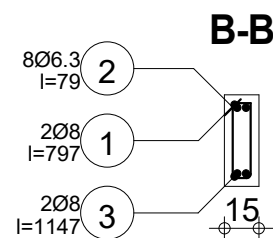
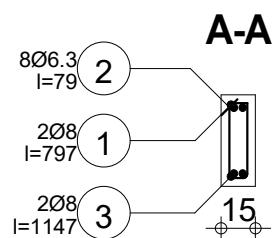
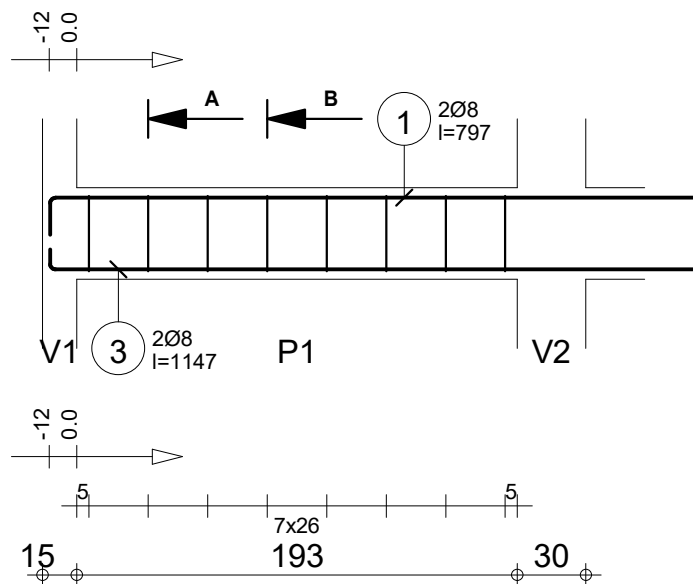
2 Levantamento de materiais:

- Volume de concreto = 0,25 (m³)
- Gabarito = 1,45 (m²)
- Aço CA-50
 - Peso total = 10,73 (kg)
 - Densidade = 42,93 (kg/m³)
 - Diâmetro médio = 10,0 (mm)
 - Levantamento de acordo com os diâmetros:

Diâmetro	Comprimento (m)	Número de elementos idênticos:
10	0,84	5
10	1,18	4
10	1,41	6

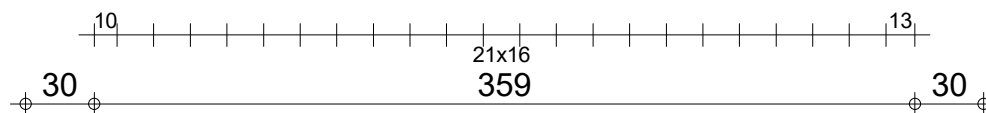
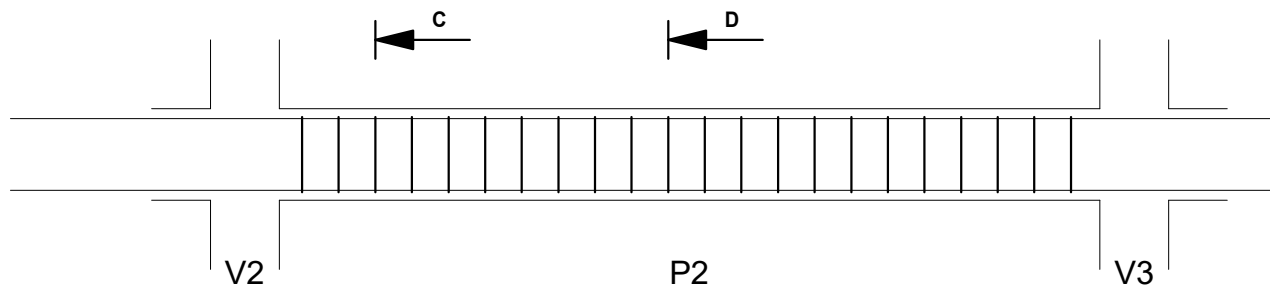
APÊNDICE B – DETALHAMENTO

Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
1	2Ø8 l=797	00	782	CA-50
2	8Ø6.3 l=79	31	833	CA-50
3	2Ø8 l=1147	00	1140	CA-50

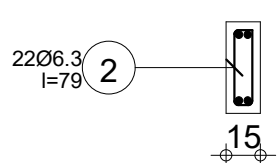


Tel.		Fax		Aço CA-50 = 15.3 kg	
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm Classe de estrutura : S3		Aço CA-50 = 1.54 kg	
 1 PAV TCC FINAL		VS-04 : P1 Seção 15x40		Cobrimento inferior 3 cmCobrimento superior 3 cm	
				Cobrimento lateral 3 cm	
		Número 1		Escala da vista 1/33	
				Escala da seção 1/33	
				Página 1/7	

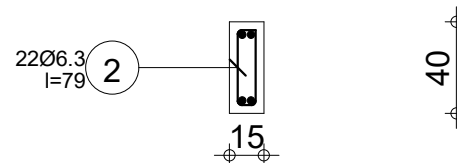
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	22Ø6.3	l=79	31	CA-50



C-C



D-D



Tel.		Fax			
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Classe de estrutura : S3	
Concreto : C25 = 0.233 m3		Aço CA-50 = 4.23 kg			
Gabarito = 3.65 m2		Cobrimento inferior 3 cm		Cobrimento superior 3 cm	
Cobrimento lateral 3 cm		Densidade (peso unitário) = 18. Esq/ m3		Escala da vista 1/33	
Diâmetro médio = 6.3mm		Escala da seção 1/33		Página 2/7	

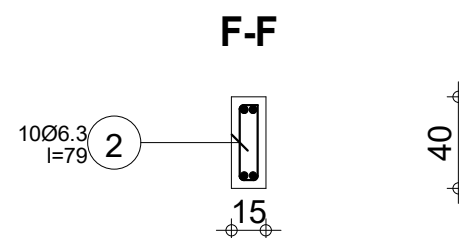
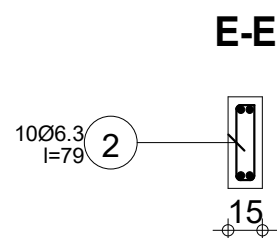
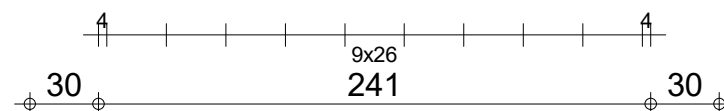
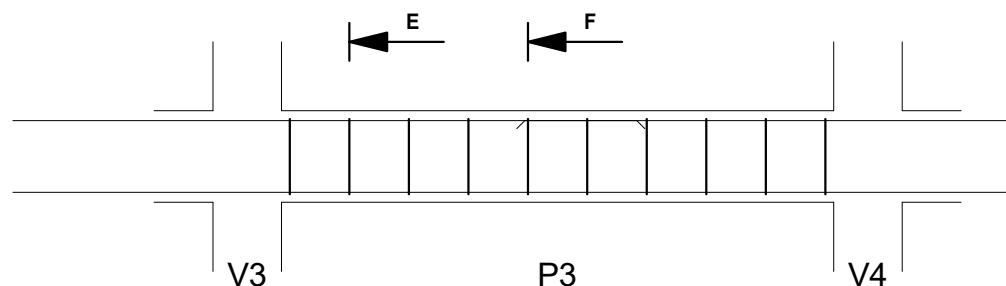


1 PAV
TCC FINAL

VS-04 : P2
Seção 15x40

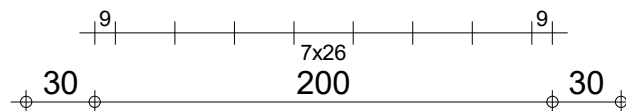
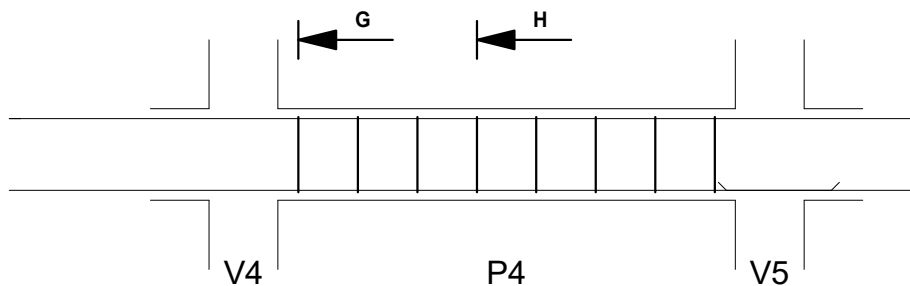
Número 1

Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	10Ø6.3	l=79	31	CA-50

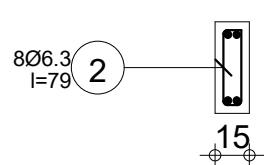


Tel.		Fax			
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Classe de estrutura : S3	
 1 PAV TCC FINAL		VS-04 : P3 Seção 15x40		Número 1	
				Concreto : C25 = 0.163 m3 Aço CA-50 = 1.92 kg Gabarito = 2.53 m2 Cobrimento inferior 3 cm Cobrimento superior 3 cm Cobrimento lateral 3 cm	
				Densidade (peso unitário) = 11.15 kg/m3 Diâmetro médio = 6.3mm Escala da vista 1/33 Escala da seção 1/33	
				Página 3/7	

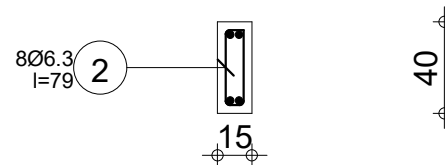
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	8Ø6.3 l=79	31	8 33	CA-50



G-G

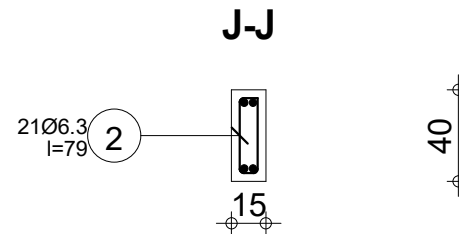
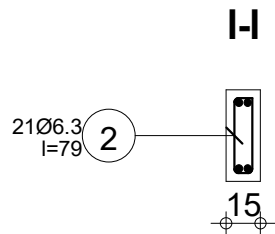
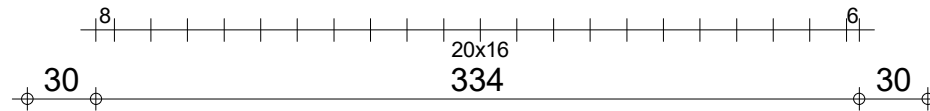
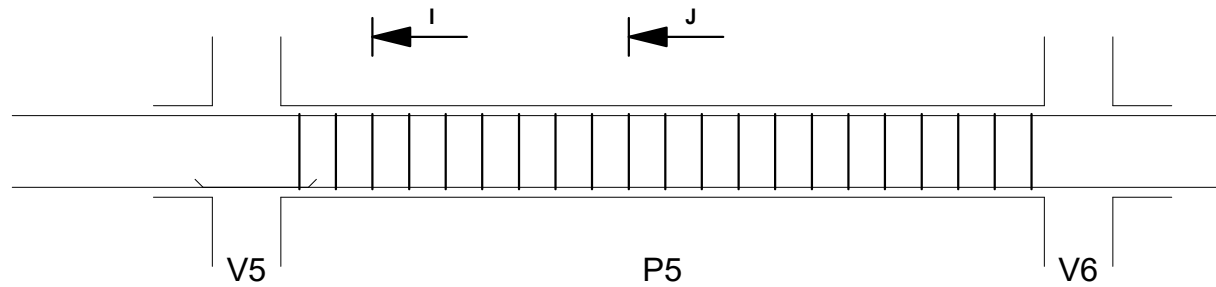


H-H

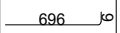
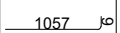


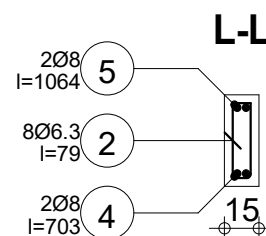
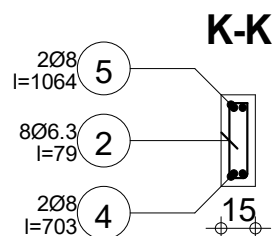
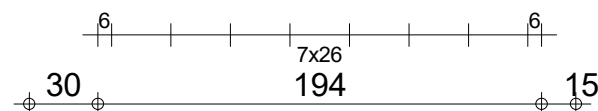
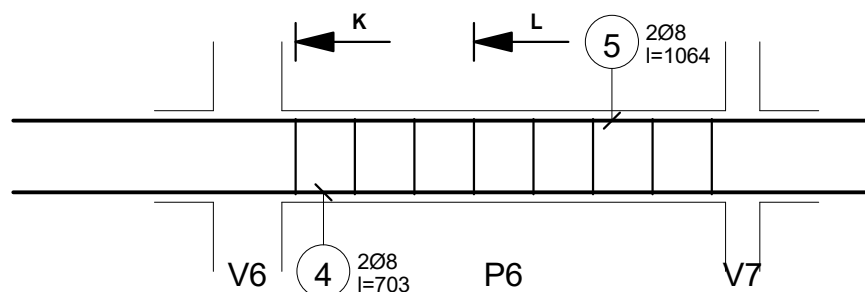
Tel.		Fax			
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Classe de estrutura : S3	
 1 PAV TCC FINAL		VS-04 : P4 Seção 15x40		Número 1	
				Concreto : C25 = 0.138 m3 Aço CA-50 = 1.54 kg Gabarito = 2.14 m2 Cobrimento inferior 3 cm Cobrimento superior 3 cm Cobrimento lateral 3 cm	
				Densidade (peso unitário) = 11.15 kg/m3 Diâmetro médio = 6.3mm Escala da vista 1/33 Escala da seção 1/33	
				Página 4/7	

Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	21Ø6.3	l=79	31	CA-50



		Tel.		Fax					
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Classe de estrutura : S3		Concreto : C25 = 0.218 m3		Aço CA-50 = 4.04 kg	
	1 PAV TCC FINAL	VS-04 : P5 Seção 15x40	Número 1	Gabarito = 3.41 m2		Cobrimento inferior 3 cmCobrimento superior 3 cm Cobrimento lateral 3 cm			
				Densidade (peso unitário) = 18.5 kg/m3		Escala da vista 1/33		Página 5/7	
				Diâmetro médio = 6.3mm		Escala da seção 1/33			

Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	8Ø6.3 l=79	31		CA-50
4	2Ø8 l=703	00		CA-50
5	2Ø8 l=1064	00		CA-50



Tel. Fax		Aço CA-50 = 14 kg	
Classe de exposição : XC1		Aço CA-50 = 1.54 kg	
Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Cobrimento inferior 3 cmCobrimento superior 3 cm	
Classe de estrutura : S3		Cobrimento lateral 3 cm	
Concreto : C25 = 0.13 m3		Escala da vista 1/33	
Gabarito = 2.02 m2		Escala da seção 1/33	
Densidade (peso unitário) = 1192 kg/m3		Página 6/7	
Diâmetro médio = 7.74mm			

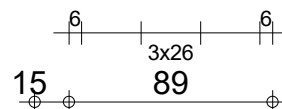
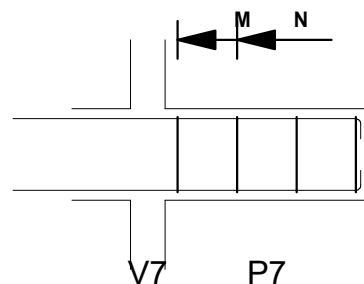


1 PAV
TCC FINAL

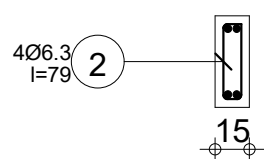
VS-04 : P6
Seção 15x40

Número 1

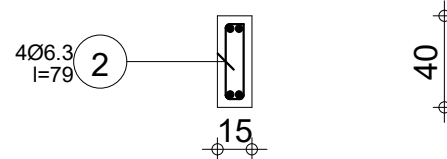
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
2	4Ø6.3	l=79	31	CA-50



M-M



N-N



Tel.		Fax			
Classe de exposição : XC1		Diâmetro máx. do agregado : 20mm		Classe de estrutura : S3	
Concreto : C25 = 0.0579 m3		Aço CA-50 = 0.77 kg			
Gabarito = 0.966 m2		Cobrimento inferior 3 cm		Cobrimento superior 3 cm	
Cobrimento lateral 3 cm		Escala da vista 1/33		Página 7/7	
Densidade (peso unitário) = 13.8 kN/m3		Escala da seção 1/33			
Diâmetro médio = 6.3mm					

