



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL LOUIZ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROJETO DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ENTRE A FORMA MANUAL E COM UTILIZAÇÃO DA
INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

MOSSORÓ

2020

GABRIEL LOUIZ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROJETO DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ENTRE A FORMA MANUAL E COM UTILIZAÇÃO DA
INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

CC838 COSTA, GABRIEL LOUIZ SILVA DA .
a ANÁLISE COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROJETO DE
ELEMENTOS ESTRUTURAIS ENTRE A FORMA MANUAL E COM
UTILIZAÇÃO DA INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT / GABRIEL
LOUIZ SILVA DA COSTA. - 2020.
137 f. : il.

Orientador: RAIMUNDO GOMES DE AMORIM NETO .
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. ESTRUTURAS. 2. BIM. 3. ROBOT. 4. REVIT. 5.
CÁLCULO MANUAL. I. AMORIM NETO , RAIMUNDO GOMES
DE, orient. II. Título.

GABRIEL LOUIZ SILVA DA COSTA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA EXECUÇÃO DE PROJETO DE ELEMENTOS
ESTRUTURAIS ENTRE A FORMA MANUAL E COM UTILIZAÇÃO DA
INTEGRAÇÃO REVIT/ROBOT**

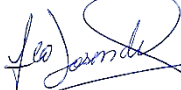
Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Defendida em: 07/12/2020.

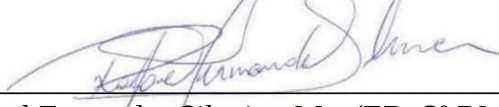
BANCA EXAMINADORA



Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Francisco Rosendo Sobrinho, Prof. Me. (UNICHRISTUS)
Membro Examinador



Rafael Fernandes Silveira, Me. (EB- 3º RM – CRO/3)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder toda força, saúde e capacidade e colocar no meu caminhos pessoas que foram instrumentos necessários durante o caminho.

Agradeço a meus pais, Ozanete e Alfredo, e à minha irmã, Louise, sem os quais essa jornada já tão árdua, teria sido ainda mais difícil. Sempre me apoiaram, e quanto mais eu precisei, nos momentos mais difíceis, mais se doaram a mim.

Agradeço à minha namorada Laís Caroline, com quem eu sempre pude contar, foi quem mais eu usei para falar de todas as adversidades e superações no caminho. Sempre acreditou em mim, no meu potencial e capacidade. Espero poder um dia contribuir com um pouco do bem que me fez nesses momentos

Agradeço ao Orientador, Raimundo Amorim, pela ideia do trabalho, pelo apoio fornecido, sempre expondo sua crença no meu potencial. Foi muito importante não só na construção do trabalho, mas de forma pessoal, através de sua enorme compreensão.

Agradeço a Banca Examinadora, tanto Rafael, que de longe pode contribuir de forma brilhante, quanto a Rosendo, professor com um futuro brilhante e que tem grande influência na minha formação.

Agradeço aos companheiro de trabalho na CAERN, em especial a Alysson Dionízio e à Margarida Martins, cujo apoio foi fundamental para que eu pudesse continuar com esse sonho.

Agradeço aos meus amigos da graduação, em especial aos que seguiram comigo na maior parte do tempo e até o final.

Agradeço aos meus amigos de outras jornadas, que carrego até hoje. Alguns vêm desde o maternal, outros ensino fundamental e ensino médio.

RESUMO

A sociedade se apresenta cada vez mais tecnológica, e para a engenharia civil isso também é um fato. O *Building Information Modeling* (BIM) colabora diretamente para esse acontecimento. Não pode ser confundido como um *software*, ou ferramenta específica e talvez seja melhor entendido se entendido como um processo. Inclui o uso de *softwares* e, dentre outros componentes, precisa que o usuário seja capacitado. Pode ser utilizado desde o projeto, até execução e manutenção. Na fase de projeto, o uso de *softwares* exige cuidado, sensibilidade e experiência, além do conhecimento dos processos. No contexto de softwares a Autodesk® oferece, dentre outros, o *Revit*® e o *Robot Structural Analysis*®. O *Revit*® é bastante utilizado para modelagens e gerenciamento de diversos sistemas, principalmente voltados para arquitetura e construção civil. Já o *Robot*® é uma ferramenta de análise, dimensionamento, verificações e detalhamento de estruturas. Apesar do desenvolvimento tecnológico, o conhecimento dos processos manuais continua tendo grande importância e utilidade. A pesquisa tem como objetivo principal uma análise qualitativa e comparação dos processos manuais e dos processos com integração dos dois *softwares* mencionados. Também de permitir a comparação de resultados obtidos para esforços internos de alguns elementos e dimensionamento de área de aço para uma viga, além de gerar um material metodológico, principalmente para o uso do *Revit*® e do *Robot*® com as configurações para a NBR 6118/20104. Os processos de execução do projeto foram executados a partir da planta arquitetônica de uma residência. Para a execução manual o desenvolvimento foi seguindo passos conhecidos na literatura e para a execução com uso dos softwares foi realizada toda modelagem no *Revit*® e análises no *Robot*®. Os resultados obtidos para os processos foram resumidos em fluxogramas, sendo a principal observação de que o fator humano é primordial, principalmente nas fases iniciais e que as duas formas de execução não são concorrentes. Os valores para os esforços e área de aço foram diferentes devido os processos utilizarem de diferentes considerações objetivas e subjetivas, como padronização dos diâmetros utilizados. Analisando o uso específico do *Robot*®, se chega à conclusão que pode ser uma boa opção para estudantes terem acesso à um *software* de análise estrutural licenciado, para que possa ser formado conhecimento sobre o funcionamento de projetos.

Palavras-chave: BIM. Estruturas. Robot. Revit. Cálculo manual

ABSTRACT

Society has becoming more and more technological, and for civil engineering this is also a fact. Building Information Modeling (BIM) collaborates directly to this event. It cannot be confused as a specific software, or tool, and may be better understood if understood as a process. It includes the software use and, among other components, needs the user to be trained. It can be used from design to execution and maintenance. In the design phase, the use of software requires care, sensitivity and experience, besides the knowledge of the processes. In software context Autodesk® offers, among others, Revit® and Robot Structural Analysis®. Revit® is widely used for modeling and management of several systems, mainly focused on architecture and construction. Robot® is a tool for analysis, sizing, verification and detailing of structures. Despite the technological development, the knowledge of manual processes is still very important and useful. The research has as main objective a qualitative analysis and comparison of manual processes and processes with integration of the two mentioned softwares. Also to allow the comparison of results obtained for internal efforts of some elements and dimensioning of steel area for a beam, besides generating a methodological material, mainly for the use of Revit® and Robot ® with the configurations for NBR 6118/20104. The project execution processes were executed from the architectural plan of a residence. For the manual execution the development was following steps known in the literature and for the execution with the use of the softwares was carried through all modeling in Revit ® and analyses in Robot ®. The results obtained for the processes were summarized in flowcharts, being the main observation that the human factor is primordial, mainly in the initial phases and that the two ways of execution are not competing. The values for the efforts and steel area were different because the processes used different objective and subjective considerations, such as standardization of the diameters used. Analyzing the specific use of Robot®, it is concluded that it can be a good option for students to have access to a licensed structural analysis software, so that knowledge about the project functioning can be formed.

Keywords: BIM. Structures. Robot. Revit. Manual Calculation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de determinação de momentos e reações pelo FTOOL.....	38
Figura 2 – Situação de vinculação das placas isoladas.....	39
Figura 3 – Planta do nível térreo (Escala 1/100)	50
Figura 4 – Planta do primeiro pavimento (Escala /100)	51
Figura 5 – Planta de cobertura (Escala 1/175)	51
Figura 6 – Posicionamento de pilares, vigas e lajes	53
Figura 7 – Área de influência para pilares no primeiro pavimento	55
Figura 8 – Resultados de reações na viga V03.....	59
Figura 9 – Diagrama da viga V03	60
Figura 10 – Momentos fletores da viga V03.....	61
Figura 11 – Esforços cortantes da viga V03	61
Figura 12 – Aparência inicial do Revit®.....	64
Figura 13 – Quadro de configuração de unidades.....	64
Figura 14 – Níveis de referência	65
Figura 15 – Janela para importar formatos de CAD	66
Figura 16 – Análise do alinhamento das plantas	67
Figura 17 – Visibilidade de categorias importadas	67
Figura 18 – Cópia de normas.....	68
Figura 19 – Selecionando opção de alvenaria	69
Figura 20 – Quadro de propriedades do tipo - alvenaria.....	69
Figura 21 – Edição de estrutura de alvenaria	70
Figura 22 – Restrições de inserção de alvenaria.....	71
Figura 23 – Quadro de propriedades.....	71
Figura 24 – Aba “Modificar Paredes”	72
Figura 25 – Ferramentas de modificar - alvenarias.....	72
Figura 26 – Paredes modeladas 3D	73
Figura 27 – Janela para Importar famílias	74
Figura 28 – Opção de inserir porta (DR).....	75
Figura 29 – Processo de inserção de porta.....	75
Figura 30 – Quadros de Propriedades e Propriedades de tipo	76
Figura 31 – Processo de inserção de janela.	77

Figura 32 – Modelagem 3D com alvenarias e esquadrias	78
Figura 33 – Alteração de níveis	79
Figura 34 – Inserindo eixo	79
Figura 35 – Planta com eixos	80
Figura 36 – Edição de “Faixa da vista”	80
Figura 37 – Quadro de edição de faixa da vista	81
Figura 38 – Visibilidade para Categorias do modelo	82
Figura 39 – Alteração de gráficos para pilares	82
Figura 40 – Carregando família de pilar	83
Figura 41 – Editando propriedades do pilar	84
Figura 42 – Alterando restrições do pilar	84
Figura 43 – Inserindo pilares	85
Figura 44 – Estrutura com vigas e pilares	86
Figura 45 – Caminho para inserir lajes	87
Figura 46 – Determinando perímetro de lajes	87
Figura 47 – Correção de vínculos analíticos	88
Figura 48 – Ajuste analítico para lajes	89
Figura 49 – Adicionando sapatas	89
Figura 50 – Resultado final da estrutura	90
Figura 51 – Visualização analítica 3D no Robot®	91
Figura 52 – Janela de preferências do trabalho	92
Figura 53 – Janela de alteração de propriedades do aço	92
Figura 54 – Janela de alteração de propriedades do concreto	93
Figura 55 – Adicionando banco de dados para armaduras	93
Figura 56 – Editando banco de dado para armaduras	94
Figura 57 – Quadro para alteração de códigos de projeto	94
Figura 58 – Alteração dos coeficientes de ponderação	95
Figura 59 – Quadro de tipos de carga	96
Figura 60 – Definição de cargas	96
Figura 61 – Combinação para ELU no Robot®	97
Figura 62 – Análise e edição em nova janela	98
Figura 63 – Momentos obtidos para lajes via ROBOT®	98
Figura 64 – Quadro para resultados em diagramas	99

Figura 65 – Momentos para viga V03 obtidos via ROBOT®	100
Figura 66 – Esforços cortantes para viga V03 obtidos via ROBOT®	100
Figura 67 – Acesso à armaduras de um elemento de CA	101
Figura 68 – Configurações de apoios e combinações.....	101
Figura 69 –Configurações para cobrimento e gerar armaduras	102
Figura 70 –Resultado para armaduras.....	102
Figura 71 – Tabela resumo fornecida pelo ROBOT	103
Figura 72 – Fluxograma para processo de execução manual do projeto	109
Figura 73 –Fluxograma para processo de projeto com uso do BIM.....	110

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Módulo de elasticidade inicial	27
Gráfico 2 – Módulo de elasticidade secante	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA).....	25
Tabela 2 – Qualidade do concreto	25
Tabela 3 – Valores de cobrimento nominal de acordo com a classe de agressividade ambiental	26
Tabela 4 – Valores estimados do módulo de elasticidade em função da resistência à compressão do concreto.....	29
Tabela 5 – Coeficientes γ_m	30
Tabela 6 – Valores do coeficiente adicional γ_n de acordo com a menor dimensão do pilar	31
Tabela 7 – Espessuras mínimas para lajes	33
Tabela 8 – Coeficiente adicional para lajes em balanço	33
Tabela 9 – Coeficiente de ponderação	35
Tabela 10 – Fatores de redução	35
Tabela 11 – Combinações	36
Tabela 12 – Momento para vigas bi apoiadas	37
Tabela 13 – Taxa mínima de aço	45
Tabela 14 – Taxa mínima de aço para lajes	46
Tabela 15 – Altura utilizada para lajes.....	54
Tabela 16 – Pré dimensionamento de altura para vigas.....	54
Tabela 17 – Pesos específicos.....	56
Tabela 18 – Ações atuantes em lajes	57
Tabela 19 – Momentos e reações para lajes armadas em uma direção	57
Tabela 20 – Momentos para lajes armadas em duas direções	58
Tabela 21 – Reações para lajes armadas em duas direções.....	58
Tabela 22 – Valores de carregamentos nas vigas V07, V11 e V33.....	59
Tabela 23 – Valores de carregamentos distribuídos na viga V03	60
Tabela 24 – Área de aço para diferentes diâmetros	62
Tabela 25 – Área de aço longitudinal calculada e total para viga V03	62
Tabela 26 – Área de aço transversal calculada e total para viga V03.....	63
Tabela 27 – Resumo de resultados – momentos lajes	104
Tabela 28 – Resumo de resultados - normalizado	105
Tabela 29 – Resumo de resultados – momentos viga V03.....	106

Tabela 30 – Resumo de resultados – cortantes viga V03.....	107
Tabela 31 – Comparação de aços longitudinais utilizados.....	107

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 GERAL	19
2.2 ESPECÍFICO	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> (BIM).....	20
3.1.1 Conceito.....	20
3.1.2 <i>Hardware, Software e Peopleware</i>	21
3.1.3 <i>Wash BIM (Pseudo BIM)</i>	21
3.2 SOFTWARES – BIM.....	22
3.2.1 Utilização de CAD e BIM	22
3.2.2 Parametrização	22
3.2.3 Revit®	22
3.2.4 Robot®	23
3.3 PROJETOS DE ESTRUTURAS.....	23
3.3.1 Concepção estrutural	23
3.3.2 Critérios de projeto	24
3.3.2.1 Classe de Agressividade Ambiental e qualidade do concreto	24
3.3.2.2 Cobrimento e Diâmetro do agregado	26
3.3.2.3 Módulo de elasticidade.....	26
3.3.3 Histórico do cálculo estrutural.....	29
3.3.4 Pré-dimensionamento.....	30
3.3.4.1 Vigas.....	31
3.3.4.2 Pilares	31
3.3.4.3 Lajes	32
3.3.5 Ações atuantes	34
3.3.6 Estados limites	34
3.3.6.1 Combinações.....	34
3.3.7 Análise estrutural.....	36
3.3.7.1 Determinação de momentos e reações em vigas	36

3.3.7.2	Determinação de momentos e reações em lajes maciças	38
3.3.8	Dimensionamento, verificações e detalhamento.....	41
3.3.9	Estado limite último para lajes e vigas– Esforços internos normais.....	41
3.3.10	Estado limite último – Esforços cortantes	42
3.3.10.1	Lajes	42
3.3.10.2	Vigas.....	43
3.3.11	Estado limite de serviço e detalhamentos	44
4.	METODOLOGIA.....	48
4.1	CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DA EDIFICAÇÃO	50
5.	ESTUDO DE CASO.....	52
5.1	CRITÉRIOS DE PROJETO UTILIZADOS.....	52
5.1.1	Distribuição de elementos primeiro pavimento	52
5.1.2	Pré-dimensionamento dos elementos.....	53
5.1.2.1	Lajes	53
5.1.2.2	Vigas.....	54
5.1.2.3	Pilares	54
5.1.3	Ações atuantes nas lajes	56
5.2	ANÁLISE MANUAL.....	57
5.2.1	Análise estrutural das lajes.....	57
5.2.2	Ações atuantes nas vigas V7, V09 e V11	58
5.2.3	Análise das vigas V7, V09 e V11	59
5.2.4	Ações atuantes na viga V03	60
5.2.5	Análise da viga V03.....	60
5.2.6	Dimensionamento da área de aço longitudinal	61
5.2.7	Dimensionamento da área de aço transversal.....	62
5.3	MODELAGEM NO REVIT®	63
5.3.1	Início do projeto.....	63
5.3.2	Configurando Unidades	64
5.3.3	Criando níveis de referência	65
5.3.4	Importação de plantas de <i>softwares</i> CAD	66
5.3.5	Alterando a visibilidade (Comando VG)	67
5.3.6	Modelando alvenarias	68

5.3.6.1	Editando tipos	68
5.3.6.2	Inserindo alvenarias	70
5.3.6.3	Modificando/Editando alvenarias	71
5.3.7	Carregando famílias - esquadrias	73
5.3.8	Inserindo esquadrias	74
5.3.8.1	Portas	74
5.3.8.2	Janelas.....	76
5.3.9	Alteração de configurações prévias para modelagem estrutural	78
5.3.9.1	Inserindo eixos	79
5.3.9.2	Alteração da faixa de vista	80
5.3.9.3	Alteração da visibilidade dos pilares	81
5.3.10	Modelagem de estrutura.....	83
5.3.11	Modelagem de pilares.....	83
5.3.11.1	Carregando família	83
5.3.11.2	Editando tipo.....	83
5.3.11.3	Inserindo pilares	84
5.3.12	Modelagem de vigas	85
5.3.13	Modelagem de lajes	86
5.3.14	Corrigindo vínculos analíticos	88
5.3.15	Adicionando fundações	89
5.4	ROBOT®.....	90
5.4.1	Interoperabilidade entre Revit® e Robot®.....	90
5.4.2	Configurações iniciais	91
5.4.2.1	Alterando materiais.....	91
5.4.2.2	Incluindo banco de dados de barras.....	93
5.4.2.3	Alteração de códigos do projeto	94
5.4.3	Cargas	95
5.4.4	Combinações.....	96
5.4.5	Análises	97
5.4.5.1	Observação de momentos nas lajes	97
5.4.5.2	Momentos e esforços cortantes nas vigas.....	99
5.4.6	Gerando área de aço para viga V03	100

6.	RESULTADOS E CONCLUSÕES	104
6.1	COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL.....	104
6.1.1	Momentos das lajes	104
6.2	Viga	106
6.2.1	Momento fletor	106
6.2.2	Esforço cortante.....	106
6.2.3	Comparação da área de aço.....	107
6.3	Do processo de desenvolvimento do projeto.....	108
6.3.1	Etapas comuns: idealizações do projetista.....	111
6.3.2	Etapas diferentes – fluxo de projeto manual	111
6.3.2.1	Análise estrutural	111
6.3.2.2	Área de aço	112
6.3.2.3	Verificação de esforços cortantes.....	112
6.3.2.4	Detalhamentos.....	113
6.3.2.5	Estado Limite de Serviço	113
6.3.2.6	Finalização do projeto	114
6.3.3	Análise de fluxograma com auxílio computacional	114
6.3.4	Comparações	115
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
7.1	CONCLUSÃO.....	117
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118
8.	REFERÊNCIAS	119

1. INTRODUÇÃO

A execução de projetos de estrutura é uma das diversas atividades da engenharia civil. Estes podem ser divididos em distintas etapas, como concepção, pré-dimensionamento, cálculo de área de aço para Estado Limite Último (ELU), verificações de Estados Limite de Serviço (ELS) e detalhamento de armaduras. Realizar todas essas atividades com a velocidade e precisão que são sempre exigidas é um desafio constante. Para superá-los, atualmente, são utilizados recursos computacionais e os profissionais lançam mão do uso de softwares específicos que executam um conjunto completo de atividades, desde permitir a modelagem, até calcular esforços internos, deslocamentos, cálculo de área de aço, verificações e otimizações.

É de suma importância que nesses softwares seja feita a modelagem das informações da construção, valendo-se do processo BIM - *Building Information Modelling*. O BIM é um conjunto de tecnologias e processos que permite a elaboração de modelos digitais que contém informações técnicas e geométricas dos materiais utilizados. Além de exigências técnicas e de mercado, o uso do BIM será cada vez mais presente devido a promoção dessa tecnologia pelo Governo Federal, a partir do Decreto nº 9.983, 2019, que por sua vez, institui o Comitê Gestor da Estratégia BIM-BR. A estratégia montada por esse comitê é de que Programas Piloto, inicialmente desenvolvidos pelo Exército Brasileiro, Marinha do Brasil, Secretaria Nacional de Aviação Civil e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, utilizem e exijam o uso dessa tecnologia de forma escalonada.

A primeira fase tem início em 2021, a partir da exigência de projetos de arquitetura e engenharia. Vale destacar que já a partir da primeira fase a necessidade do uso na disciplina estrutural. A segunda a partir de 2024, com aplicação também na execução de obras. Por fim, a terceira fase em 2028, onde será incluída a exigência do BIM em serviços de gerenciamento e manutenção (BRASIL, 2018).

Portanto, o estímulo ao uso de softwares de forma colaborativa entre as diferentes matérias, aliado à uma cultura já existente na área estrutural do auxílio computacional, solidificará ainda mais o uso tecnológico para o cálculo de estruturas. Entretanto, uma consequência que existe e que deve ser continuamente evitada, é o distanciamento do processo de cálculo ao ponto de reduzir a capacidade de análise de resultados, como momentos fletores, esforços normais, esforços cortantes e áreas de aço.

Apesar de que o projeto de uma estrutura possua cálculos e isso sugira algo exato, a subjetividade está presente em diversas etapas. Além da própria concepção, a escolha do método de pré-dimensionamento, um outro exemplo é de que, no modelo, as ligações podem ser consideradas engastadas, apoiadas ou rotuladas, e a variação na escolha determina esforços internos e reações diferentes. Outro caso, importante para a execução, é o detalhamento, que possui diferentes possibilidades que atenderão à norma, mas que algumas irão gerar árdua realização. É importante que os usuários não se habituem a apenas aceitar os resultados, mas sim ter capacidade de crítica, a partir do aprofundamento no conhecimento técnico.

Assim, é notável a necessidade da ciência dos processos, para que se tenha um conhecimento enraizado que será utilizado nos diferentes momentos da complexa atividade que é “projetar”. Nesse conhecimento inclui-se o entendimento da diferença entre o cálculo manual e a utilização de modelos computacionais, a modelagem em softwares, como Revit, Robot® e Eberick, da interoperabilidade, como parte do processo BIM, e uma boa análise dos resultados que são mostrados em softwares para projetos estruturais.

A exposição de forma objetiva das etapas dos dois processos e também suas diferenças é fundamental para se compreenda o significado e de cada uma dentro de um contexto geral. As análises dessas informações geradas deve permitir que os profissionais ou estudantes identifiquem de forma mais eficiente pontos da sua formação que possam ser aprimorados, de forma que haja uma evolução quanto às suas capacidades de desenvolvimento e análise e, conseqüentemente, gerar resultados que consigam aliar segurança, qualidade e economia.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

O objetivo geral é analisar qualitativamente as diferenças entre os processos do cálculo manual e do computacional, pela modelagem a partir da integração REVIT®/ROBOT®, para determinação de esforços internos para lajes e vigas e dimensionamento da área de aço pelo estado-limite último para vigas, observando de forma detalhada a influência do executor nas etapas, afim de que sejam explicitadas diferenças, possíveis vantagens e desvantagens.

2.2 ESPECÍFICO

- Definir passos para obtenção de esforços internos de lajes e vigas e área de aço pelo estado-limite último para vigas de forma manual;
- Construção de procedimentos para modelagem arquitetônica no REVIT®;
- Representação de esquemas (fluxogramas) relativos a cada um dos processos;
- Montar uma metodologia que possa ser utilizada para uso do ROBOT® em análises e dimensionamentos;
- Descrever critérios que devem ser editados no ROBOT® para que possa atender às Normas Brasileiras.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM)

3.1.1 Conceito

O desenvolvimento da elaboração de projetos vem sendo acompanhado concomitantemente com o desenvolvimento tecnológico das ferramentas auxiliares. Projetos estruturais, de início se tinha uma execução completa manual, desde os memoriais, os cálculos e os detalhamentos do projeto. Esse desenvolvimento trouxe auxílios, como os editores de texto e o CAD (*Computer Aided Desing*). Os avanços culminaram na tecnologia BIM. Essa é a sigla para o termo em inglês *Building Information Models* ou *Building Information Modeling*. As traduções para esses termos seriam “Modelo de Informações da Construção/Edifício” e “Modelagem das Informações da Construção/Edifício” (MANZIONE, 2014). O BIM acaba por permitir, através de ferramentas tecnológicas, a organização e gerenciamento das informações modeladas em todo período de utilização: projeto, construção, manutenção e demolição (HIGENBERG, et. al., 2012).

A Modelagem da Informação do Edifício (BIM), é um processo baseado em modelos digitais, compartilhados, integrados e interoperáveis. (ISIKDAG; UNDERWOOD, 2010 apud MANZIONE, 2014). Portanto, o conceito de BIM é mais bem descrito quando citado como uma atividade, ou um processo. Se descrito como um objeto poderia ser confundido algum tipo de produto, como um software, por exemplo. (EASTMAN, et al, 2014).

As informações, que podem ser modeladas em diferentes softwares, necessitam da condição de interoperabilidade para que o processo de BIM seja possível. Por isso a necessidade de utilização de um protocolo internacional de troca de dados. O principal protocolo utilizado hoje é o *Industry Foundation Classes* (IFC) (ANDRADE, 2009).

Portanto, o BIM não deve ser confundido simplesmente como a modelagem espacial em 3 dimensões. Se as informações dos elementos modelados não fizerem parte do processo e se este não permitir a interoperabilidade, não se caracteriza como um processo BIM.

3.1.2 *Hardware, Software e Peopleware*

Praticamente todos os sistemas computacionais apresentam uma estrutura semelhante de subsistemas: hardware, software e *peopleware*. A parte física dos equipamentos são denominadas *hardware*. Aos programas, parte lógica é dado o nome de *software*. Por fim, o *peopleware* é o pessoal capacitado e capaz de conduzir hardware e software. (VELOSO, 2017).

Para a implantação do BIM é necessária a disponibilidade de software e hardwares com desempenhos equivalentes, geralmente de altos. (HIGENBERG, et. al., 2012). Entretanto, vale salientar que o processo BIM somente funciona caso o usuário esteja devidamente capacitado a utilizar essas ferramentas.

3.1.3 *Wash BIM (Pseudo BIM)*

A partir do fato de ser um processo em evolução, com característica de disseminação de conhecimento difusa, o BIM é por muitas vezes mal interpretado, com informações incompletas, confusas ou inverídicas que são repassadas. Esse ato é caracterizado como *Wash BIM*, ou Pseudo BIM (SUCCAR, 2015).

Segundo o *BIMDictionary* (2020), o Pseudo BIM é aplicado a todos os usuários em diferentes escalas, e as informações indevidas são repassadas devido diferentes fatores: (0) Não existe Pseudo BIM, não é feita nenhuma afirmação sobre a capacidade em relação ao BIM; (1) Confusão, ou Pseudo BIM feito de forma involuntária; (2) Inexperiência ou Pseudo BIM leve; (3) Exagero ou Pseudo BIM considerável; (4) Ilusão ou Pseudo BIM grave. Ou seja, é possível que usuários, de forma voluntária ou involuntária, passem informações incorretas sobre o BIM e suas capacidades.

3.2 SOFTWARES – BIM

3.2.1 Utilização de CAD e BIM

Diversos trabalhos acadêmicos tratando do uso do BIM e softwares específicos já foram publicados, buscando entender a aplicabilidade, assim como colaborar com o próprio desenvolvimento da tecnologia. São alguns exemplos de trabalhos: de Tarrafa, 2012; Piza, 2012; Manzione, 2013; Nunes e Leão, 2018.

3.2.2 Parametrização

A parametrização é uma metodologia fundamental para a eficiência do processo BIM. O conceito original parte da Programação Orientada a Objetos, que tratam da transformação de entidades do mundo real em objetos do programa, o que é caracterizado como abstração (CARMO, 2001). Os elementos do mundo real possuem características, as quais se atribuem valores, para finalmente descrever um objeto.

Os parâmetros são as características utilizadas para receber diferentes valores. Portanto, a operação do software é paramétrica quando números ou características definem relações entre os elementos e as alterações oferecidas por meio do gerenciamento (Autodesk, 2019).

3.2.3 Revit®

O Revit® é uma plataforma BIM que permite projeto e documentação a partir de todos os elementos necessários de projetos, desenhos e tabelas. O software permite informações sobre projeto, escopo, quantitativos e sobre fases do projeto, quantas forem necessárias. (Autodesk, 2020).

Segundo Silva e Oliveira (2019), o Revit® é um software desenvolvido pela Autodesk®, que permite o desenvolvimento de projetos, dos simples aos mais complexos. A parametrização é um dos mais importantes princípios da modelagem dos elementos dentro do software.

É um sistema que possui famílias de objetos, como paredes, pisos e coberturas, nos quais cada elemento possui propriedades paramétricas fixas. Os valores desses parâmetros podem ser alterados pelo usuário, sendo alguns deles com fórmulas que buscam remeter o comportamento real. Também permite o trabalho colaborativo em um único modelo (CRESPO, 2007). Segundo a Autodesk (2020) “uma família é um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades chamado de parâmetros e uma representação gráfica relacionada”. Fazem parte de uma família todos elementos cuja origem seja dada pela variação dos parâmetros desta.

3.2.4 Robot®

O Robot® é um programa integrado usado para modelar e analisar estruturas que sofrem carregamentos. O programa permite a integração com o Revit® a partir de fluxos de informações baseados no BIM. Permite o projeto de construções resilientes, com resultados precisos dentro do processo BIM (Autodesk, 2020). Possui a grande vantagem de poder receber uma estrutura modelada completamente no Revit®, software no qual, usualmente, se realizam os projetos arquitetônicos. Isso permite alterações mais rápidas, eficientes e precisas.

É um software que pode ser utilizado desde a concepção, até a modelagem e análise estrutura. Tanto a modelagem plana quanto a tridimensional são permitidas. O vínculo com o Revit® é uma grande vantagem, por permitir atualizações precisas do modelo, por meio da gestão paramétrica (PIZA, 2017).

3.3 PROJETOS DE ESTRUTURAS

3.3.1 Concepção estrutural

A concepção estrutural é uma das etapas do projeto da estrutura, cujo significado está relacionado com a idealização. Segundo Kimura (2007), concepção estrutural é momento de definições, sejam dos materiais utilizados, das ações que atuarão sobre a estrutura ou das

dimensões iniciais da estrutura. O lançamento dos elementos também é feito nessa etapa e deve estar de acordo com a previsão do comportamento que terão quando carregados.

A determinação do arranjo da estrutura, como tipos de apoio, vinculação das estruturas ao meio externo fazem parte da concepção, o que exige do projetista o conhecimento do funcionamento de cada uma das partes que vai formar a estrutura idealizada (ONISH; FUSCO, 2017).

Apesar de pesquisas, como a de Souza, Et Al. (2017), Oliveira e Miranda (2017), que tratam do auxílio numérico para a decisão do posicionamento, os softwares comerciais ainda não fazem a concepção estrutural. Portanto, o nascimento da estrutura surge do imaginário do projetista, que é exigido com experiência, sensatez, razoabilidade, raciocínio, dentre outros atributos.

3.3.2 Critérios de projeto

Durante a concepção do projeto, alguns parâmetros que influenciarão no desenvolvimento dele devem ser determinados. A NBR 6118/2014 diretrizes para a durabilidade, no seu sexto item, e critérios de projeto que visam a durabilidade, no sétimo.

Dentre as diretrizes são determinados mecanismos de envelhecimento e deterioração da estrutura de concreto que devem ser considerados e os critérios de classificação de agressividade ambiental. Já dentre os critérios são dados limites para qualidade do concreto, cobrimento, detalhamento das armaduras, controle da fissuração, inspeção e manutenção preventiva. Alguns destes critérios precisam ser avaliados e determinados no início do projeto e serão apresentados em seguida.

3.3.2.1 Classe de Agressividade Ambiental e qualidade do concreto

Segundo Parizotto (2017), a classificação de agressividade ambiental é dada conforme exposição da estrutura e risco de deterioração. A NBR 6118/2014 traz essa classificação conforme Tabela 1, podendo ser avaliada de forma simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

Fonte: Adaptada da tabela 6.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

A partir da classificação da agressividade ambiental, a NBR 6118/2014 indica qual deve ser a qualidade mínima do concreto, determinando, conforme Tabela 2, a máxima relação água/cimento em massa e a classe mínima de resistência do concreto. Em ambos casos, além da classe de agressividade é necessário observar se a armadura do concreto é passiva ou ativa (concreto protendido).

Tabela 2 – Qualidade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Fonte: Adaptada tabela 7.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

3.3.2.2 Cobrimento e Diâmetro do agregado

O cobrimento é o valor da espessura da camada de concreto que protege as armaduras mais próximas da superfície externa do elemento (PARIZOTTO, 2017). A NBR 6118/2014 indica que o cobrimento nominal é o cobrimento mínimo acrescido de uma tolerância de execução. Para uma tolerância de 10mm, ainda segundo a norma, os valores de cobrimento nominais devem respeitar o descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de cobrimento nominal de acordo com a classe de agressividade ambiental

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: Adaptada da tabela 7.2 da ABNT NBR 6118 (2014).

Já o diâmetro do agregado tem relação direta com o cobrimento nominal, devendo respeitar o valor máximo indicado pela ABNT NBR 6118/2014, seguindo os limites para lajes de 30mm, para vigas de 36mm e pela fórmula (1):

$$d_{\text{máx}} \leq 1,2c_{\text{nonm.}} \quad (1)$$

3.3.2.3 Módulo de elasticidade

A NBR 8522/2017 orienta sobre métodos de ensaios que determinam módulos de elasticidade. Esta norma define o módulo de elasticidade, ou módulo de deformação tangente à origem ou inicial (E_{CI}) como a inclinação da reta, conforme Gráfico 1, que passa pelos pares ordenados ($\sigma_a, \epsilon_a; 0,3f_c, \epsilon_b$), sendo:

σ_a , geralmente o valor de 0,5MPa;

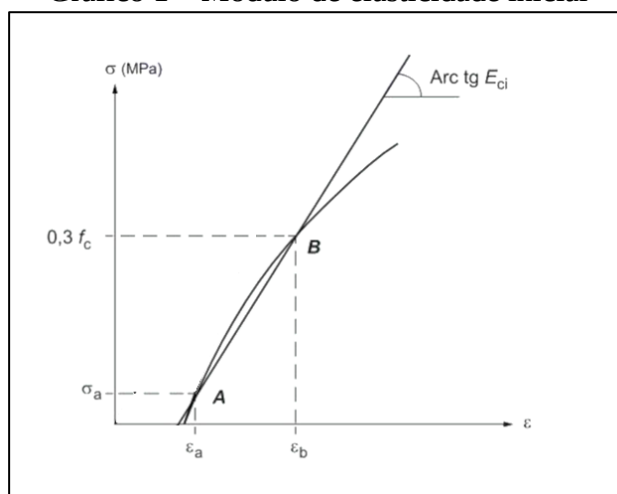
ε_a ; deformação para o valor de tensão de 0,5MPa;

f_c , resistência à compressão do concreto (MPa);

ε_b deformação para o valor de $0,3f_c$.

É o módulo de elasticidade que representa o comportamento elástico do concreto para tensões iniciais.

Gráfico 1 – Módulo de elasticidade inicial



Fonte: Adaptado Figura 1 da ABNT NBR 8522 (2017).

Também a NBR 8522/2017, define o módulo de deformação secante do concreto (E_{cs}) como a inclinação da reta, conforme Gráfico 2, que passa pelos pares ordenados (σ_a , ε_a ; σ_b , ε_b) sendo:

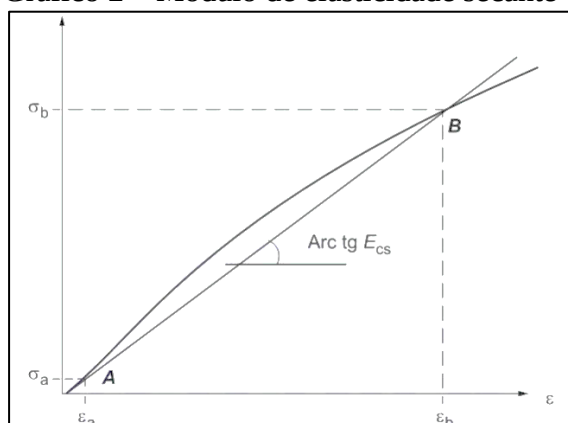
σ_a : tensão básica de 0,5MPa

ε_a : deformação para o valor de tensão de 0,5MPa

σ_b : tensão especificada para módulo de elasticidade do concreto (MPa);

ε_b : deformação para tensão de σ_b

Gráfico 2 – Módulo de elasticidade secante



Fonte: Adaptado de figura 2 da ABNT NBR 8522 (2017).