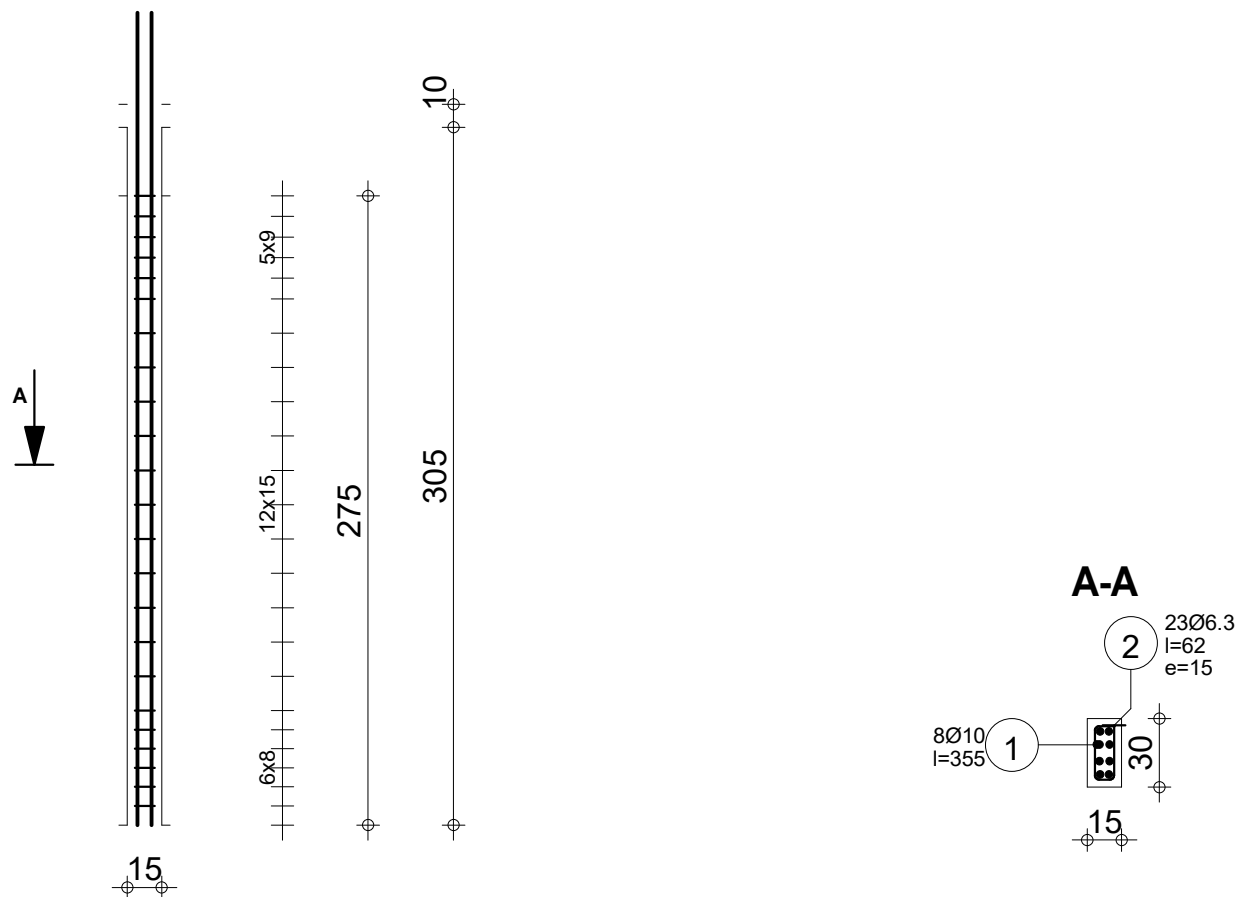


1 PAV
TCC FINAL

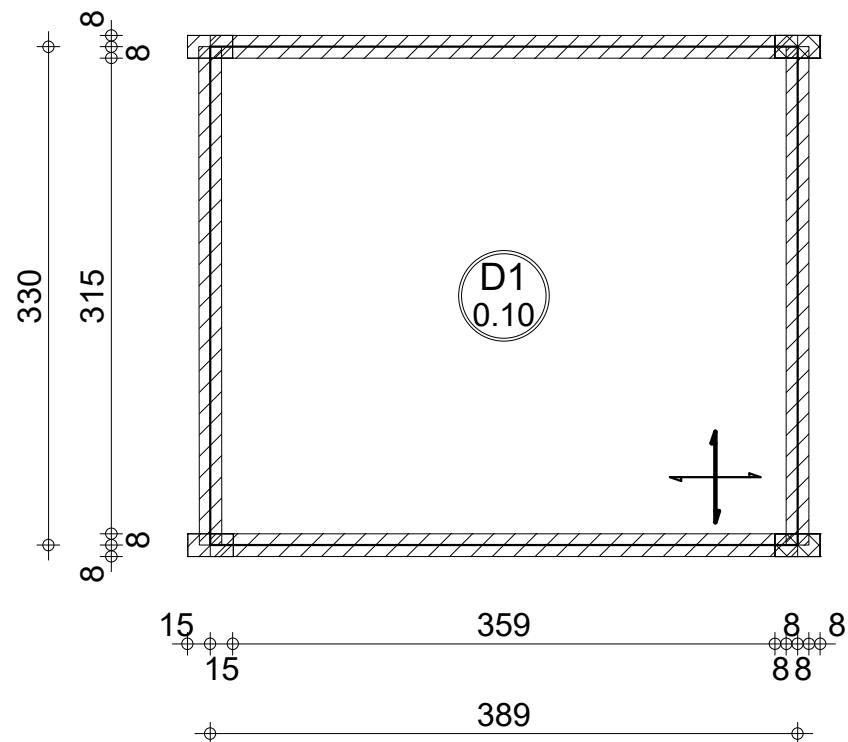
VS-04 : P7
Seção 15x40

Número 1

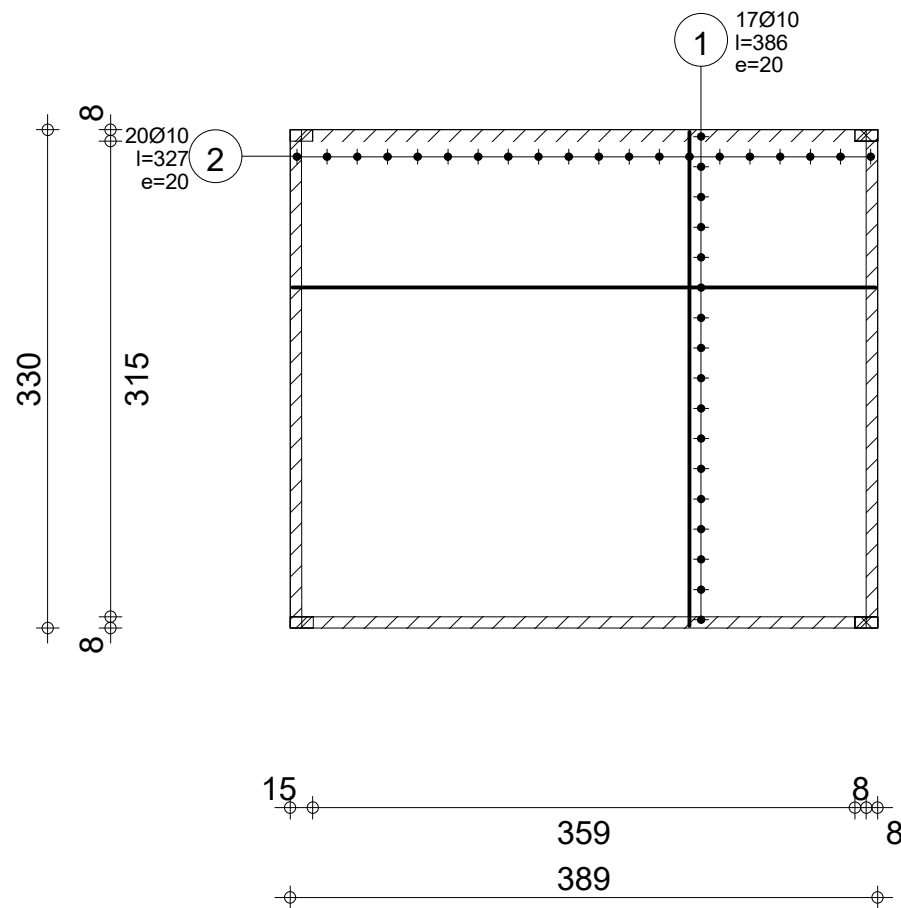
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
1	8Ø10 l=355	00	355	CA-50
2	23Ø6.3 l=62	31	24	CA-50



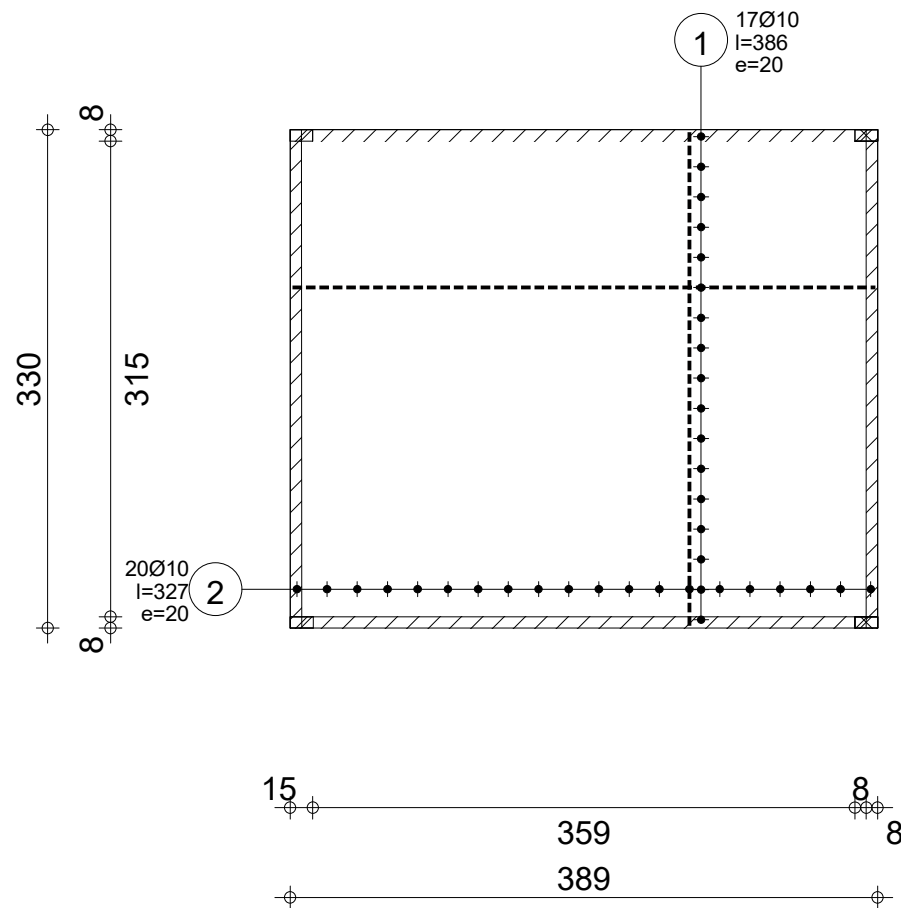
Tel.		Fax		Concreto : C25 = 0.124 m3	Aço CA-50 = 17.5 kg	
Classe de exposição : XC1					Diâmetro máx. do agregado : 20mm Classe de estrutura : S3	
	Nível +3,15 TCC FINAL	P06 Seção 15x30	Número 1	Gabarito = 2.47 m2	Cobrimento 3 cm	
				Densidade (peso unitário) = 1695 kg/m3	Escala da vista 1/33 Escala da seção 1/33	Página 1/1



			Tel. Fax		Concreto : C25 = 1.28 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	COBERTURA	Elemento: L13		Gabarito = 12.8 m2		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: GABARITO DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 1/4

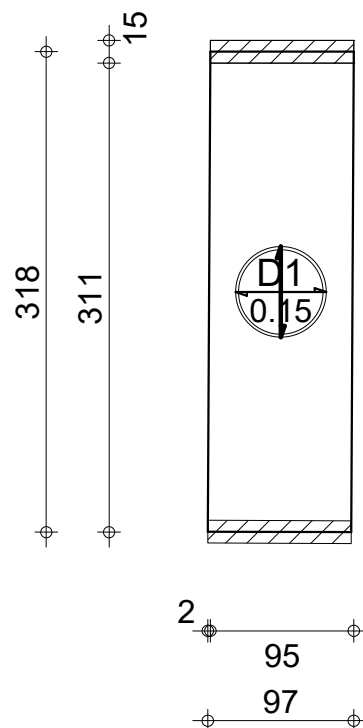


			Tel. Fax		Concreto : C25 = 1.28 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	COBERTURA	Elemento: L13		Aço CA-50 = 162 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA INFERIOR DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 2/4

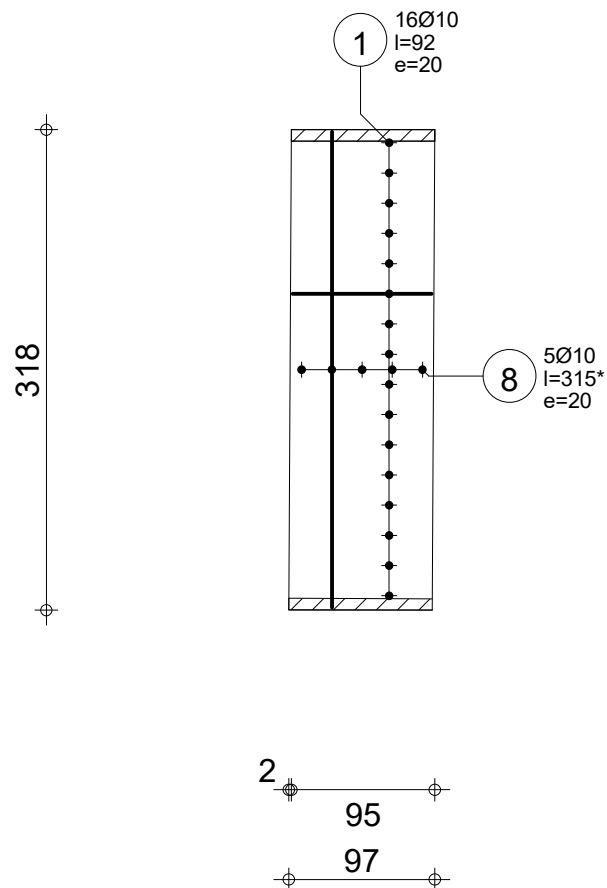


			Tel. Fax		Concreto : C25 = 1.28 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	COBERTURA	Elemento: L13		Aço CA-50 = 162 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA SUPERIOR DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 3/4

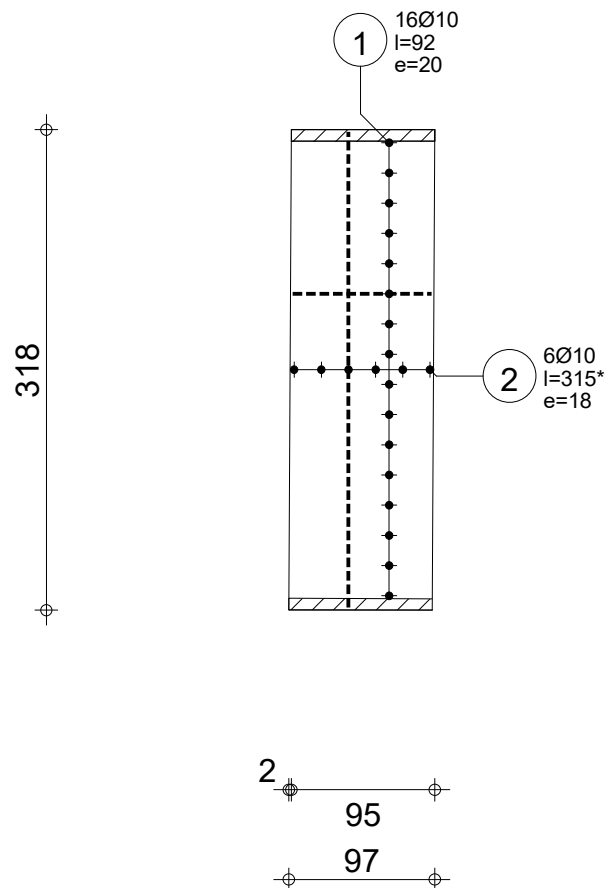
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
①	34Ø10	l=386	00 <u>386</u>	CA-50
②	40Ø10	l=327	00 <u>327</u>	CA-50



			Tel.	Fax	Concreto : C25 = 0.453 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	PATAMAR	Elemento: 1 LANCE ESCADA		Gabarito = 3.02 m2		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: GABARITO DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 1/4



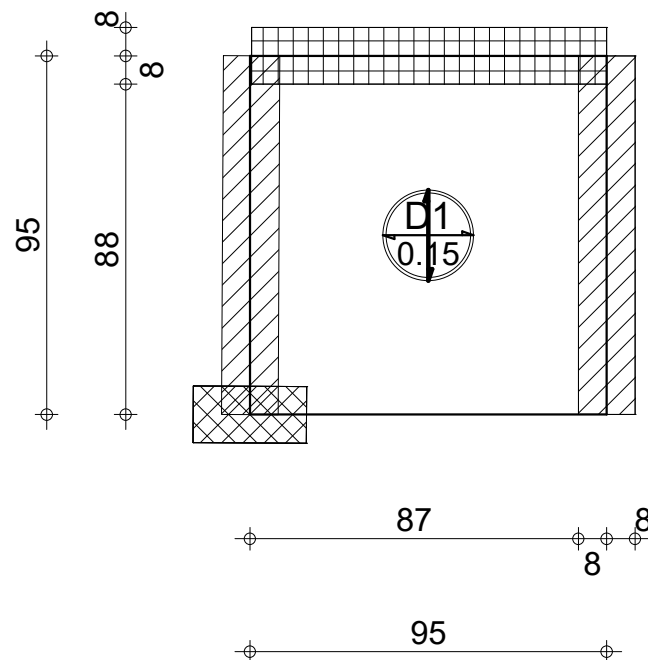
			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.453 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	PATAMAR	Elemento: 1 LANCE ESCADA		Aço CA-50 = 39.5 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA INFERIOR DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 2/4