É o módulo de elasticidade que tenta representar melhor o comportamento do concreto também nas regiões elásticas mais próximo ao rompimento.es

A NBR 6118/2014, quando fala dos módulos de elasticidade permite que os valores sejam obtidos por meio de cálculos ou tabelas, quando não realizados ensaios. Para o módulo de elasticidade inicial:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \text{ - para } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 50 MPa} \quad (2)$$

onde:

E_{ci} – módulo de elasticidade inicial (GPa)

α_E – parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade.

f_{ck} – resistência característica do concreto (MPa).

E o valor do módulo de elasticidade secante é dado por:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (3)$$

onde:

E_{cs} – módulo de elasticidade secante (GPa);

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

Como alternativa ao uso das fórmulas, a NBR 6118, apresenta uma tabela com valores estimados dos módulos de elasticidade, mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores estimados do módulo de elasticidade em função da resistência à compressão do concreto.

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Fonte: Adaptada da tabela 8.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

3.3.3 Histórico do cálculo estrutural

A história da análise estrutural não possui um início exato, mas um desenvolvimento contínuo, conforme surgiram novos fundamentos matemáticos, físicos e da ciência dos materiais, como por exemplo: a descoberta do π (pi), por Arquimedes (séc. II a.C.); Lei de Hooke, por Robert Hooke (séc. XVII); Cálculo de Flambagem, por Leonhard Paul Euler (séc. XVIII); Coeficiente de Poisson, por Siméon-Denis Poisson (séc. XIX); Módulo de Elasticidade, por Thomas Young (séc. XIX).

Antes do surgimento de métodos computacionais para auxílio das análises, o cálculo manual, evidentemente, era a única forma de realizá-las. Todavia, mesmo que os métodos numéricos com equações desenvolvidas por softwares e aplicativos atualmente sejam acessíveis, apresentem velocidade e capacidade maiores, o método manual analítico continua sendo utilizado. Métodos numéricos e analíticos não devem ser entendidos como concorrentes, mas sim como complementares (SILVA, 2017).

Métodos analíticos são os utilizados na formação acadêmica e no âmbito profissional. Quando a análise de elementos complexos requer um trabalho julgado excessivo para o tipo de construção em consideração, eles podem ser decompostos em elementos estruturais mais simples, plano ou até lineares, permitindo essa forma de análise (ONISH; FUSCO, 2017).

A NBR 6118/2014 não menciona diferenças ou preferências em relação aos métodos analíticos ou numéricos. Entretanto, indica quais métodos, que se diferenciam pelo comportamento admitido para os materiais constituintes, podem ser utilizados. As análises possíveis são: linear; linear com redistribuição; plástica; não linear e através de modelos físicos.

3.3.4 Pré-dimensionamento

Apesar da estrutura trabalhar como um conjunto, sua análise a partir dessa consideração é muito complexa, exigindo um trabalho que pode se tornar excessivo. De forma facilitar, os elementos podem ser decompostos em elementos estruturais mais simples, planos ou até lineares, que são os casos das lajes, vigas e pilares (ONISH; FUSCO, 2017).

Para determinar os carregamentos nesses elementos, que serão utilizados na análise estrutural (determinação de esforços internos) é necessário considerar o peso próprio. Entretanto, sem o dimensionamento e verificações realizadas não é possível garantir quais as dimensões são adequadas. Como solução para o problema, dimensões prévias devem ser atribuídas às estruturas, sempre respeitando os limites estabelecidos pela ABNT NBR 6118/2014. Estas podem ser pré-definidas pela experiência do profissional, aliado ao bom senso e raciocínio (KIMURA, 2007). Outras opções são fórmulas de pré-dimensionamento que são consagradas na literatura.

Vale lembrar que, já no pré-dimensionamento, a resistência característica, tanto do concreto (f_{ck}) como do aço (f_{yk}), são o resultado das resistências de projeto (f_{cd} e f_{yd}) divididas pelo coeficiente de minoração, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficientes γ_m

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,00

Fonte: Adaptada da tabela 12.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

Para obras comuns e situações normais, os valores utilizados na resistência de cálculo do concreto e aço são:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (4)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (5)$$

3.3.4.1 Vigas

A NBR 6118/2014 determina que as vigas não devem apresentar, em sua seção transversal, uma largura menor que 12cm, salvo casos excepcionais previstos. É usual que se utilize larguras próximas às da alvenaria, para que os elementos aparentem ser contínuos na construção. A norma não define dimensões limites para as alturas das vigas. Estimativas comumente utilizadas para a altura das vigas são:

- tramos internos: $h_{est} = \frac{l_0}{12}$ (6)

- tramos externos o vigas bi apoiadas: $h_{est} = \frac{l_0}{10}$ (7)

- balanços: $h_{est} = \frac{l_0}{10}$ (8)

3.3.4.2 Pilares

A NBR 6118/2014 indica valores limites mínimos para dimensões e área. O menor valor para a área da seção transversal é de 360cm² e da dimensão é de 19cm. Entretanto, a menor dimensão pode ser reduzida até 14cm. Desde que considerando um coeficiente adicional γ_n , conforme Tabela 6

Tabela 6 – Valores do coeficiente adicional γ_n de acordo com a menor dimensão do pilar

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

Fonte: Adaptada da tabela 13.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

Segundo Bastos (2015), existem alguns métodos de pré-dimensionamento da seção, antes mesmo que os esforços solicitantes neles atuantes sejam determinados. Um desses métodos seria calcular o carregamento do pilar através de áreas de influência. A carga do pilar provém dessa área de influência multiplicada pela carga total. Para edifícios com fins residenciais e de escritórios o valor de 10 kN/m² pode ser utilizado (estimativa que considera cargas permanentes e variáveis).

O cálculo da área da seção pode ser realizado pelas equações a seguir (BASTOS, 2015):

a) Pilar Intermediário:

$$A_c = \frac{N_d}{0,5f_{ck} + 0,4} \quad (9)$$

b) Pilares de Extremidade e de Canto:

$$A_c = \frac{1,5N_d}{0,5f_{ck} + 0,4} \quad (10)$$

onde:

A_c = área da seção transversal do pilar (cm²);

N_d = força normal de cálculo (kN);

f_{ck} = resistência característica do concreto (kN/cm²).

3.3.4.3 Lajes

As lajes possuem dimensões mínimas definidas pela ABNT NBR 6118/2014, conforme Tabela 7. Entretanto, a altura final da laje, consequentemente sua rigidez, deve ser estimada de acordo com a situação da laje. A altura da laje (cm) é dada por:

$$h = d_n + c + \frac{\phi}{2} \quad (11)$$

onde:

c – cobrimento (cm) (item 3.3.2.2);

ϕ – bitola utilizada (cm);

d_n – distância do centro de gravidade da armadura longitudinal tracionada até a fibra mais comprimida de concreto, pré dimensionada (cm), por sua vez, dada por:

$$d_n = \frac{(2,5 - 0,1 \cdot n)l_x}{100} \quad (12)$$

onde:

l_x – menor vão da laje (m)

n – número de bordas engatadas.

Tabela 7 – Espessuras mínimas para lajes

Condição da laje	Espessura mínima (cm)
Cobertura não em balanço	7
Piso não em balanço	8
Em balanço	10
Que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN	10
Que suportem veículos de peso total maior que 30 kN	12

Fonte: Adaptado do item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

No caso de lajes em balanço é necessário acrescentar um coeficiente γ_n caso as dimensões se apresentem dimensões entre 19 e 10 centímetros, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficiente adicional para lajes em balanço

h cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45

Fonte: Adaptado da tabela 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

3.3.5 Ações atuantes

É considerada uma ação em um elemento estrutural toda influência que gere estados de tensão ou deformação em uma estrutura. Portanto, para calcular os valores dos esforços internos, as ações devem ser determinadas. As ações classificadas na ABNT NBR6118/2014 são:

- Permanentes: constantes durante a vida da estrutura, como o peso próprio do concreto (2.500kg/m^3) e revestimentos;
- Variáveis: podem ser diretas, como cargas de uso, cargas móveis, impacto lateral; também indiretas, ou indiretas, pelas variações de temperatura e por ações dinâmicas.

Os valores das ações podem ser calculados, como no caso do peso próprio, ou encontrados em norma, na ABNT NBR 6120/2019.

3.3.6 Estados limites

A segurança da peça é garantida quando as solicitações, que são calculadas a partir de cargas majoradas (solicitações de cálculo), tomam valores iguais ou menores do que solicitações que levaria a peça a uma situação indesejada de ruptura. Essa situação é chamada de Estado Limite Último (ELU).

Já para situações que prejudiquem a durabilidade, aparência, conforto do usuário e boa utilização funcional são os Estados Limites de Serviço (ELS). A análise dos estados é um processo simplificado, não sendo realizado a partir de uma análise probabilística completa. É chamado de método semiprobabilístico (CARVALHO; FILHO, 2014).

3.3.6.1 Combinações

As cargas solicitantes para o ELU e ELS surgem a partir de combinações, nas quais os valores dos carregamentos são multiplicados por coeficientes de ponderação ou fatores de redução. Esses valores são apresentados na Tabela 9 e na Tabela 10.

Tabela 9 – Coeficiente de ponderação

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

Fonte: Adaptado da tabela 11.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

Tabela 10 – 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 permanecem 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
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Fonte: Adaptado da tabela 11.2 da ABNT NBR 6118 (2014).

Os resultados das combinações são obtidos a partir da orientação da ABNT NBR 8681/2003 a partir da utilização dos coeficientes de ponderação e dos fatores de redução. As fórmulas e os valores utilizados para residências são apresentados na Tabela 11:

Tabela 11 – Combinações

Estado limite		Combinações
Estado limite último		$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk})$ $F_d = 1,4 \cdot (F_{gk} + F_{qk})$
Estado limite de serviço	Combinações quase permanentes	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + 0,3 \cdot F_{qk}$
	Combinações frequentes	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \psi_1 \cdot F_{q1,k} + \sum \psi_{2j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + 0,4 \cdot F_{qk}$
	Combinações raras	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + F_{q1,k} + \sum \psi_{1j} \cdot F_{qj,k}$ $F_{d,ser} = F_{gk} + F_{qk}$

Fonte: Adaptado das tabelas 11.3 e 11.4 da ABNT NBR 6118 (2014).

3.3.7 Análise estrutural

Segundo a ABNT NBR 6118/2014, a análise estrutural determina os efeitos das ações de uma estrutura, esforços internos (momentos, esforços cortantes), tensões deformações e deslocamentos. Isso quer dizer que, dependendo do uso, consequentemente, das cargas e das propriedades físicas e geométrica dos elementos, valores para esforços internos devem ser encontrados.

Para realizar a análise estrutural é necessário o conhecimento dos carregamentos provenientes das combinações das ações atuantes, para o caso de residências, dos carregamentos permanentes e variáveis, e adotar um tipo de comportamento do concreto. A ABNT NBR 6118 permite cinco tipos de análise quanto ao comportamento e o projeto precisa apresentar conformidade com pelo menos um desses. (FONTES; MIRANDA, 2009).

3.3.7.1 Determinação de momentos e reações em vigas

A determinação dos momentos nas vigas pode ser feita a partir da consideração de condição de linearidade. Para vigas bi apoiadas os momentos e reações podem ser

determinados a partir de fórmulas de resistência dos materiais. Valores máximos de momentos, dependendo da condição dos apoios de vigas bi apoiadas são mostrados na Tabela 12.

Tabela 12 – Momento para vigas bi apoiadas

CONDIÇÕES DE APOIO	CÁLCULO DE MOMENTOS MÁXIMOS	CÁLCULO DE REAÇÕES MÁXIMAS
AA	$M = \frac{Pl_x^2}{8}$	$R = \frac{Pl_x}{2}$
AE	$M = \frac{Pl_x^2}{8}$	$R = \frac{5Pl_x}{8}$
EE	$M = \frac{Pl_x^2}{12}$	$R = \frac{Pl_x}{2}$
BALANÇO	$M = \frac{Pl_x^2}{2}$	$R = Pl_x$

Fonte: Autoria própria (2020).

Outra opção é a utilização de softwares voltados para a resistência dos materiais, como FTOOL, permite o cálculo de momentos e reações para vigas. O auxílio se torna fundamental quando utilizado, por exemplo, o modelo de vigas contínuas, no modelo melhorado. Este é permitido pela ABNT NBR 6118/2014 como forma de representar melhor a solidariedade dos pilares com a viga, a partir da introdução da rigidez à flexão dos pilares. Essa rigidez é representada por uma mola.

Segundo Bastos (2017), a rigidez pode ser calculada, para casos em que os pilares possuem as mesmas características nos lances acima e abaixo da viga, por:

$$K_{mola} = \frac{8EI}{l} \quad (13)$$

Onde,

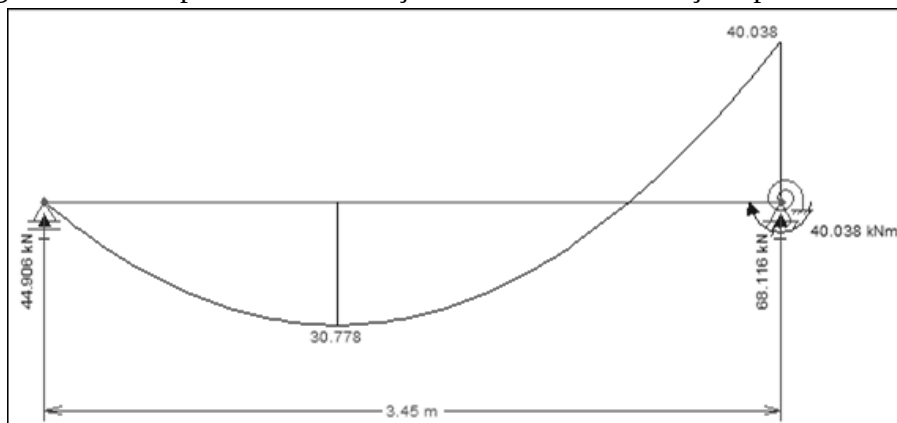
E – E_{cs} , módulo de elasticidade secante do concreto (kN/m^2);

I – momento de inércia no lance do pilar (m^4);

l – comprimento equivalente das vigas (m).

A Figura 1 e mostra exemplo de obtenção de momentos, esforços e reações para vigas que consideram rigidez nas ligações com pilar.

Figura 1 – Exemplo de determinação de momentos e reações pelo FTOOL



Fonte: Autoria própria (2020).

3.3.7.2 Determinação de momentos e reações em lajes maciças

A ABNT NBR 6118 indica que as análises lineares são usualmente aplicadas para verificações no estado limite de serviço. Segundo Carvalho e Figueiredo (2014), no método de ruptura para placas (classificação das lajes maciças) os esforços são calculados a partir da análise plástica, pela teoria das charneiras plásticas, normalmente difícil. Entretanto, o método linear pode ser aplicado para situações de ruptura, desde que se possa garantir a ductilidade dos elementos, a partir da posição da linha neutra (item 14.6.4.3 da ABNT NBR 6118/2014).

Ainda segundo Carvalho e Figueiredo (2014), deve ser observado o parâmetro λ .

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad (14)$$

onde:

l_y – comprimento do maior vão (m).

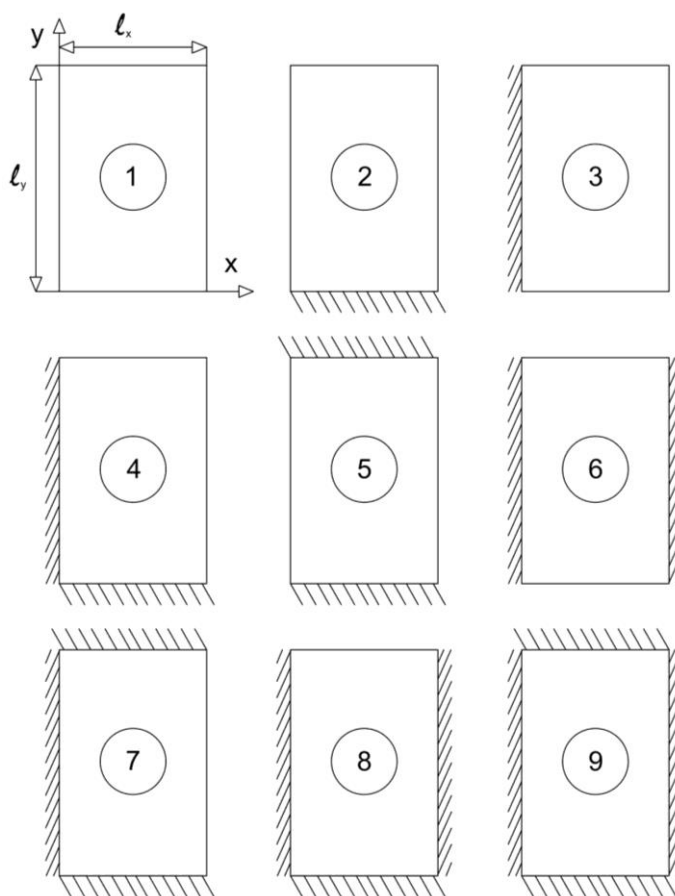
l_x – comprimento do menor vão (m).

Quando λ , que representa a relação entre o maior (l_y) e menor (l_x) vão for maior que 2, para efeitos de cálculo, é habitual se considerar que a laje trabalha em uma direção. Por outro lado, se for menor ou igual, considera-se trabalhando em duas direções, como placa. A laje será armada nas direções de trabalho.

Se a laje for armada em uma direção, a determinação dos momentos pode ser a partir de método elástico para elementos lineares. É considerado então que a laje é um conjunto de vigas, sendo a armadura calculada para faixas, geralmente, de um metro. A determinação dos momentos é feita da mesma forma que para vigas conforme 3.3.7.1.

Todavia, se for armada nas duas direções, se prossegue com a análise de placas. O método de determinação de esforços de deslocamentos por meio de séries é adequado para a confecção de quadros, com os de Bares (1972, apud CARVALHO; FIGUEIREDO, 2014). A partir da geometria e das condições de vinculação, são determinados deslocamentos e momentos. A Figura 2 apresenta os tipos de vinculação possíveis, a partir da qual se define os coeficientes.

Figura 2 – Situação de vinculação das placas isoladas



Fonte: Adaptado da figura 7.5 de Carvalho e Figueiredo (2014).

De posse dos coeficientes o cálculo dos momentos máximos positivos e negativos são feitos pela seguinte fórmula:

$$m = \mu \frac{p l_x^2}{100} \quad (15)$$

onde:

m – momento positivos e/ou negativos calculados, para direção x e/ou y (kNm/m).

p – carregamento determinado pelas combinações (kN/m²).

l_x – comprimento do menor vão (m).