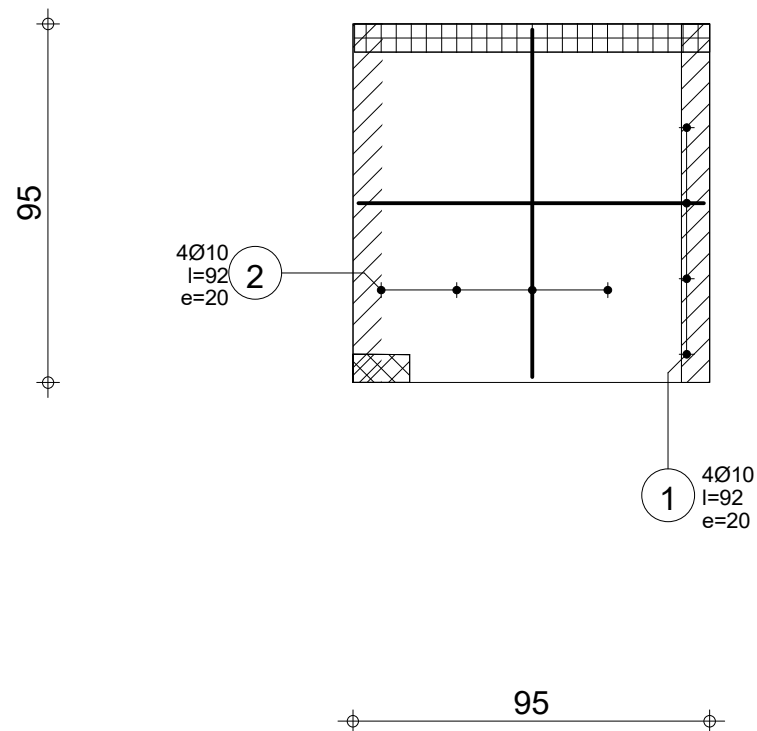
			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.453 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	PATAMAR	Elemento: 1 LANCE ESCADA		Aço CA-50 = 39.5 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA SUPERIOR DA LAJE		Escala : 1/50	Data : 28/10/22	Página 3/4

Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
①	32Ø10 l=92	00	_____92_____	CA-50
②	6Ø10 l=315*	00	_____315_____	CA-50
⑧	5Ø10 l=315*	00	_____315_____	CA-50

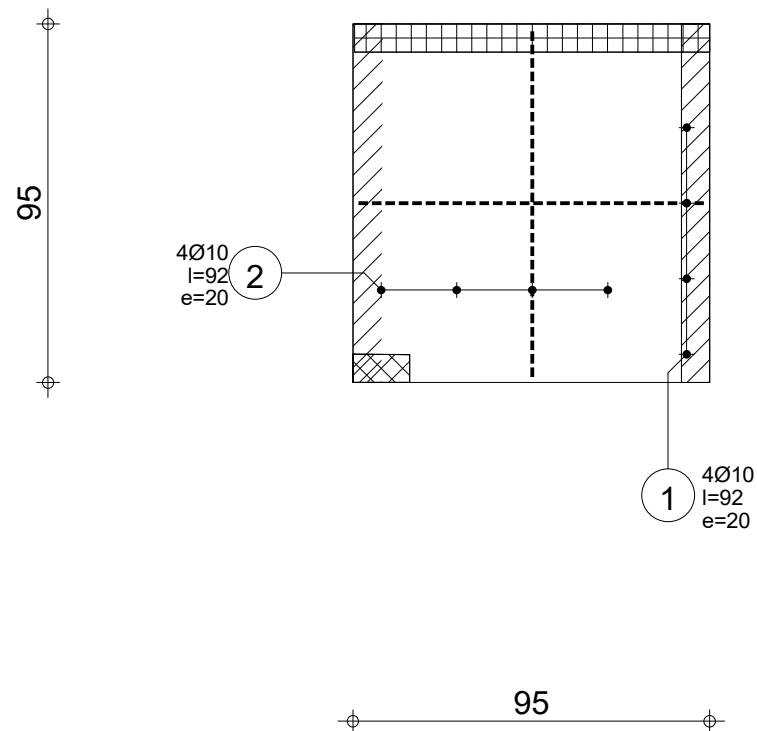
	Tel. _____ Fax _____		Concreto : C25 = 0.453 m3 Aço CA-50 = 39.5 kg	Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível PATAMAR Tema: TCC FINAL	Elemento: 1 LANCE ESCADA Desenho: LEVANTAMENTO DE QUANTIDADE DE ARMADURA		
			Data : 28/10/22	Página 4/4



			Tel.		Fax		Concreto : C25 = 0.135 m3		Cobrimento	
	Nível	PATAMAR	Elemento: PATAMAR				Gabarito = 0.898 m2		superior = 2.5 cm	
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: GABARITO DA LAJE				Escala : 1/20	Data : 28/10/22	fundo = 2.5 cm	
									Página 1/4	

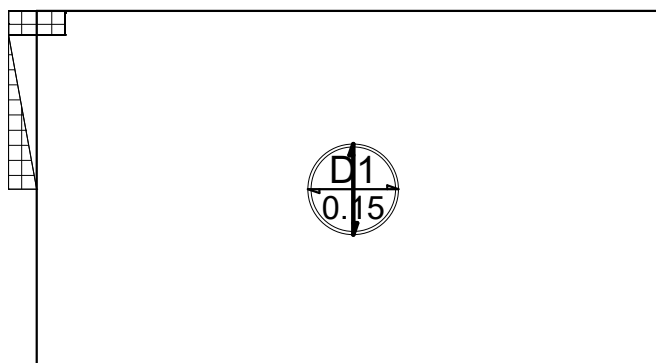


			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.135 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	PATAMAR	Elemento: PATAMAR		Aço CA-50 = 9.05 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA INFERIOR DA LAJE		Escala : 1/20	Data : 28/10/22	Página 2/4

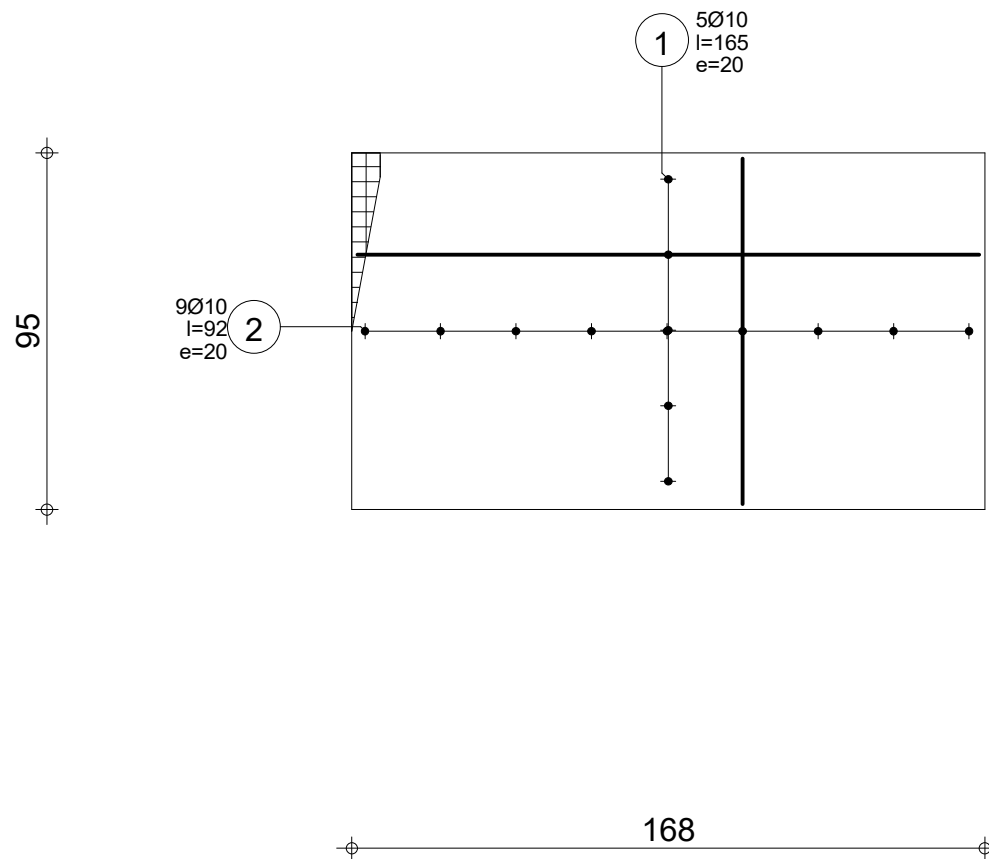


			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.135 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	PATAMAR	Elemento: PATAMAR		Aço CA-50 = 9.05 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA SUPERIOR DA LAJE		Escala : 1/20	Data : 28/10/22	Página 3/4

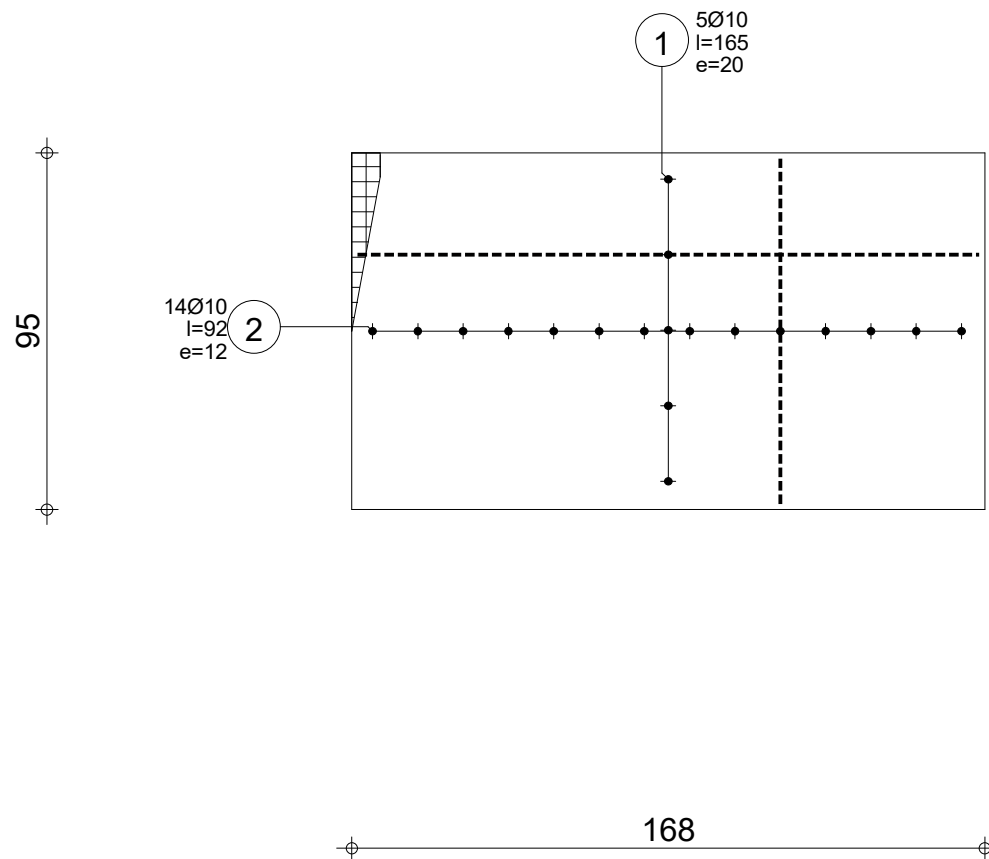
Pos.	Armadura		Código	Formato	Aço
①	8Ø10	l=92	00	91	CA-50
②	8Ø10	l=92	00	92	CA-50



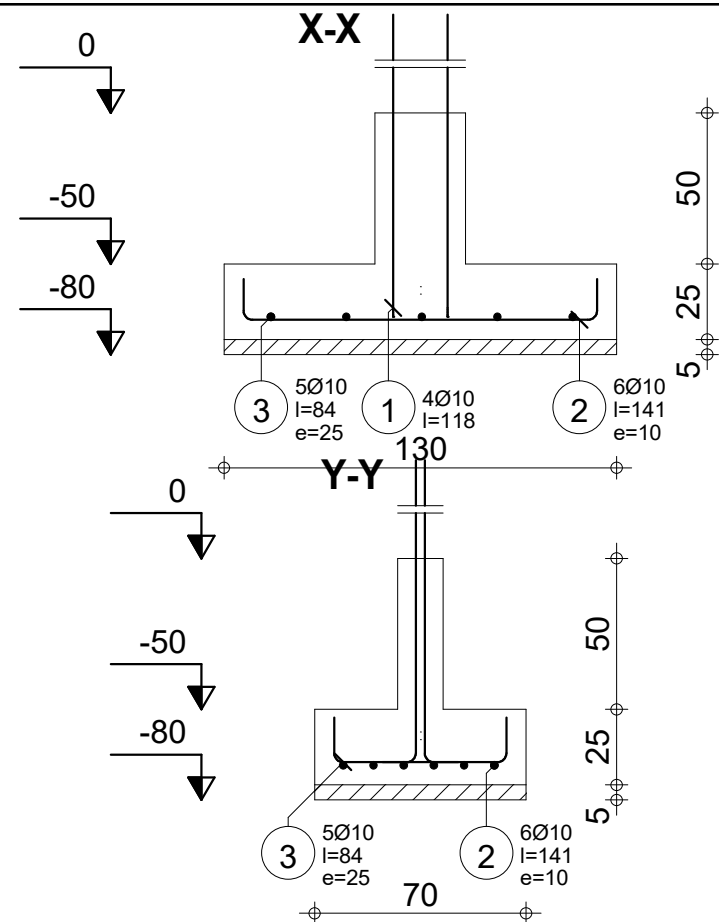
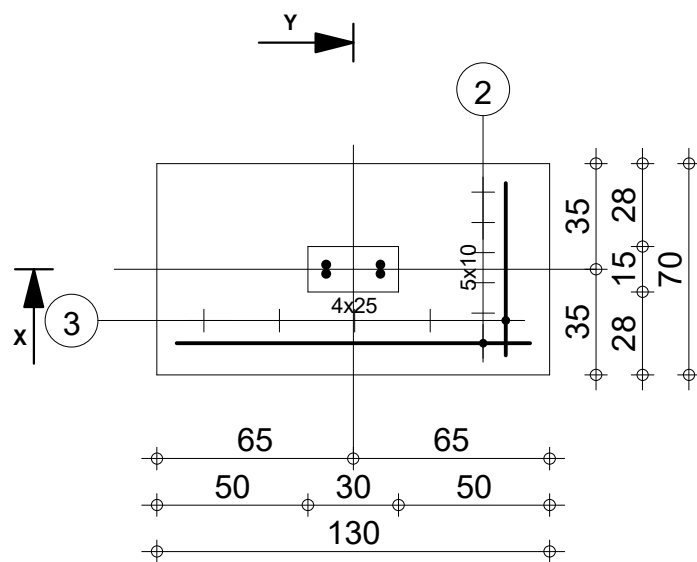
			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.238 m3 Gabarito = 1.58 m2		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	Nível +2,96	Elemento: 2 LNCE ESCADA				
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: GABARITO DA LAJE				
					Escala : 1/20	Data : 28/10/22	Página 1/4



			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.238 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	Nível +2,96	Elemento: 2 LNCE ESCADA		Aço CA-50 = 23.1 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA INFERIOR DA LAJE		Escala : 1/20	Data : 28/10/22	Página 2/4



			Tel. Fax		Concreto : C25 = 0.238 m3		Cobrimento superior = 2.5 cm fundo = 2.5 cm
	Nível	Nível +2,96	Elemento: 2 LNCE ESCADA		Aço CA-50 = 23.1 kg		
	Tema:	TCC FINAL	Desenho: ARMADURA SUPERIOR DA LAJE		Escala : 1/20	Data : 28/10/22	Página 3/4