μ - coeficiente dependente da geometria e condição de vinculação para cálculo de momento na laje.

$$q = k \frac{p l_x}{10} \quad (16)$$

onde:

q – valor de reação na viga (kN/m).

p – carregamento determinado pelas combinações (kN/m²).

l_x – comprimento do menor vão (m).

k - coeficiente dependente da geometria e condição de vinculação para cálculo de reação na viga.

Vale salientar que tanto os momentos, quanto as reações são obtidas para faixas de metro das lajes. Esse fator deve ser levado em consideração na hora de dimensionar e verificar as lajes.

3.3.8 Dimensionamento, verificações e detalhamento.

Como mencionado em 3.3.6, os elementos de concreto devem resistir a situações de estado limite último e estado limite de serviço. Para essas situações podem existir tanto dimensionamentos, como verificações. O estado limite último é usualmente utilizado para dimensionamento das armaduras.

3.3.9 Estado limite último para lajes e vigas– Esforços internos normais

A atuação do momento fletor gera nos elementos estruturais respostas de esforços internos de tração e compressão (PINHEIRO; CRIVERALO, 2019). O dimensionamento nesse caso ocorre pela definição da geometria do elemento e do cálculo da área de aço para resistir à tração (desconsiderada a resistência à tração do concreto), encontrada através do equilíbrio da seção.

O item 19.2 da ABNT NBR 6118/2014 determina que lajes e vigas possuem os mesmos princípios. O primeiro deles, conforme item 17.2.1 da ABNT NBR 6118/2014, é de que o conjunto de esforços resistentes (N_{Rd} , M_{Rd}) deve ser maior que o conjunto de esforços solicitantes (N_{Sd} , M_{Sd}). Os demais princípios são relacionados no item 17.2.3 da ABNT NBR 6118/2014. Independente da forma de análise estrutural, após a determinação do momento a área de aço longitudinal para elementos sujeitos a flexão pode ser calculada por:

$$A_s = \frac{M_d}{(d - 0,4x) \cdot f_s} \quad (17)$$

onde:

M_d – Momento de projeto. Ao utilizar esse valor, a área de aço encontrada é a mínima (kNm).

d – altura útil, correspondente à distância da borda mais comprimida ao eixo da armadura longitudinal (m).

f_s – valor da resistência do aço no rompimento. Caso esteja em escoamento, $f_s = f_{yd}$ (kN/cm²)

x – altura (m) da linha neutra, corresponde à distância da borda mais comprimida até o ponto onde as deformações são nulas (não há esforço de tração ou compressão). É dada por:

$$x = \frac{0,68 \cdot d \pm \sqrt{(0,68d^2) - 4 \cdot 0,272 \cdot \left(\frac{M_d}{b_w \cdot f_{cd}}\right)}}{0,544} \quad (18)$$

onde:

b_w – largura da viga, ou largura considerada para laje armada em uma direção (m).

f_{cd} – resistência de cálculo do concreto à compressão (kN/m²).

3.3.10 Estado limite último – Esforços cortantes

3.3.10.1 Lajes

A ABNT NBR 6118/2014 indica, em seu item 19.4.1, que as lajes maciças podem ser prescindidas de armadura transversal caso seja comprovado que:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1} \quad (19)$$

onde

V_{Sd} - cortante solicitante (kN/m).

V_{Rd1} - cortante resistente (kN/m).

O valor solicitante depende das reações, obtidas conforme 3.3.7.2. Já o valor resistente. Segundo a ABNT NBR 6118/2014 a tensão resistente pode ser dada por:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho') + 0,15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (20)$$

onde:

$$\tau_{Rd} = 0,25f_{ctd} = 0,25f_{ck,inf}/\gamma_c \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

$$k = (1,6-d) \geq 1$$

$$\rho_1 = A_{s1}/b_w d \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd}/A_c$$

τ_{Rd} – é a tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento (kN/m);

A_{s1} - é a área de armadura de tração (m²);

b_w - é a largura analisada, que é 1,00m.

N_{sd} - a força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento (kN). No caso das lajes analisadas será sempre igual a zero, pois os carregamentos são de flexão.

3.3.10.2 Vigas

Em virtude dos esforços cortantes que as vigas estão submetidas exigem armaduras transversais. O dimensionamento da armadura transversal resistente ao esforço cortante é feito de acordo com o modelo de treliça idealizado por Mörsch (CARVALHO; FIGUEREIDO, 2014). A ABNT NBR 6118/2014, no item 17.4.2.1, indica que é necessário satisfazer duas condições, sendo elas: para garantir que:

$$V_{sd} \leq V_{Rd,2} \tag{21}$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_C + V_{SW} \tag{22}$$

V_{sd} - força cortante solicitante de cálculo na seção (kN);

$V_{Rd,2}$ -força resistente de cálculo relativa à ruína das diagonais comprimidas (kN);

V_{Rd3} – força cortante resistente de cálculo relativa à ruína por tração da diagonal (kN);

V_C - parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao de treliça (kN);

V_{SW} – parcela de força cortante resistida pela armadura transversal (kN).

Dois modelos de análise são permitidos. No modelo de cálculo I, a verificação do V_{rd2} se dá pela seguinte fórmula:

$$V_{sd} \leq V_{Rd,2} = 0,27 \times a_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d \tag{23}$$

onde,

$$a_{v2} = \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right);$$

Também pelo modelo de cálculo I, os valores de V_{sw} e V_c são determinados, para estribos transversais, por:

$$V_{sw} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \quad (24)$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d \quad (25)$$

onde,

s – espaçamento da armadura transversal (unidade correspondente à área de aço);

f_{ywd} – tensão na armadura transversal passiva (kN/cm²), limitada ao valor f_{yd} no caso de estribos e a 70% desse valor no caso de barras dobradas, não se tomando, para ambos os casos, valores superiores a 435MPa.

d – altura útil (cm).

b_w – menor largura da seção, compreendida ao longo da altura útil (cm).

$f_{ctd} = f_{ck,inf}/\gamma_c = 0,7 \cdot 0,3 f_{ck}^{2/3}/\gamma_c$ (kN/cm²).

Segundo Carvalho e Figueiredo (2014), essa verificação pode ser garantida ao se isolar o valor de A_{sw}/s e igualando o valor solicitante ao resistente:

$$V_{sw} = V_{sd} - V_c \quad (26)$$

$$\left(\frac{A_{sw}}{s}\right) = \frac{V_{sw}}{0,9 \times d \times f_{ywd}} \quad (27)$$

3.3.11 Estado limite de serviço e detalhamentos

A concepção juntamente com o dimensionamento para situações últimas é, usualmente, o que define, inicialmente, o conjunto da geometria do elemento e armaduras. Entretanto, as verificações e detalhamentos devem ser atendidos, o que pode trazer a

necessidade de alteração da geometria, bitolas, quantidades de armaduras. Quando feitas com auxílio de softwares, essas verificações também são feitas e as alterações são mais ágeis.

Destaques de verificações de estados últimos de serviço são apresentados a seguir.

- As peças devem resistir a um momento mínimo, segundo o item 17.3.5.2.1 da ABNT NBR 6118/2014, dado por:

$$M_{d,min} = 0,8W_0f_{ctk,sup} \quad (28)$$

Onde,

W_0 – módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada (m³);

$f_{ctk,sup}$ – resistência característica superior do concreto à tração (MPa), dado pelo item 8.2.5 como:

$$f_{ctk,sup} = 0,39f_{ck}^{2/3} \quad (29)$$

- As fórmulas podem ser dispensadas, para caso $d/h=0,8$ CA-50, $\gamma_c=1,4$ $\gamma_s=1,15$, e os valores são os da Tabela 13 e servem para lajes e vigas.

Tabela 13 – Taxa mínima de aço

Forma da seção	Valores de ρ_{min} (A_s mínimo/ A_c) %						
	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,15	0,15	0,15	0,164	0,179	0,194	0,208

Fonte: Adaptado das tabelas 17.3 da ABNT NBR 6118 (2014).

- As lajes possuem outras restrições de armadura mínima, a partir do valor m_{in} indicado anteriormente, devido condições diferenciadas de funcionamento quando consideradas como placas. Os valores são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Taxa mínima de aço para lajes

Armadura	Elementos estruturais sem armaduras ativas
Armaduras negativas	$\rho_s \geq \rho_{\min}$
Armaduras negativas de bordas sem continuidade	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{\min}$
Armaduras positivas de lajes armadas nas duas direções	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{\min}$
Armadura positiva (principal) de lajes armadas em uma direção	$\rho_s \geq \rho_{\min}$
Armadura positiva (secundária) de lajes armadas em uma direção	$A_s/s \geq 20\%$ da armadura principal $A_s/s \geq 0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\rho_s \geq 0,5 \rho_{\min}$

Fonte: Adaptado das tabelas 19.1 da ABNT NBR 6118 (2014).

- A soma das armaduras de tração e de compressão ($A_s + A_{s'}$) não pode ter valor maior que 4% da seção transversal de concreto para garantir condições de ductilidade, segundo item 17.3.5.2.4

Já critérios essenciais de detalhamento são:

- Para lajes:
 - Bitola menor que $h/8$
 - Espaçamento máximo 20cm ou $2h$
 - Espaçamento máximo de 33cm
- Para armaduras longitudinais em vigas:
 - Espaçamento horizontal $\geq \begin{cases} 20\text{mm} \\ \text{diâmetro da barra} \\ 1,2 \text{ dimensão máxima do agregado} \end{cases}$
 - Espaçamento vertical $\geq \begin{cases} 20\text{mm} \\ \text{diâmetro da barra} \\ 0,5 \text{ dimensão máxima do agregado} \end{cases}$
- Para armaduras longitudinais em vigas:

- Taxa mínima de aço para estribos a 90°:

$$V_{sd} \leq V_{Rd,2} = 0,27 \times a_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d \quad (30)$$

Onde,

$a_{v2} = (1 - f_{ck}/250)$ (MPa);

f_{cd} – resistência de projeto do concreto (kN/m²);

b_w – espaçamento entre os estribos (m);

d – (m);

Sendo necessária a observação do espaçamento máximo dos estribos.

- Espaçamento máximo para estribos:

$$s_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 0,6 \cdot d \leq 300 \text{ mm se } V_{sd} \leq 0,67V_{Rd2} \\ 0,3 \cdot d \leq 200 \text{ mm se } V_{sd} > 0,67V_{Rd2} \end{cases}$$

4. METODOLOGIA

O trabalho possui caráter qualitativo e tem como finalidade produzir e analisar possíveis fluxos de processos para projetos de lajes e vigas de concreto armado em imóveis de pequeno porte. Serão observados processos tanto para o processo manual, quanto com o uso do BIM, a partir da integração REVIT®/ROBOT®, sendo o REVIT® responsável pela modelagem e o ROBOT® pelas análises e dimensionamentos.

Os processos serão analisados, em ambos os casos, a partir de um mesmo projeto arquitetônico, considerando também uma mesma concepção estrutural, o que inclui o posicionamento dos elementos, dimensões iniciais, propriedades físicas, cargas atuantes e considerações do ambiente de exposição. O projeto arquitetônico que serviu como ponto inicial é um residencial, cujo uso se justifica por ser um tipo trivial de construção. Não obstante, as análises poderão ser estendidas a outras situações mais complexas.

O uso do termo “manual” para descrever um dos processos analisados não está relacionado ao uso exclusivo do raciocínio humano no desenvolvimento das etapas. Mas sim, a uma ampla influência do usuário no processo, principalmente no que se diz respeito ao transporte das informações em diferentes momentos. Também foi usado considerando a baixa capacidade de iteratividade e ao uso de análises lineares.

É importante frisar que, os processos não buscaram encontrar todos os resultados possíveis, no concerne a esforços internos, dimensionamentos e verificações. Foram determinados momentos nas lajes do primeiro pavimento, momentos, esforços cortantes e dimensionamento para área de aço de uma viga central, considerando sempre carregamentos oriundos de combinação para Estado Limite Último. Para dimensionar essa viga central foi necessário também determinar os carregamentos oriundos de lajes e de outras vigas que foram consideradas apoiadas nesta. Essa limitação dos resultados foi feita partindo do pressuposto de que é um trabalho qualitativo e pela consideração de que essas atividades desenvolvidas seriam o suficiente para fornecer informações necessárias à análise dos processos.

Os passos iniciais, de determinação de classe de agressividade ambiental, propriedades dos materiais, pré-dimensionamento e ações atuantes foram executados de acordos com as premissas já expostas no referencial teórico. A definição da posição dos elementos estruturais seguiu, de forma geral, um sequência em que os pilares foram lançados

nos cantos e nos encontros de alvenarias, as vigas ligando os pilares nos níveis dos pavimentos, e as lajes pelas regiões retangulares formadas pelas vigas. As fases de pré-dimensionamento e ações atuantes foram executadas com auxílio do *software* Microsoft Excel®.

Para o estudo manual também foram utilizados diversos conhecimentos expostos no referencial teórico, além do frequente uso do Microsoft Excel®. Foram criadas duas etapas de análise, uma para vigas e outra para lajes. Nas análises das lajes, nos casos de armadas em duas direções, o cálculo foi feito a partir de quadros que consideram placas em séries. Se considerada armada em uma direção, os esforços internos foram calculados por fórmulas de resistência dos materiais. Já no caso das vigas, a análise foi utilizada uma análise de vigas contínuas, modelo melhorado, considerando a rigidez dos pilares no cálculo dos momentos. Os valores finais para os esforços internos desses elementos foram obtidos pelo FTOOL®.

Já o uso dos softwares seguiu a partir da modelagem arquitetônica no Revit®, limitando-se a alvenarias e esquadrias. Essa primeira etapa foi realizada para verificar a compatibilização espacial dos elementos citados com o modelo estrutural, que também foi modelado nesse. O modelo estrutural do Revit® pôde ser transportado para o Robot®, caracterizando a interoperabilidade, um conceito do processo BIM. No último *software*, foram realizadas as análises e os dimensionamentos necessários.

No Robot® também foram necessárias realização de diversas configurações, para atender a ABNT NBR 6118/2014. Incluem-se, nessas configurações, alteração de materiais, que para o caso foram alterados apenas o aço e o concreto, banco de dados para as barras de aço e códigos do projeto.

As análises dos resultados foram feitas, em um primeiro momento, a partir resultados numéricos obtidos para as etapas analisadas já descritas, e, em seguida, por meio da observação dos processos.

Em relação aos resultados numéricos, foram utilizadas tabulações, normalização dos resultados para melhor comparação. Os resultados incluíram a comparação desses valores, todavia não caracterizando o trabalho como quantitativo, uma vez que estes tiveram como objetivo principal gerar subsídio para interpretações das diferenças do processo.

A análise qualitativa foi feita observando todos os processos, buscando, principalmente, a influência do usuário nas atividades, além das diferentes possibilidades de tomada de decisão. Como forma de sintetizar as ideias provenientes dessas observações, foram criados fluxogramas, com o auxílio do Microsoft Power Point®. A partir disso, foram

discorrido diversos comentários de caráter subjetivo, tanto sobre o processo executado manualmente, como para o processo com auxílio dos softwares, também com a comparação dos dois.

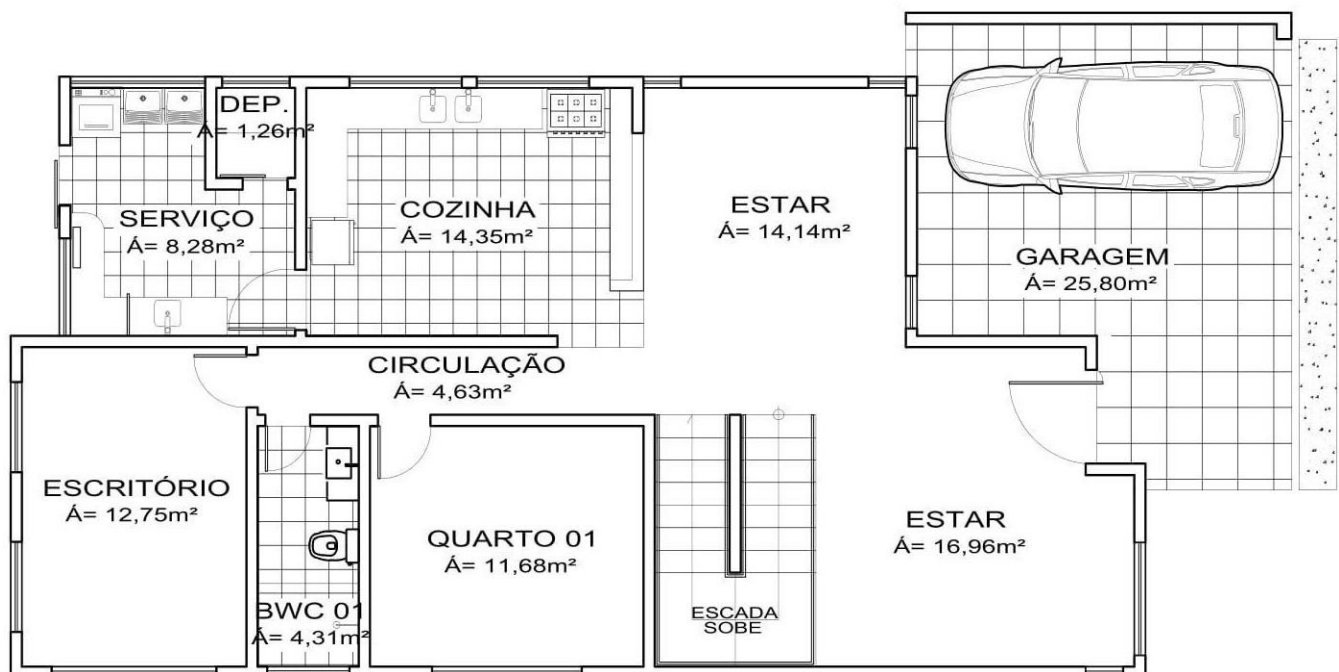
4.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DA EDIFICAÇÃO

São informações básicas do projeto arquitetônico:

- Área construída: 167,36m²
- Número de pavimentos: 2 (dois)
- Ambientes: quartos, sala, cozinha, banheiros, varandas, área de serviço e garagem.

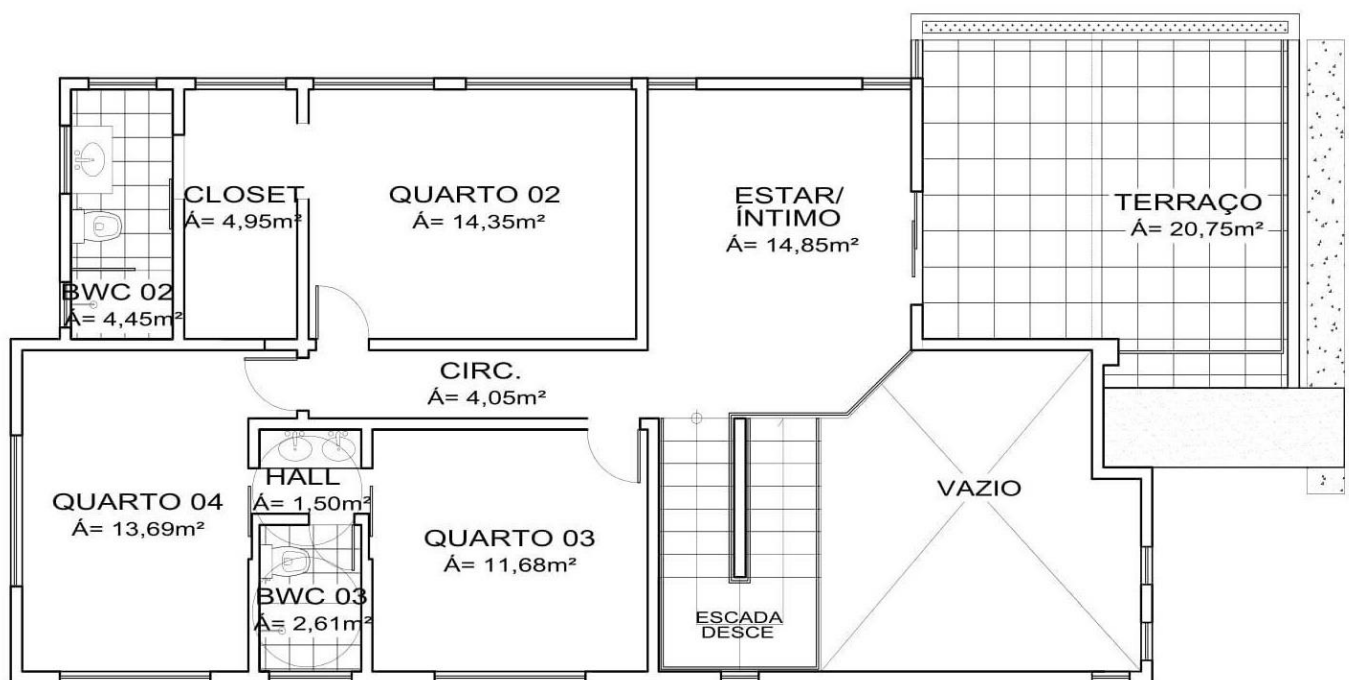
As plantas baixas e de cobertura da edificação são mostradas nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5.

Figura 3 – Planta do nível térreo (Escala 1/100)



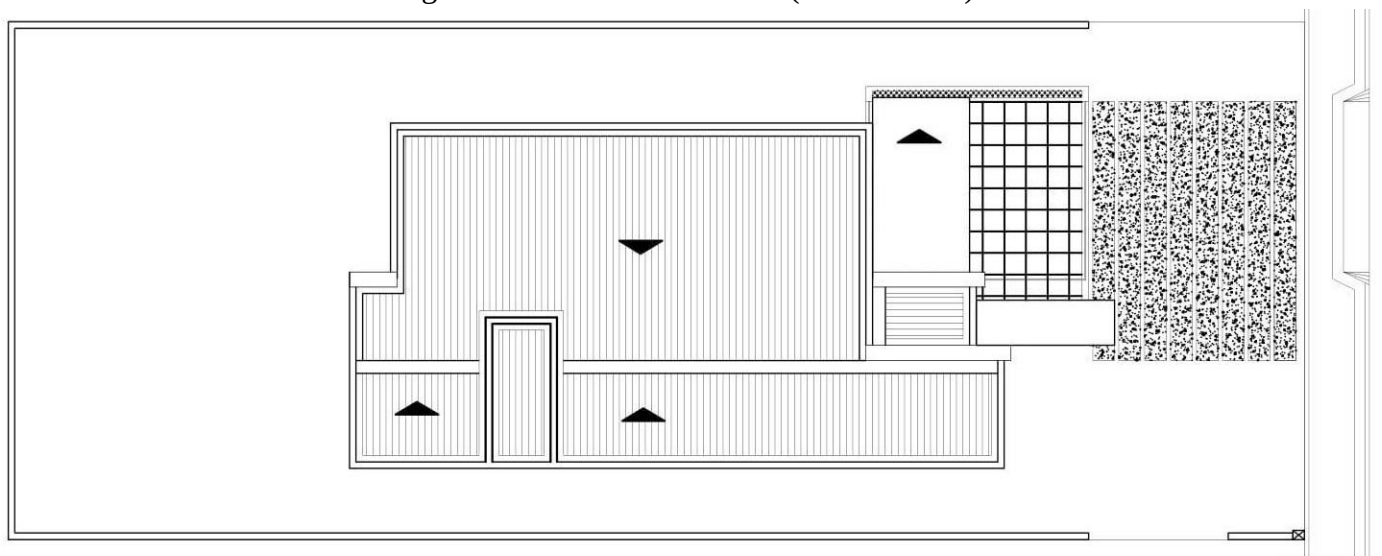
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 4 – Planta do primeiro pavimento (Escala /100)



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 5 – Planta de cobertura (Escala 1/175)



Fonte: Autoria própria (2020).

5. ESTUDO DE CASO

Nos tópicos seguintes serão abordadas as etapas para execução dos processos, iniciando com etapas comuns, partindo para a abordagem manual e finalizando com o uso dos softwares.

5.1 CRITÉRIOS DE PROJETO UTILIZADOS

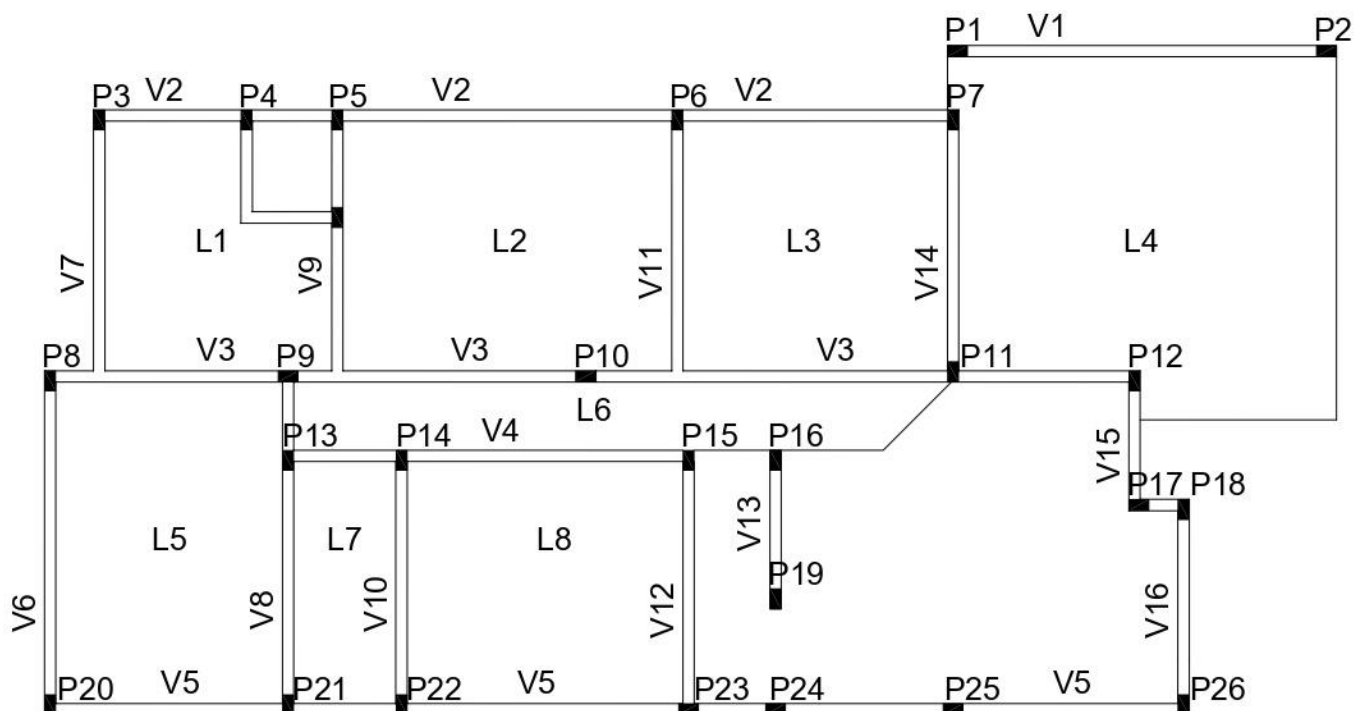
Será adotado o tipo de estrutura em concreto armado, com pilares, vigas, e lajes maciças de concreto armado. Outras informações são:

- Classe de agressividade ambiental: será II, por se tratar de uma residência unifamiliar simples (Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA));
- Classe do concreto e relação água/cimento em massa: será adotado o concreto de Classe 25 e a/c de 0,6 (Tabela 2);
- Cobrimento das armaduras: 30mm para as vigas e pilares e 25mm para lajes (Tabela 3 – Valores de cobrimento nominal de acordo com a classe de agressividade ambiental)
- Módulo de elasticidade secante do concreto: para concreto C25 23,8GPa, calculado conforme (item 3.3.2.3);
- Diâmetro máximo do agregado: 19mm (3.3.2.2);

5.1.1 Distribuição de elementos primeiro pavimento

A análise é dos momentos gerados nas lajes e na viga mais solicitada do primeiro pavimento. Para isso, primeiramente, é necessário que seja apresentado o posicionamento dos elementos citados e dos pilares no referido pavimento. A idealização desse posicionamento está exposta na Figura 6. É possível a análise completa da estrutura na Figura 50.

Figura 6 – Posicionamento de pilares, vigas e lajes



Fonte: Autoria própria (2020).

5.1.2 Pré-dimensionamento dos elementos

5.1.2.1 Lajes

O pré-dimensionamento de lajes será feito conforme 3.3.4.3. O valor λ é necessário tanto para determinar os momentos internos, quanto as reações, que são transferidas para as vigas. O valor de λ apresentado em 3.3.7.2, auxilia na determinação do número de lados engastados. Também foi adotada uma barra inicial com diâmetro de 10mm.

Tabela 15 – Altura utilizada para lajes

Laje	l_x (m)	l_y (m)	$\square$	n	d calculada (cm)	h calculada (cm)	h adotada (cm)
L1	3,00	3,30	1,10	2,00	6,90	9,45	10,00
L2	3,30	4,35	1,32	3,00	7,26	9,81	10,00
L3	3,30	3,35	1,02	3,00	7,26	9,81	10,00
L4	4,80	5,00	1,04	1,00	11,52	14,07	15,00
L5	3,00	4,25	1,42	2,00	6,90	9,45	10,00
L6	0,90	7,88	8,76	2,00	2,07	4,62	10,00
L7	1,35	3,20	2,37	2,00	3,11	5,66	10,00
L8	3,20	3,65	1,14	2,00	7,36	9,91	10,00

Fonte: Autoria própria (2020).

5.1.2.2 Vigas

A viga definida como a mais carregada é a V3, da Figura 6. Para obter os esforços internos, antes é preciso obter os carregamentos. Estes podem ser provenientes de lajes, de forma distribuída, ou de outras vigas, de forma concentrada. Três vigas se apoiam na viga V3, que são V7, V9 E V11. Para essas últimas serão determinados os valores dos apoios. O pré-dimensionamento foi feito conforme 3.3.4.1. Os resultados estão mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Pré dimensionamento de altura para vigas

Viga	Tramo	Comprimento	Tramo	Altura estimada (m)	Altura adotada (m)
V03	1	2,95	Externo	0,30	0,40
	2	3,68	Interno	0,31	0,40
	3	4,65	Interno	0,39	0,40
V07	-	3,18	Externo	0,32	0,35
V09	-	1,9	Externo	0,19	0,35
V11	-	3,18	Externo	0,32	0,35

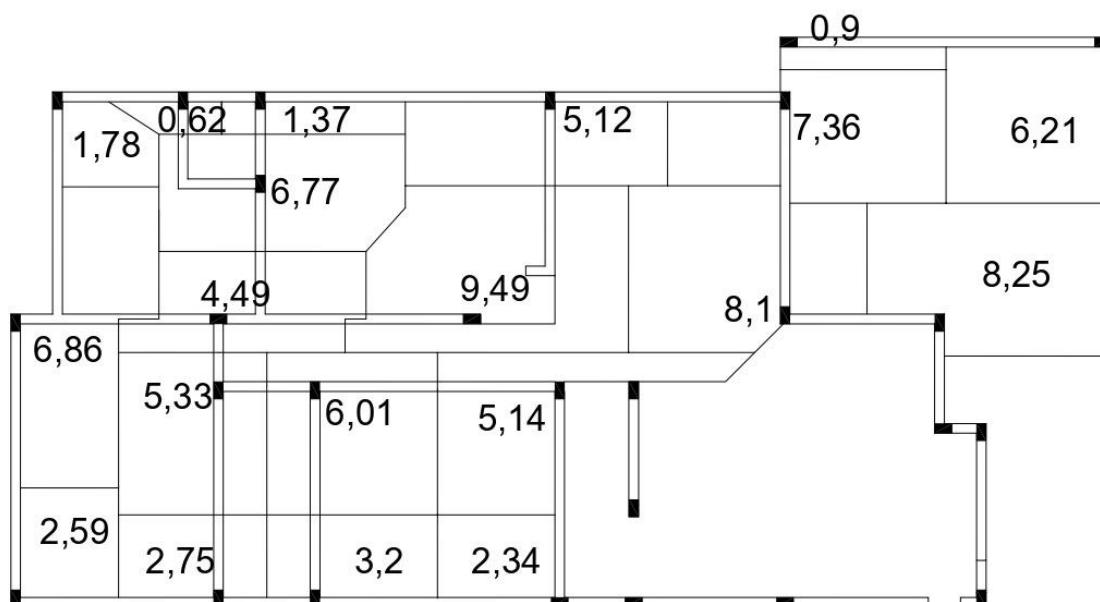
Fonte: Autoria própria (2020).

5.1.2.3 Pilares

O pré-dimensionamento dos pilares é necessário para a determinação de sua rigidez, utilizado no modelo de viga contínuo melhorado. O pré-dimensionamento de lajes será feito

de acordo com o item 3.3.4.2. A área de influência foi determinada graficamente, como mostrado

Figura 7 – Área de influência para pilares no primeiro pavimento



Fonte: Autoria própria (2020).

É considerado o γ_n de 1,25, pois há o propósito de se utilizar a menor dimensão de 14cm (Tabela 6). Fazendo a verificação dos pilares cuja as áreas de influência são maiores, para pilares intermediário e de canto, respectivamente, têm-se:

- P10, área de 9,49m²:

$$A_c = \frac{2 \times 1,25 \times 10 \times 9,49}{(0,5 \times 2,5) + 0,4} = 143,79 \text{ cm}^2$$

- P8, área de 6,86m²:

$$A_c = \frac{1,5 \times 2 \times 1,25 \times 10 \times 6,86}{(0,5 \times 2,5) + 0,4} = 155,91 \text{ cm}^2$$

Como, em ambos os casos, a área calculada é menor do que a mínima exigida pela ABNT NBR 6118/2014, este último valor será adotado para todos os pilares, com dimensões de 14x36cm.

5.1.3 Ações atuantes nas lajes

Serão consideradas, nas ações permanentes, o peso próprio, alvenaria e revestimento de piso e vedações. O peso próprio considera o peso específico do concreto como 25kN/m³. Seu valor distribuído depende da espessura da laje. Já a alvenaria é considerada executada com blocos cerâmicos com paredes vazadas, de espessura de 9cm e peso específico de 12kN/m³. Por fim, para o revestimento foi considerado o carregamento de 1kN/m² em lajes e uma espessura de 3cm de argamassa para cada lado nas alvenarias, cujo peso específico considerado foi de 19kN/m³. Todos os valores de peso específico estão de acordo com a ABNT NBR 6120/2019.

Serão consideradas, nas ações permanentes, o peso próprio, alvenaria e revestimento de piso e vedações. O peso próprio considera o peso específico do concreto, sendo seu valor distribuído dependente da espessura da laje. Já a alvenaria é considerada executada com blocos cerâmicos com paredes vazadas, de espessura de 9cm. Por fim, para o revestimento foi considerado o carregamento de 1kN/m² em lajes e uma espessura de 3cm de argamassa para cada lado nas alvenarias. Todos os valores de peso específicos estão de acordo com a ABNT NBR 6120/2019, cujos valores utilizados estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 – Pesos específicos

Material	Peso específico (kN/m ³)
Concreto	25
Bloco cerâmico de paredes vazadas	12
Reboco (argamassa de cimento, areia e cal)	19

Fonte: Autoria própria (2020).

Já os carregamentos acidentais são considerados de acordo com o uso do ambiente, também conforme ABNT NBR 6118/2014. Para os dormitórios e sanitários, 1,5kN/m². Para a varanda, 2,5kN/m². Para corredores de uso comum, e área de uso comum, 3,0kN/m².

Tabela 18 – Ações atuantes em lajes

Laje	Permanente (kN/m ²)			Acidental (kN/m ²)	Total (kN/m ²)
	Peso próprio	Revestimento	Alvenaria e revestimento		
1	2,50	1,00	2,22	1,50	7,22
2	2,50	1,00	-	1,50	5,00
3	2,50	1,00	-	3,00	6,50
4	3,75	1,00	-	2,50	7,25
5	2,50	1,00	-	1,50	5,00
6	2,50	1,00	-	3,00	6,50
7	2,50	1,00	-	1,50	5,00
8	2,50	1,00	-	1,50	5,00

Fonte: Autoria própria (2020).

5.2 ANÁLISE MANUAL

5.2.1 Análise estrutural das lajes

O objetivo da análise estrutural é obter os momentos e reações. Para lajes armadas em uma direção, o procedimento é diferente das lajes armadas em duas direções. Os procedimentos utilizados para esses casos são, respectivamente, os mostrados em 3.3.7.1 e 3.3.7.2. A análise é feita para estado limite último. Os resultados para lajes armadas em uma direção estão resumidos na Tabela 19.