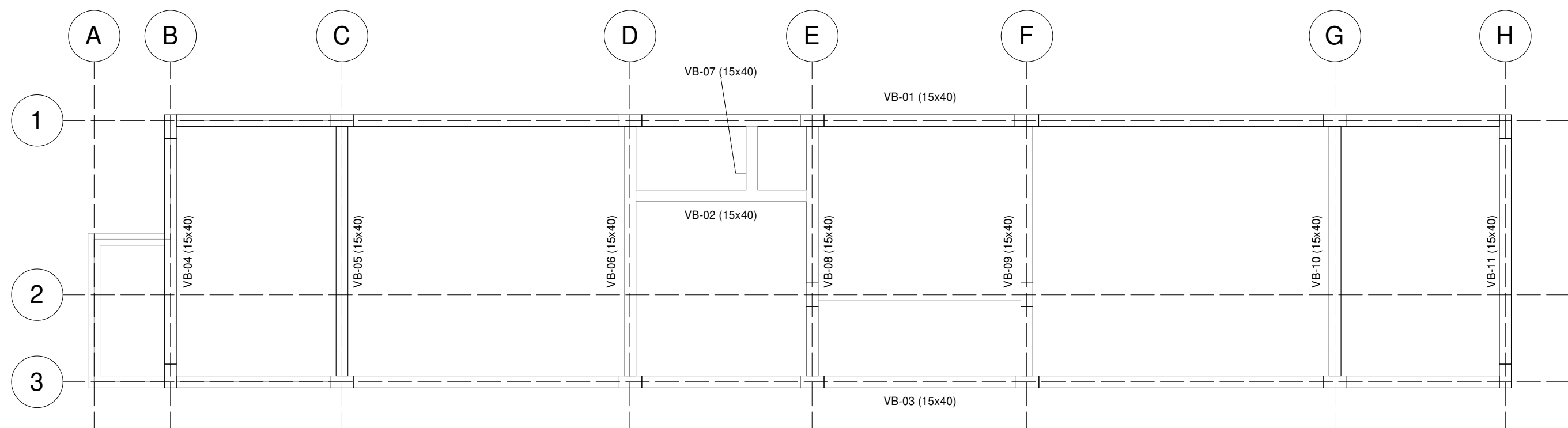
Pos.	Armadura	Código	Formato	Aço
①	4Ø10	l=118	109	CA-50
②	6Ø10	l=141	118	CA-50
③	5Ø10	l=84	58	CA-50

		Tel.		Fax				Aço CA-50 = 10.7 kg	
		Fissura permissível				Concreto : C25 = 0.25 m3			
	fundação	Fundação1		Número 1		Gabarito = 1.45 m2		Cobrimento c1 = 6 cm, c2 = 6 cm	
						Densidade (peso unitário) = 42.8 kg/ m3			
								Escala da vista 1/25	
		Escala da seção 1/25							

Fundação1

Número 1

APÊNDICE C – PLANTAS DE FORMA



1 Planta de forma terreo
1 : 50

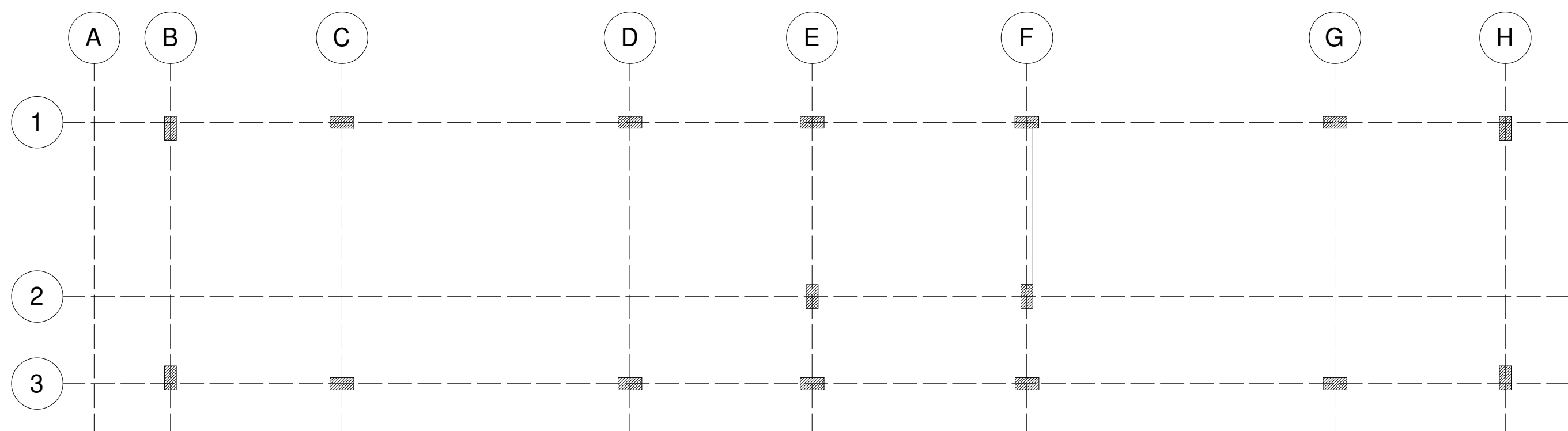
PILAR QUE MORRE

PILAR QUE PASSA

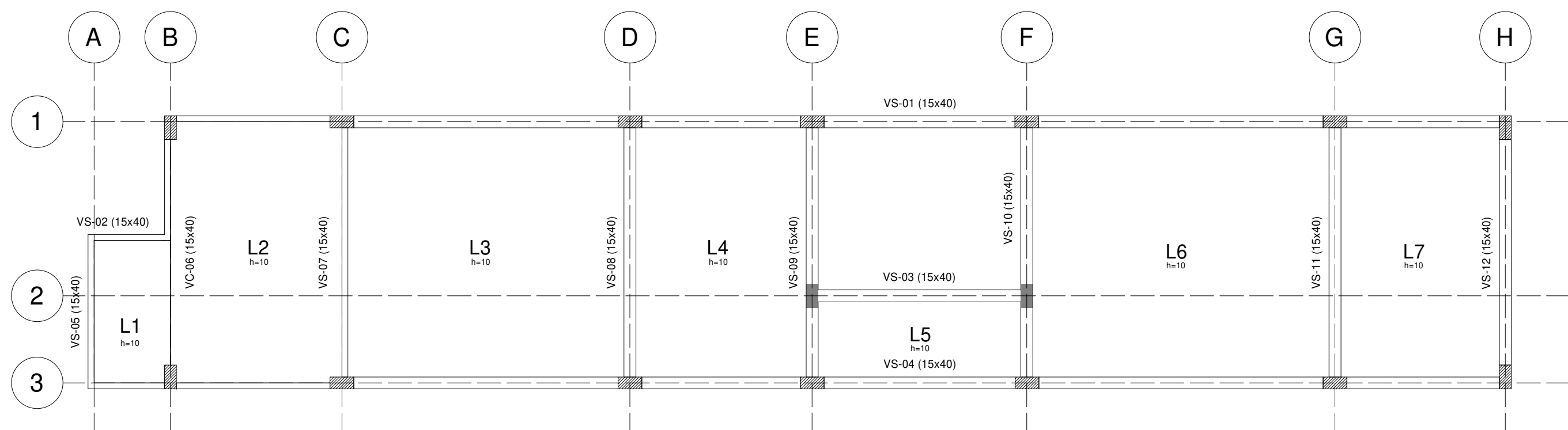
PILAR QUE NASCE

PILARES

1 : 20



3 Planta de forma patamar
1 : 50



2 Planta de forma 1 pavimento
1 : 50



www.autodesk.com/revit

TCC

Projeto Sobrado

Plantas de forma

Número do projeto 0001

Data 28/10/2022

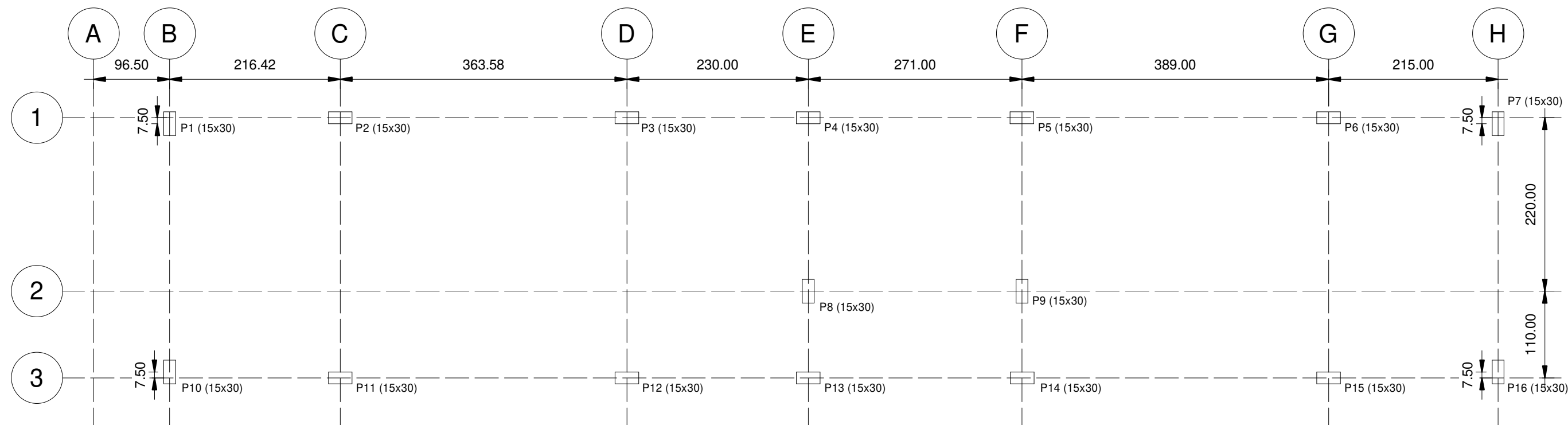
Desenhadas por André Ramos

Verificado por Verificador

01/02

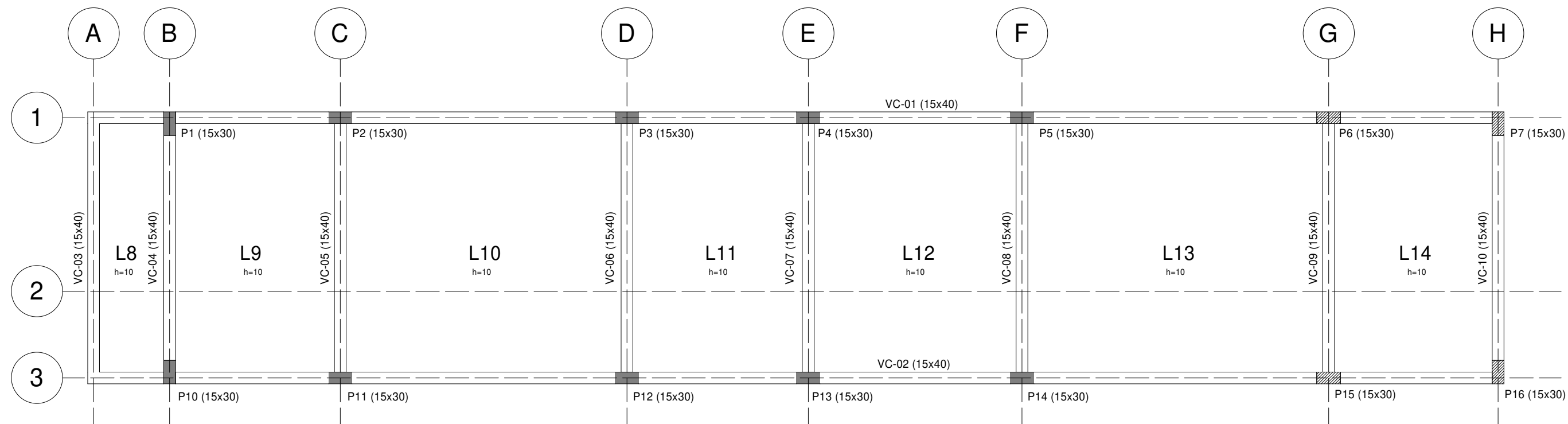
Escala Como indicado

28/10/2022 16:02:52



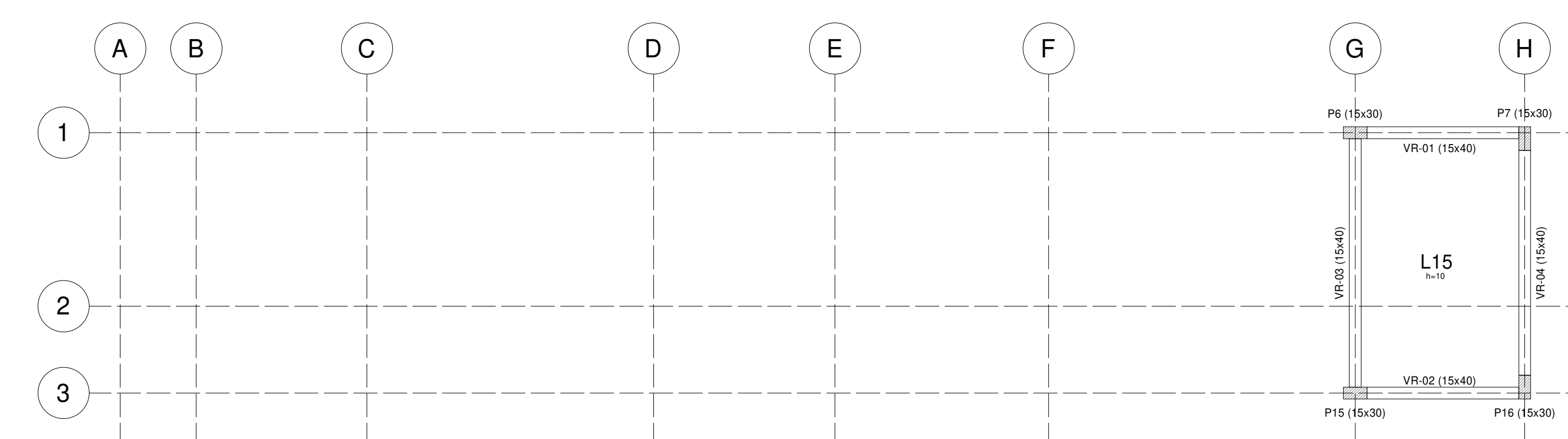
1 PLANTA DE LOCAÇÃO

1 : 50



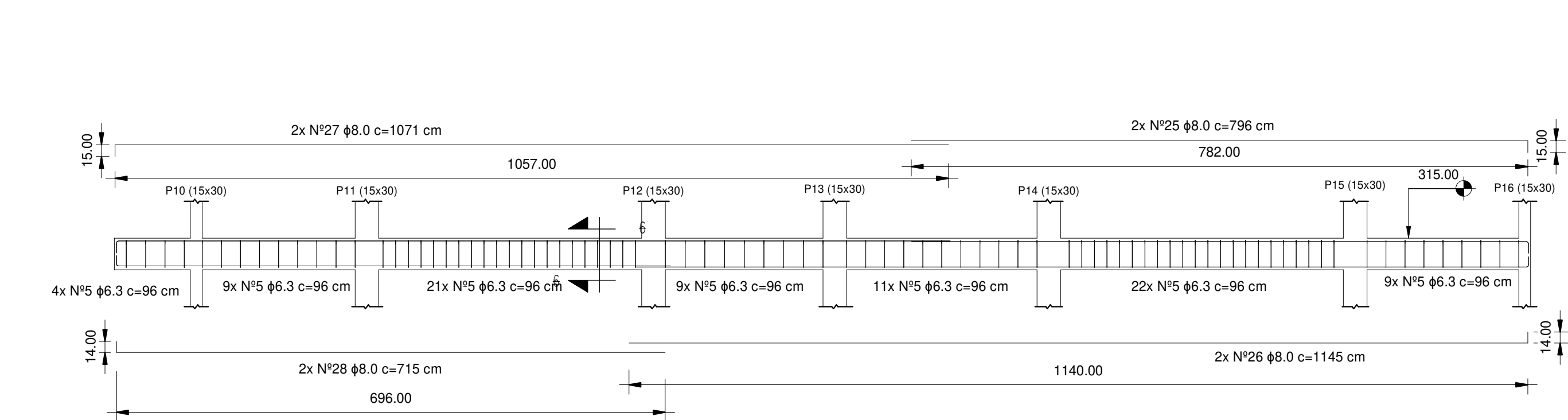
2 Planta de forma cobertura

1 : 50



3 Planta de forma reservatório

1 : 50



4 VS-04

1 : 50

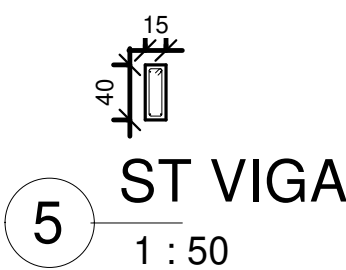
PILAR QUE MORRE

PILAR QUE PASSA

PILAR QUE NASCE

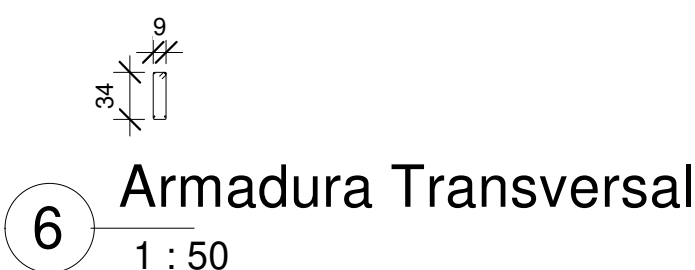
PILARES

1 : 20



5 ST VIGA

1 : 50



6 Armadura Transversal

1 : 50

TCC

Projeto Sobrado

Planta de localização e planta de formas, detalhamento VS-04

Número do projeto 0001

Data 28/10/2022

Desenhadas por André Ramos

Verificado por Verificador

02/02

Escala Como indicado

JOSÉ ANDRÉ RAMOS DE LIMA

**CÁLCULO ESTRUTURAL DE UM SOBRADO VIA SOFTWARES AUTODESK
REVIT E ROBOT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo científico, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Defesa realizada por videoconferência.

Área de concentração: Estruturas.

Aprovado em 09 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. DSc. José Moura Soares (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. DSc. Roberto Evaristo de Oliveira Neto (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco

Eng. BSc. Washington Martines Bezerra da Silva (Avaliador)
Universidade Federal de Pernambuco