Tabela 19 – Momentos e reações para lajes armadas em uma direção

Laje	Carregamento ELU (kN/m ²)	Condição de apoio	Momento positivo (kN.m/m)	Momento negativo (kN.m/m)	Reação 1 (kN/m)	Reação 2 (kN/m)
L6	9,10	AE	0,92	0,52	3,07	5,12
L7	7,00	EE	0,53	1,06	4,73	4,73

Fonte: Autoria própria (2020).

Já para as lajes armadas em duas direções, os resultados dos momentos e reações estão representados, respectivamente, na Tabela 20 e na Tabela 21.

Tabela 20 – Momentos para lajes armadas em duas direções

Laje	Carregamento ELU (kN/m ²)	μ_x	μ_x'	μ_y	μ_y'	m_x (kN.m/m)	m_x' (kN.m/m)	m_y (kN.m/m)	m_y' (kN.m/m)
L1	10,11	3,30	7,87	2,81	7,36	3,00	7,16	2,56	6,36
L2	7,00	3,56	8,59	2,77	7,51	2,71	6,55	2,11	5,72
L3	9,10	2,13	5,46	2,60	6,17	2,11	5,41	2,58	6,11
L4	10,15	3,43	0,00	3,78	8,79	8,01	0,00	8,84	20,56
L5	7,00	4,51	9,93	2,60	7,94	2,84	6,26	1,64	5,00
L8	7,00	3,53	8,28	2,80	7,50	0,20	0,47	0,16	0,43

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 21 – Reações para lajes armadas em duas direções

Laje	Carregamento ELU (kN/m ²)	k_x	k_x'	k_y	k_y'	q_x (kN/m)	q_x' (kN/m)	q_y (kN/m)	q_y' (kN/m)
L1	10,11	1,83	3,17	1,83	3,17	5,55	9,61	5,55	9,61
L2	7,00	1,88	3,25	3,17	3,17	4,34	7,51	7,32	7,32
L3	9,10	1,44	2,5	3,03	3,03	4,32	7,51	9,10	9,10
L4	10,15	1,92	1,92	2,37	4,1	9,35	9,35	11,55	19,98
L5	7,00	2,35	4,08	1,83	3,17	4,94	8,57	3,84	6,66
L8	7,00	2,07	3,58	1,83	3,17	1,30	2,26	1,15	2,00

Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.2 Ações atuantes nas vigas V7, V09 e V11

As ações atuantes nas vigas são cargas permanentes de peso próprio e alvenaria, juntamente com o revestimento. Além dessas, também outras seguem um fluxo que começa nas lajes e são transmitidas às vigas. Os padrões de peso específico seguem o exposto na Tabela 17. A Tabela 22 mostra o valor total para combinação do estado limite último. Este total corresponde à soma dos carregamentos que vêm das lajes que se apoiam na viga e da combinação para as ações que atuam diretamente na viga.

Tabela 22 – Valores de carregamentos nas vigas V07, V11 e V33

Viga	Permanente (kN/m)		Combinação ELU (kN/m)	Carregamento laje (kN/m)		Total (kN/m)
	Peso próprio	Alvenaria e revestimento		Lado 1	Lado 2	
V07	1,23	6,66	11,04	5,55	-	16,59
V09	1,23	6,66	11,04	9,61	7,32	27,97
V11	1,23	6,66	11,04	7,32	9,10	27,46

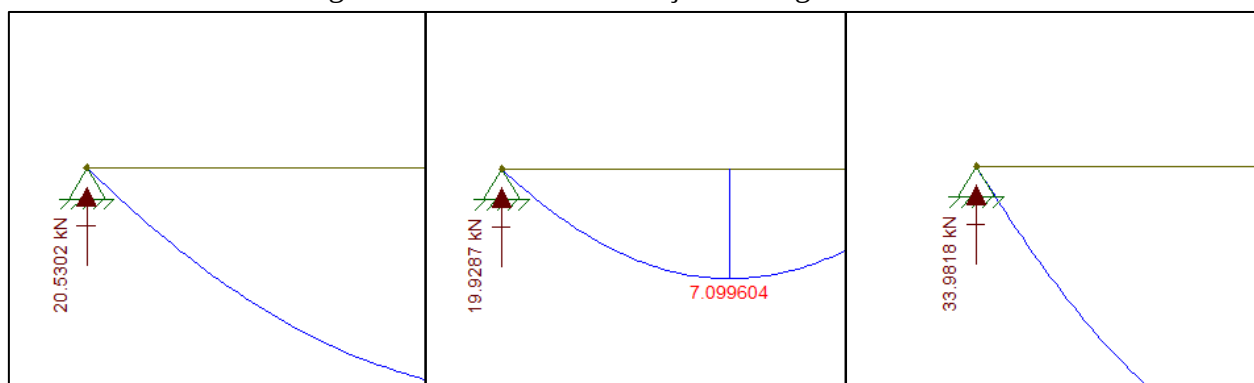
Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.3 Análise das vigas V7, V09 e V11

Utilizando o software FTOOL para realizar a análise, que seria muito difícil de realizar manualmente, além dos carregamentos e rigidez dos pilares, se chega aos resultados das reações das vigas já citadas na viga V03, conforme Figura 8.

A rigidez à flexão considerada nos pilares é obtida conforme 3.3.7.1. Para o cálculo, é utilizado o valor do módulo de elasticidade secante do concreto de 24GPa, conforme Tabela 4. Já o módulo de inércia depende do sentido da solicitação em relação ao pilar, cujas dimensões são 14x26cm. Nos casos em que a base é de 14cm, a rigidez é de 19.685,12m⁴. Já nos casos em que a base é de 26cm, a rigidez é bem menor, de 5.707,52m⁴.

Figura 8 – Resultados de reações na viga V03



Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.4 Ações atuantes na viga V03

Observando a Figura 6 é possível ver que os carregamentos, além do peso próprio e alvenaria, são provenientes das reações de lajes (item 5.2.1) e das vigas (item 5.2.3). Observando os diferentes trechos das vigas, obtém-se diferentes carregamentos distribuídos, cujos valores estão expressos na

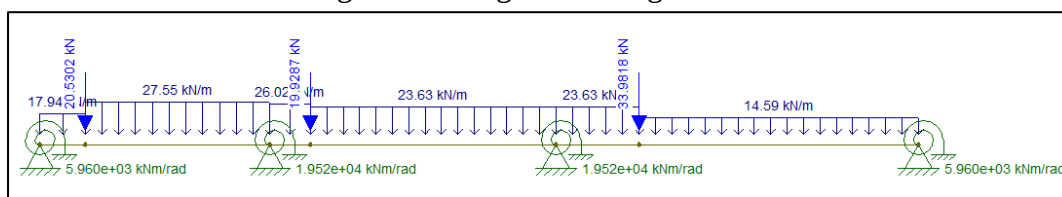
Tabela 23 – Valores de carregamentos distribuídos na viga V03

Viga	Permanente (kN/m)		Combinação ELU (kN/m)	Carregamento laje (kN/m)		Total (kN/m)
	Peso próprio	Alvenaria e revestimento		Lado 1	Lado 2	
V03	1,4	6,66	11,284	6,66	-	17,94
	1,4	6,66	11,284	6,66	9,61	27,55
	1,4	6,66	11,284	5,12	9,61	26,02
	1,4	6,66	11,284	5,12	7,23	23,63
	1,4		1,96	5,12	7,51	14,59

Fonte: Autoria própria (2020).

Além desses valores, também existem os carregamentos concentrados, provenientes das vigas V09, V11 e V13, com os valores respectivos de 37,10kN, 25,05kN e 33,98kN. Vale salientar que essas considerações de apoio entre as vigas são consideradas. O diagrama do carregamento é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Diagrama da viga V03



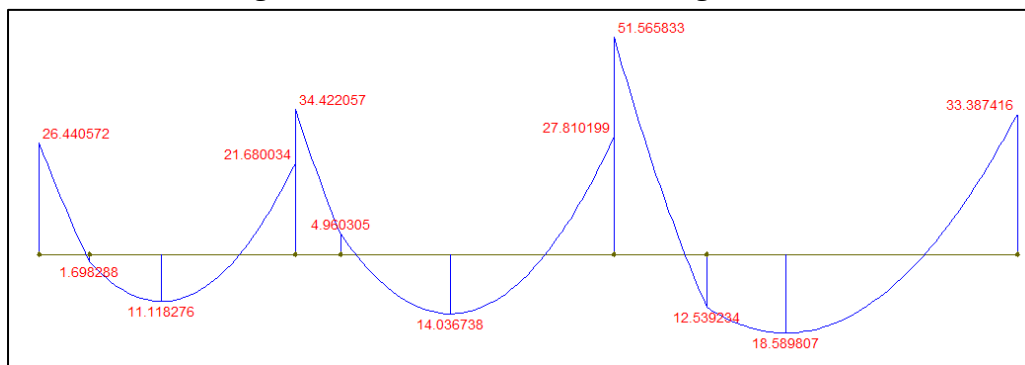
Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.5 Análise da viga V03

A análise estrutural dessa seção seguiu os mesmos princípios das análises executadas na seção 5.2.3, também utilizando o software FTOOL. Os momentos obtidos serão utilizados

para o dimensionamento da área de aço longitudinal. A Figura 10 mostra os resultados obtidos.

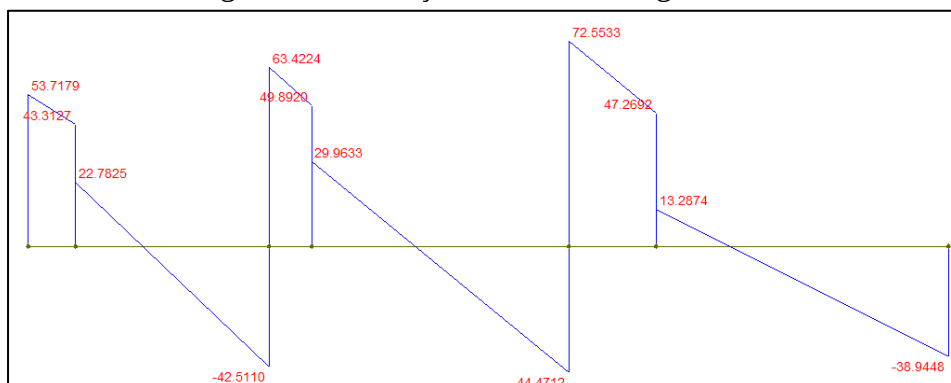
Figura 10 – Momentos fletores da viga V03



Fonte: Autoria própria (2020).

Já para o dimensionamento das armaduras transversais, é necessário a observações dos valores de esforço cortante. A Figura 11 mostra esses valores.

Figura 11 – Esforços cortantes da viga V03



Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.6 Dimensionamento da área de aço longitudinal

O cálculo da área de aço seguiu o exposto na seção 3.3.9. As áreas de aço longitudinais foram calculadas para os máximos em cada trecho de momento positivo ou negativo, obtidos na análise da viga (seção 5.2.5). Para obtenção da altura útil é necessário, antes, determinar valores arbitrados para armaduras longitudinais e transversais. Para o caso,

esses valores foram, respectivamente, aços de diâmetro de 10mm e 5mm, respectivamente. As áreas de aço para os diâmetros das barras utilizadas estão na Tabela 24.

Tabela 24 – Área de aço para diferentes diâmetros

Diâmetro (mm)	Área (cm ²)
8	0,5
10	0,8
12,5	1,25

Fonte: Autoria própria (2020).

Os resultados obtidos, tanto para área de aço calculada, como para a área de aço após a escolha das barras, estão resumidos na Tabela 25. A partir dos valores de KX e da área de aço total devem ser feitas comparações. Para o KX, os valores tem que ser menor que 0,45. Já a taxa da área de aço deve ser maior que a mínima. Como a taxa mínima para o caso, conforme Tabela 13, é de 0,15%, a área mínima deverá ser de 0,84cm².

Tabela 25 – Área de aço longitudinal calculada e total para viga V03

TRECHO	Positivo/ Negativo	Md (kN.m/m)	x (m)	KX	z (m)	As cálc.(cm ²)	As (cm ²)	Φ	Quantida de	Área total (cm ²)
P8	N	26,44	0,05	0,13	0,34	1,78	1,78	12,50	2,00	2,50
P8-P9	P	11,12	0,02	0,05	0,35	0,73	0,84	8,00	2,00	1,00
P9	N	34,42	0,06	0,17	0,34	2,36	2,36	12,50	2,00	2,50
P9-P10	P	14,04	0,02	0,07	0,35	0,92	0,92	8,00	2,00	1,00
P10	N	51,57	0,09	0,26	0,32	3,68	3,68	12,50	3,00	3,75
P10-P11	P	18,59	0,03	0,09	0,35	1,23	1,23	10,00	2,00	1,60
P11	N	33,39	0,06	0,16	0,34	2,28	2,28	12,50	2,00	2,50

Fonte: Autoria própria (2020).

5.2.7 Dimensionamento da área de aço transversal

A partir dos esforços cortantes é possível dimensionar a área de aço transversal, além de verificar a resistência da seção ao esmagamento. Essas atividades foram executadas conforme exposto na seção 3.3.10.2. O resultado está resumido na Tabela 26.

Tabela 26 – Área de aço transversal calculada e total para viga V03

Trecho	V _{max} (kN)	V _{rd2} (kN)	Verificação do esmagamento do concreto	V _c (kN)	V _{sw} (kN)	As/s cálc. (cm ² /m)	Φ utilizado (mm)	Espaçamento p/ estr. simples (cm)	s adotado (cm)
P8-P9	53,72	218,70	Atende	38,78	14,94	1,06	5,00	33,42	21
P9-P10	63,42	218,70	Atende	38,78	24,64	1,75	5,00	22,88	21
P10-P11	72,55	218,70	Atende	38,78	33,77	2,40	6,30	26,29	21

Fonte: Autoria própria (2020).

Além disso, devem ser verificados os espaçamentos máximos e área de aço mínimo, conforme 3.3.11. Esses dependem apenas de características físicas e geométricas. Os valores finais para o espaçamento máximo e quantidade mínima de aço são, respectivamente, 21,60cm e 1,2cm²/m. Ao observar a tabela é possível ver que esses requisitos foram atendidos.

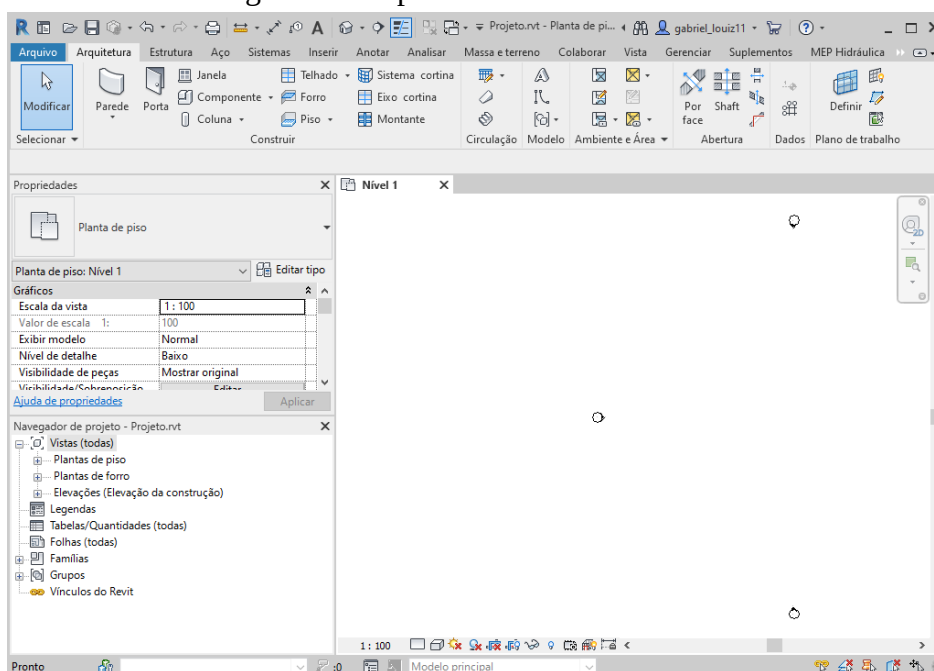
5.3 MODELAGEM NO REVIT®

5.3.1 Início do projeto

Com a intenção de criar um modelo estrutural será utilizado o template padrão do Revit® “Modelo de Construção”. Também outras configurações, famílias, materiais serão carregados com a intenção de montar uma configuração adequada. Isso será feito pois também se verificará a compatibilidade espacial com a estrutura com elementos de vedação e esquadrias.

Ao abrir o projeto, a imagem mostrada pelo Revit® 2020 é a que aparece na Figura 12.

Figura 12 – Aparência inicial do Revit®

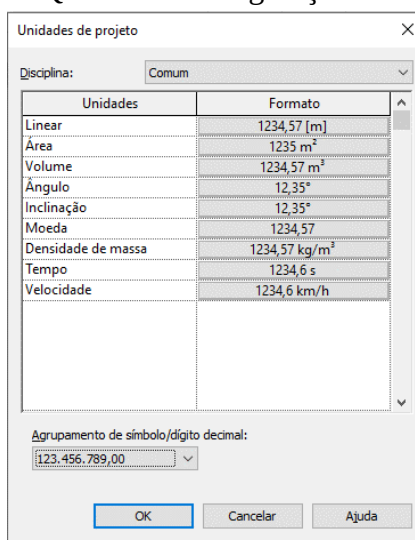


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.2 Configurando Unidades

Ao iniciar o projeto é necessário que o usuário indique com formatos das unidades ele pretende trabalhar. Para isso, basta usar o atalho UN, quando aparecerá a janela de configuração conforme Figura 13.

Figura 13 – Quadro de configuração de unidades.



Fonte: Autoria própria (2020).

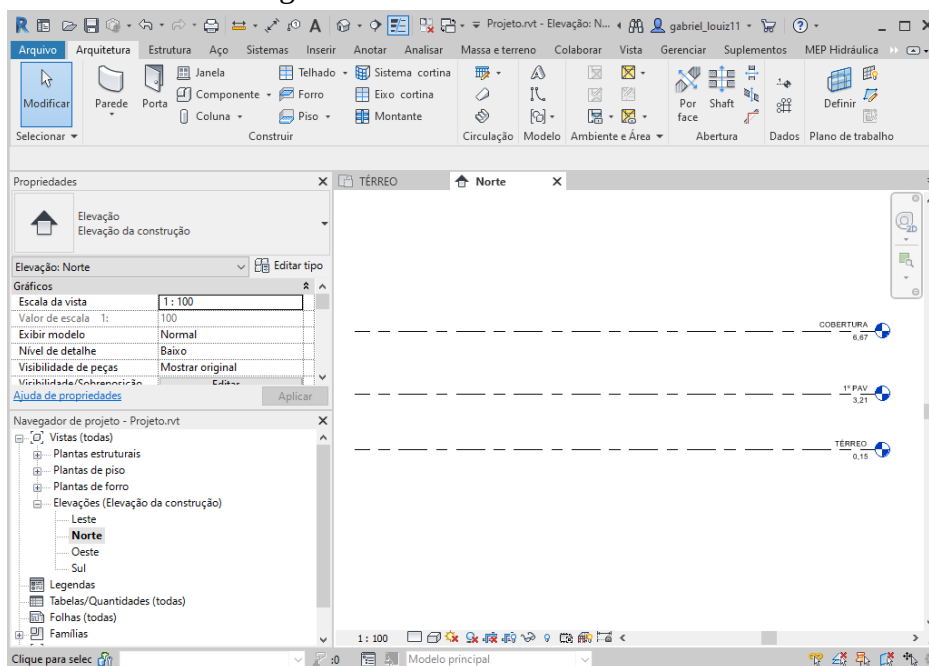
5.3.3 Criando níveis de referência

O processo de modelar exige precisão em relação à localização de cada elemento. No REVIT® isso é feito por meio de referências. Considerando que os eixos X e Y formam o plano horizontal (alinhado com os pisos) e que o eixo Z representa a altura, são 3 orientações que precisam ser informadas durante a modelagem dos elementos.

A navegação no REVIT® é feita por meio de visualização em 3D ou por vistas. De modo geral, as vistas horizontais ortogonais podem auxiliar de forma mais adequada na orientação dos objetos no plano XY. As referências no eixo Z são feitas por meio de níveis de referência. Os elementos inseridos precisam ter, no mínimo, um nível de referência. Por exemplo, uma cadeira necessita de um nível de base. Alguns elementos precisam mais do que isso, como ter uma referência inferior e superior, ou uma referência inferior e uma altura. Este caso se aplica a uma vedação.

Uma possibilidade de inserir os níveis é indo no “Navegador de Projeto” e lá escolher alguma das vistas de elevação e então aplicar o comando “LL”, de Level. Os níveis devem ter suas alturas informadas de forma a indicar referências adequadas para que a modelagem fique de acordo com o projeto. No caso do projeto, os níveis foram inseridos conforme Figura 14.

Figura 14 – Níveis de referência



Fonte: Autoria própria (2020).

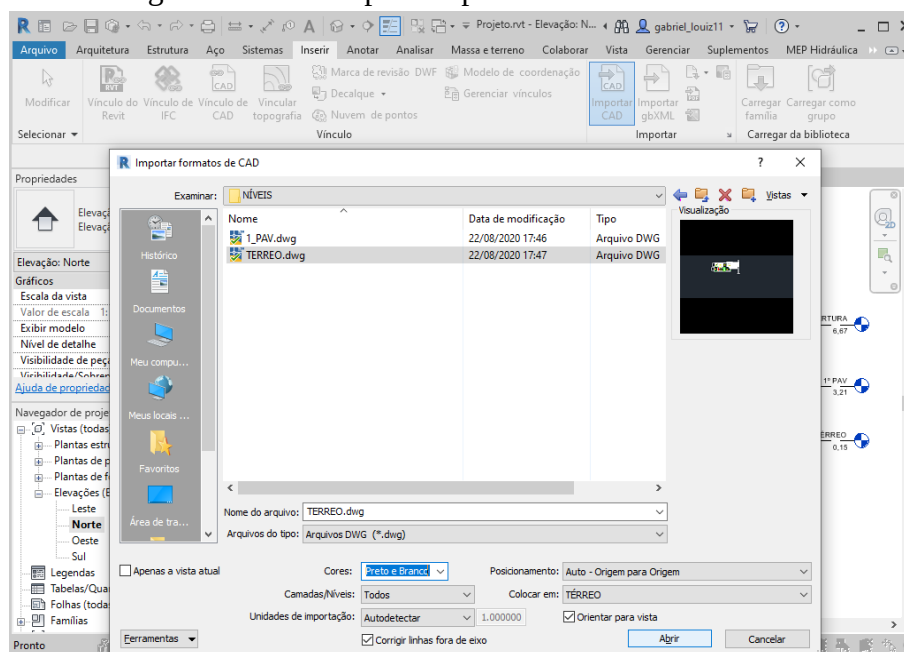
5.3.4 Importação de plantas de softwares CAD

O Revit® permite que desenhos em duas dimensões, ou três dimensões, presentes em arquivos com formato DWG, sejam importados ou até mesmo criados um vínculo com o AUTOCAD. O vínculo faz com que alterações no arquivo original reflita em alteração no arquivo que aparece no próprio REVIT®. Essa integração, seja com o vínculo ou apenas com a inserção, talvez seja o passo inicial da aplicação do processo BIM em um projeto, pois as informações contidas poderão ser compatibilizadas.

Para modelagem do projeto, serão inseridas as plantas do pavimento térreo e do primeiro pavimento. A modelagem espacial será realizada de acordo com essas plantas, já mostradas nas Figura 3, Figura 4 e Figura 5. Estas servirão como base para a modelagem.

É importante que os níveis estejam bem referenciados a partir do projeto arquitetônico. Para isso, em cada nível deve ser inserido um vínculo do DWG. Esses vínculos devem estar alinhados. No projeto em questão foram inseridas a planta do Pavimento Térreo e a do Primeiro Pavimento. Em cada arquivo, os projetos já estavam com a mesma posição em relação à origem. Por isso, na hora de inserir, o posicionamento escolhi foi de “Origem para Origem”, obtendo já o alinhamento necessário. O acesso ao quadro mostrado na Figura 15 se dá através da guia “Inserir”, painel “Importar” opção “Importar CAD”.

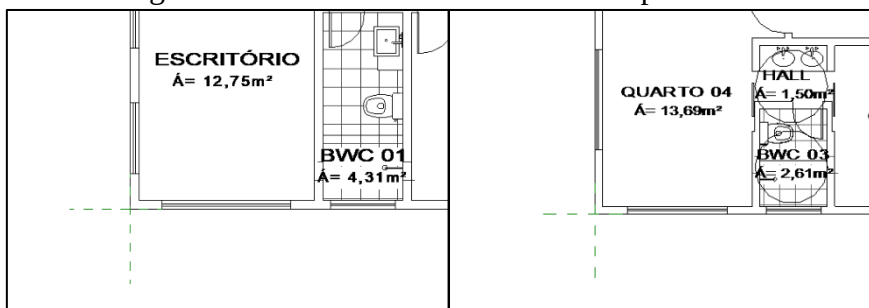
Figura 15 – Janela para importar formatos de CAD



Fonte: Autoria própria (2020).

É necessário observar o alinhamento. Isso pode ser feito com o comando Plano de Referência (RP). Verifica-se um ponto em comum e caso estejam desalinhados, mover a importação com o comando MOVE (atalho MV). A Figura 16 mostra a verificação de alinhamento entre as categorias importadas dos diferentes pavimentos.

Figura 16 – Análise do alinhamento das plantas

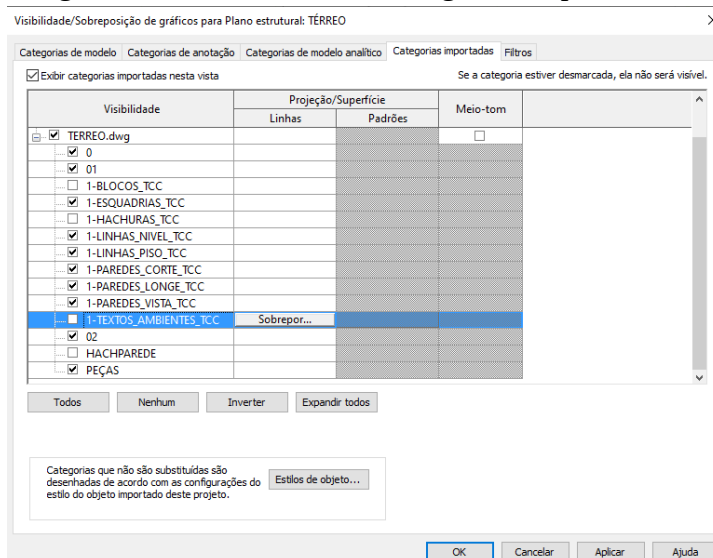


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.5 Alterando a visibilidade (Comando VG)

O conceito de interoperabilidade pode ser aplicado para visualização dos *layers* que foram importados junto com o arquivo com extensão DWG. Ao clicar no comando (VG), na aba “Categorias Importadas” é possível desmarcar *layers*, os quais não possuem grande necessidade de serem visualizados. A configuração de visibilidade realizada é vista na Figura 17.

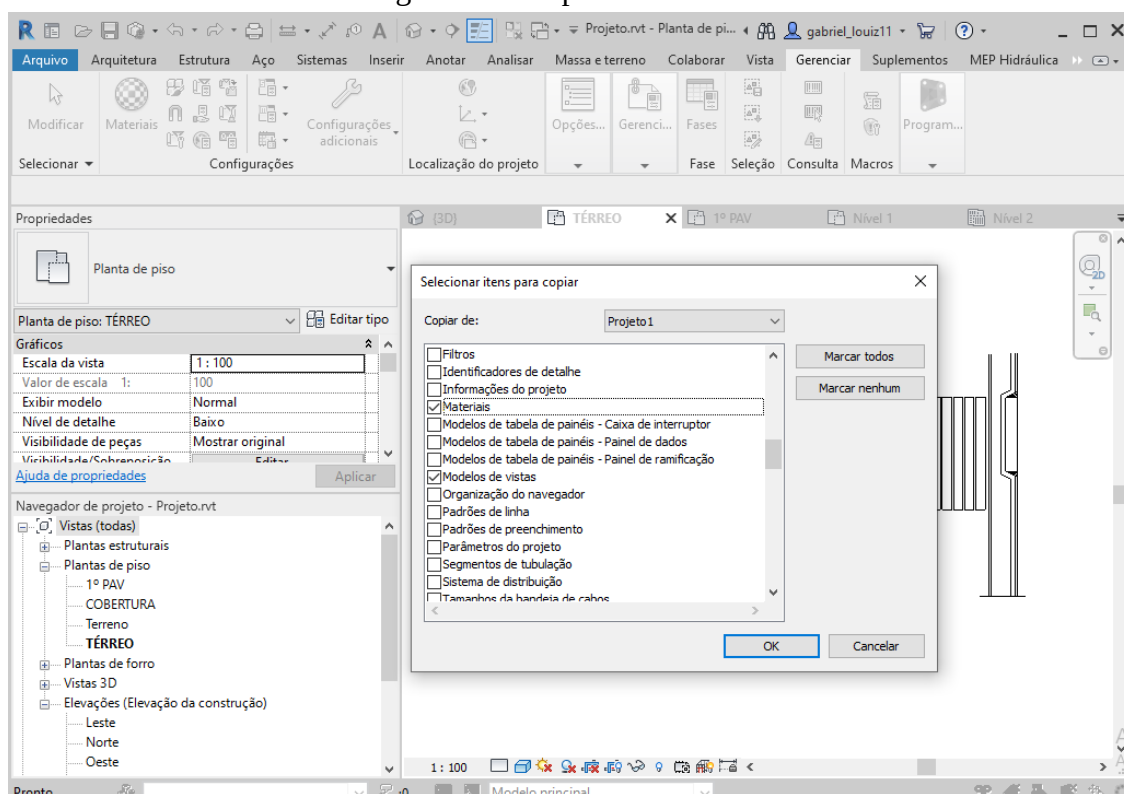
Figura 17 – Visibilidade de categorias importadas



Fonte: Autoria própria (2020).

Como já falado antes, os modelos possuem propriedades de visualização, materiais e outras configurações. Estas podem ser copiadas. Para melhor configuração do modelo utilizado, serão importadas propriedades de materiais e modelos de vista de modelos arquitetônicos e modelos estruturais, ambos padrões do Revit®. Esse passo pode ser executado para facilitar a criação de modelos de vista, carregar materiais ou famílias de outros modelos e é executado a partir da guia “Gerenciar”, no painel “Configurações”, comando “Transferir normas de projeto”. As normas transferidas estão expostas na Figura 18.

Figura 18 – Cópia de normas



Fonte: Autoria própria (2020).

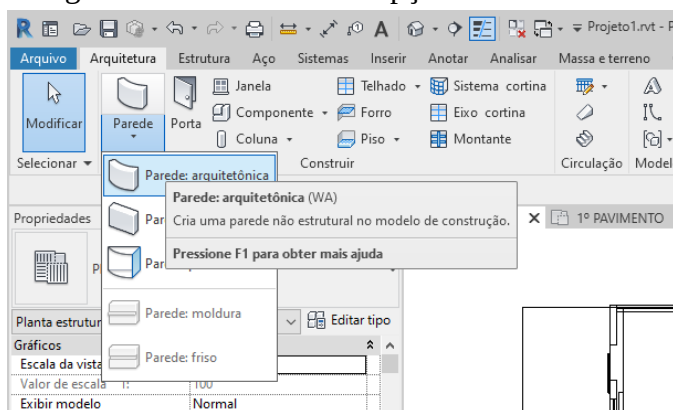
5.3.6 Modelando alvenarias

5.3.6.1 Editando tipos

A concepção de um projeto pode ser feita desde o princípio no Revit®. Porém, neste trabalho, a modelagem em BIM já é uma etapa posterior de um projeto já existente. O que

será feito, portanto, é uma transformação de partes do projeto de duas dimensões para três dimensões com elementos que carregam informações. Conforme Figura 19, na guia “Arquitetura” há o acesso para esses elementos, ou pelo atalho “WA”.

Figura 19 – Selecionando opção de alvenaria

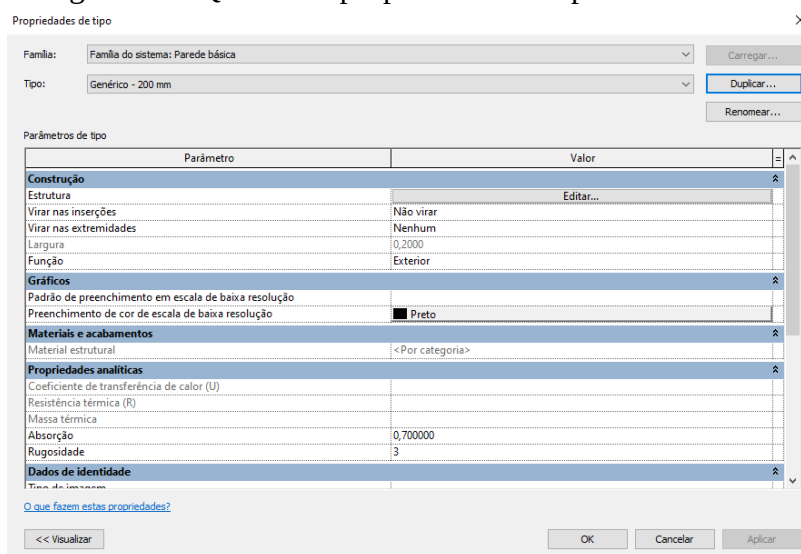


Fonte: Autoria própria (2020).

Antes de inserir as instâncias é necessário gerar um “Tipo” no modelo que seja compatível com o projeto inicial, ou seja, uma alvenaria que possua 15cm de espessura.

Uma “Família” pode gerar infinitos tipos a partir da variação de parâmetros. Para acessar as informações da estrutura, no painel de navegação deve-se clicar em “editar tipo”. O quadro de “Propriedades de tipo” (Figura 20) é comum a todas as famílias. Nele são encontrados os parâmetros que podem ser variados para alterar, ou gerar um novo tipo.

Figura 20 – Quadro de propriedades do tipo - alvenaria

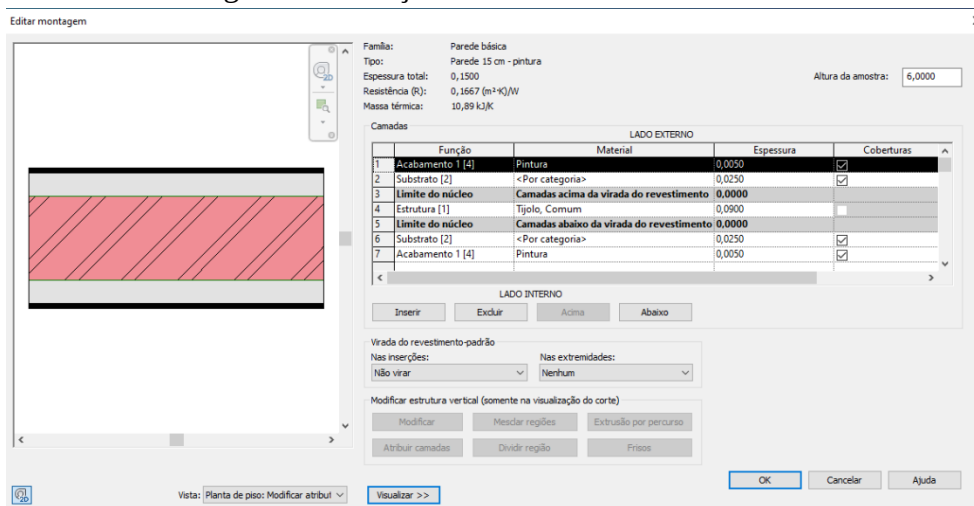


Fonte: Autoria própria (2020).

Para fazer um novo tipo a partir da família, se clica em “Duplicar”, escolhe nome do novo tipo e inicia a alteração de parâmetros, até que se atenda à necessidade. No caso, será alterada a estrutura da parede para que ela possua 15cm de espessura.

A edição da estrutura de alvenarias se dá pela criação e edição de camadas. Para atender ao caso, foram editadas duas camadas de revestimento de pintura com 5mm cada, duas camadas de substrato com 2,5cm cada e um núcleo de tijolo com 9cm. A edição da estrutura está explicitada na Figura 21. Esse tipo de alvenaria será aplicado a toda edificação. Caso fosse buscado um maior preciosismo, para levantamento de quantitativos, ou para gerar um visual da modelagem mais aproximado do real, cada alvenaria deveria ser modelada de acordo com o uso esperado, como alvenarias com revestimento cerâmico em áreas molhadas.

Figura 21 – Edição de estrutura de alvenaria



Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.6.2 Inserindo alvenarias

Após a edição da estrutura, a alvenaria poderá ser inserida. É necessário indicar: 1) o nível de restrição da base e o deslocamento; 2) o nível de restrição superior e o deslocamento (ou a altura da alvenaria). Também será necessário indicar qual parte da alvenaria será localizada pelo cursor na hora da inserção (centro do núcleo, face de acabamento internas ou externas). A princípio as alvenarias do térreo foram configuradas, conforme Figura 22, para ter a restrição da base no nível do térreo, a restrição superior no primeiro pavimento e a linha

de localização (importante apenas para inserir as alvenarias) como a face de acabamento externa.

Figura 22 – Restrições de inserção de alvenaria

Fonte: Autoria própria (2020).

Vale lembrar que os elementos precisam de um nível de referência, mas não necessariamente precisam ficar presos a eles. Apesar de sempre haver uma restrição na base, pode haver um deslocamento em relação a ele. A Figura 23 mostra o quadro de propriedades onde, na terceira linha há a opção de “Deslocamento da base”, que altera esse nível.

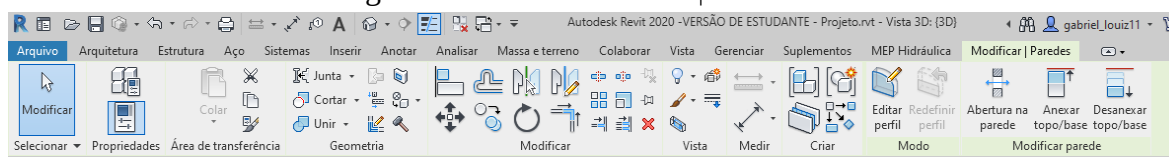
Figura 23 – Quadro de propriedades

Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.6.3 Modificando/Editando alvenarias

Ao colocar as paredes, a planta do projeto deverá servir de orientação. Entretanto, não há necessidade de que na primeira vez que a alvenaria for colocada, ela já esteja na posição final. São feitas modificações para encaixar perfeitamente ao projeto base. Quando qualquer elemento é selecionado, surge uma aba temporária com os itens de modificação. A Figura 24 mostra essa aba quando as alvenarias são selecionadas.

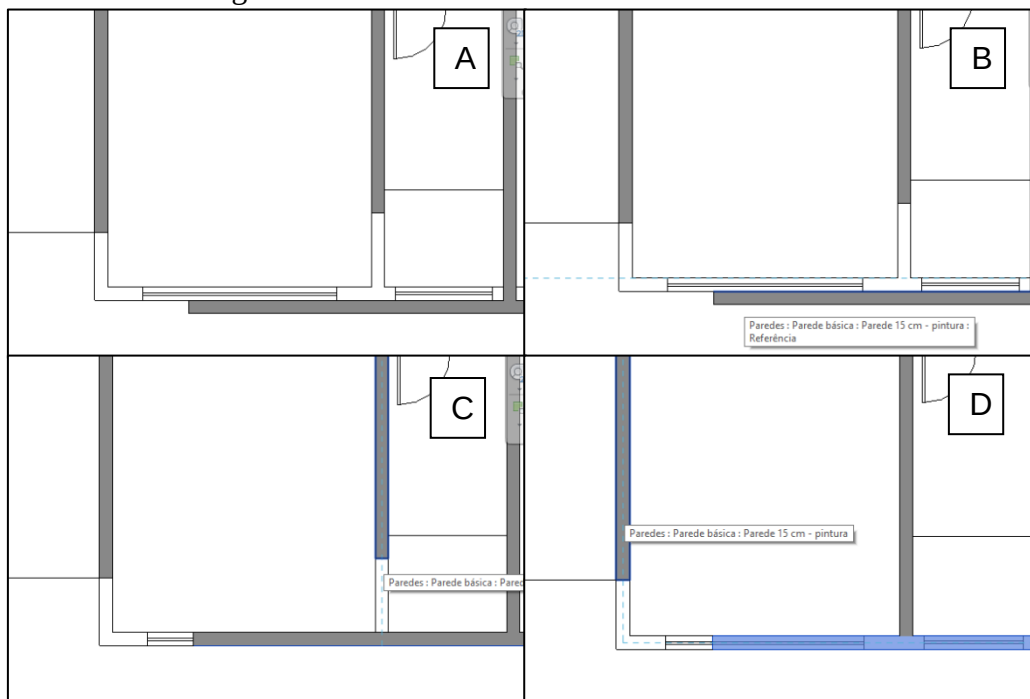
Figura 24 – Aba “Modificar|Paredes”



Fonte: Autoria própria (2020).

Essa alteração pode ser exemplificada pela Figura 25. Posição original é mostrada em (A). Usando diferentes comandos para modelar as paredes em local indicado como em: (B) o comando de alinhar, quando se seleciona uma linha ou um ponto de referência para o alinhamento e depois a entidade para alinhar; (C) com o comando de aparar/estender, quando se seleciona uma linha de referência que determinara e em seguida o elemento que se quer aparar ou estender e; (D) aparar/estender para o canto, quando se clica em duas linhas que serão unidas ou aparadas para formarem um ângulo.

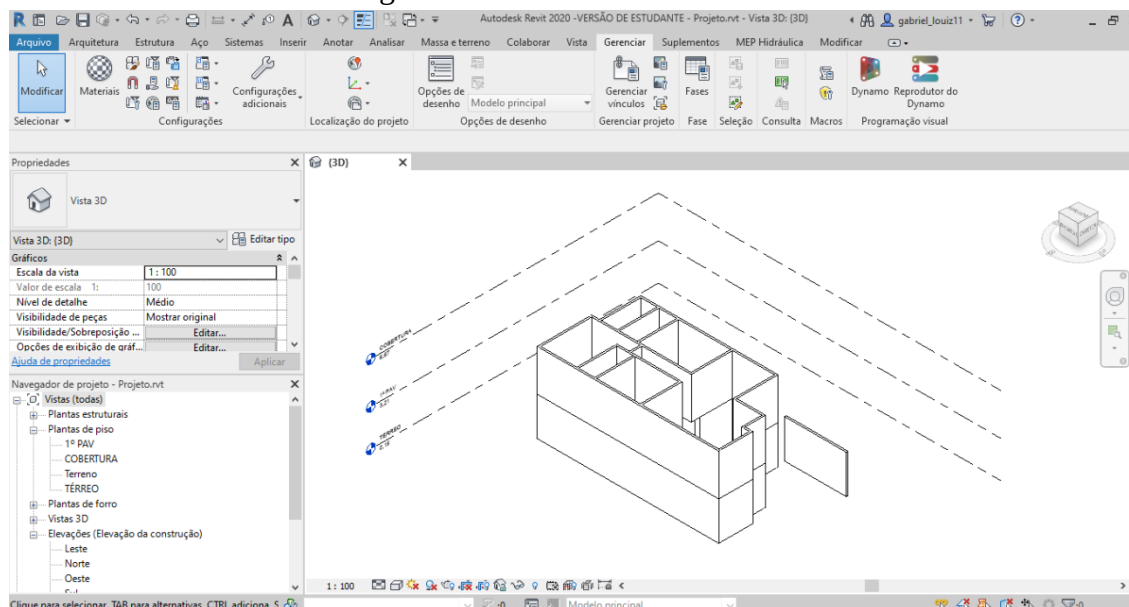
Figura 25 – Ferramentas de modificar - alvenarias



Fonte: Autoria própria (2020).

Após inserção de todas as alvenarias de acordo com o projeto base, o resultado pode ser visto no modelo 3D da Figura 26.

Figura 26 – Paredes modeladas 3D

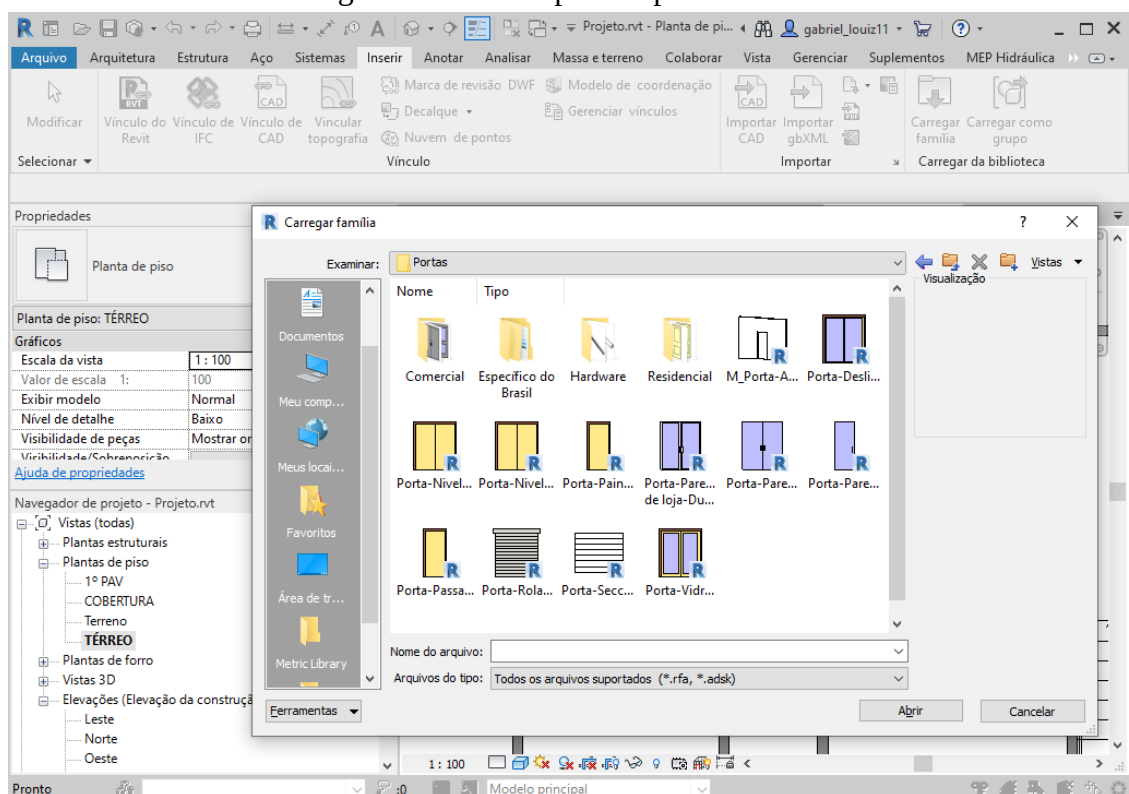


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.7 Carregando famílias - esquadrias

Os modelos não possuem todos os elementos que o usuário precise quando abertos. Para suprir essas faltas, outros elementos podem ser posteriormente carregados de “Bibliotecas”. Várias famílias estão disponíveis na biblioteca que é carregada com a instalação do próprio software. Outra opção é a de carregar famílias feitas por outros usuários e entidades, podendo ser baixadas de bancos da internet. Para inserir basta ir na aba “Inserir” e em seguida no painel “Carregar da biblioteca”, quando se abre uma janela, conforme Figura 27. O exemplo de família a ser carregada será com esquadrias, que serão os próximos elementos a serem modelados. Logo, serão carregadas janelas da biblioteca do Revit®.

Figura 27 – Janela para Importar famílias



Fonte: Autoria própria (2020).

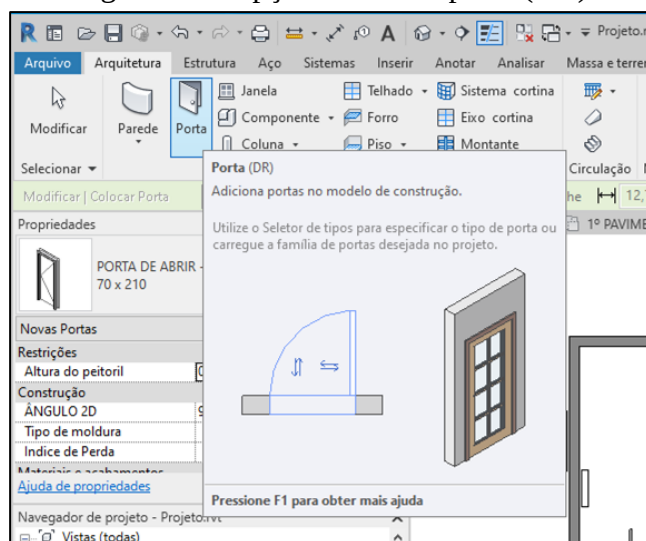
5.3.8 Inserindo esquadrias

5.3.8.1 Portas

Para inserir esquadrias, como portas ou janelas, é necessário que já exista previamente um “hospedeiro”. Este último seria um elemento necessário para que algum outro seja instalado. No caso prático, portas e janelas só seriam úteis em vedações, para permitir e controlar o acesso dos usuários, iluminação, ventilação, entre outros.

A Figura 28 mostra que na guia “Arquitetura”, no painel “Construir” têm-se, dentre outros elementos, portas e janelas.

Figura 28 – Opção de inserir porta (DR)

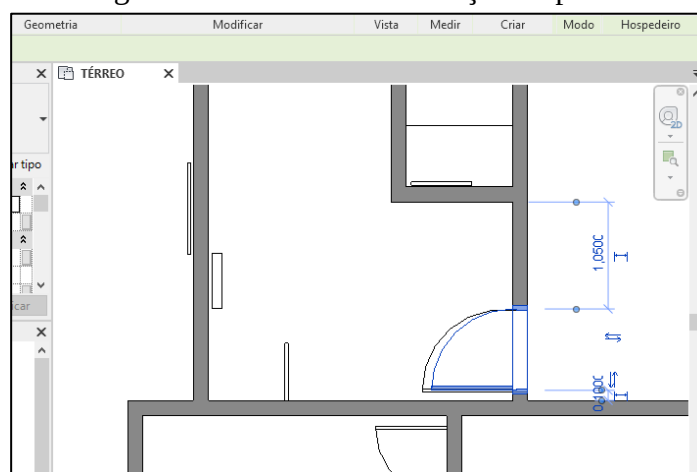


Fonte: Autoria própria (2020).

Com o tipo de objeto a ser inserido já ativado e visualizando a partir de uma planta do nível onde serão inseridas as esquadrias é possível fazer o posicionamento, utilizando como referência a planta base. A inserção é feita apenas com um clique. Em relação às portas existe a possibilidade de alterar o lado e o sentido de abertura a partir de toques na barra de espaço, enquanto o objeto estiver ativado.

Também é possível modificar as distâncias até os elementos próximos. Na Figura 29 é possível ajustar a distância até as paredes ortogonais mais próximas à hospedeira.

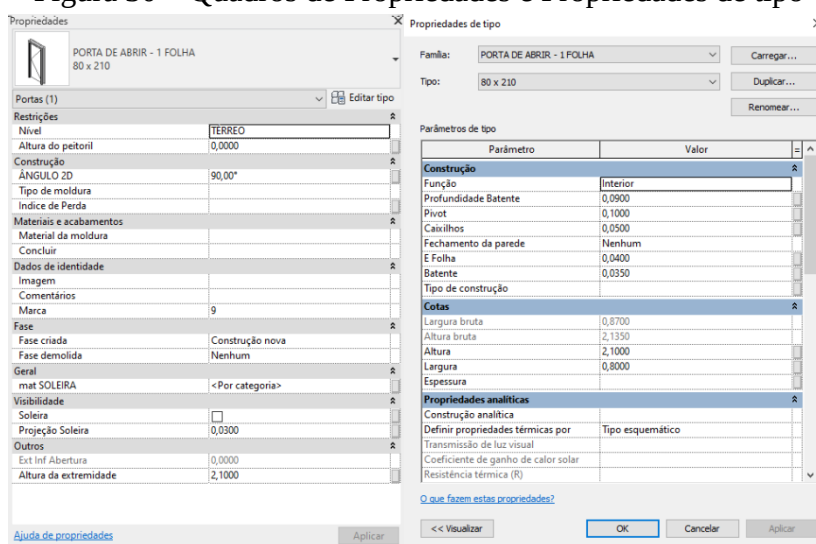
Figura 29 – Processo de inserção de porta.



Fonte: Autoria própria (2020).

Assim como visto na edição e criação de um novo tipo de parede, para as esquadrias também é possível fazer essas edições. Na figura há o painel de propriedades, onde estas podem ser alteradas, como indicar a qual nível base os objetos estarão ligados. Ao “Editar tipo” aparece a janela de “Propriedades do tipo”. Na Figura 30, é possível ver uma diferença significativa da edição das propriedades nesses quadros é que no quadro de “Propriedades” as alterações implicarão apenas no elemento selecionado. Por outro lado, no quadro “Propriedades de tipo” as alterações implicarão a todas as instâncias desse tipo. Também neste último quadro é possível, a partir do botão “Duplicar”, fazer um novo tipo.

Figura 30 – Quadros de Propriedades e Propriedades de tipo



Fonte: Autoria própria (2020).

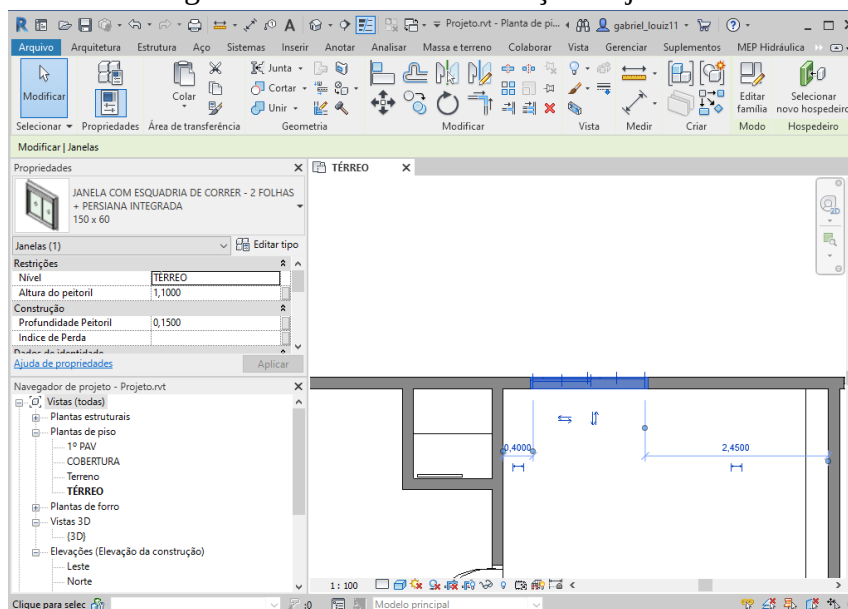
Para a modelagem da estrutura é importante que as esquadrias estejam bem localizadas, incluindo peitoris, caixilhos, a fim de que a estrutura possa apresentar compatibilidade espacial com o funcionamento da edificação.

5.3.8.2 Janelas

A inserção de janelas segue o mesmo padrão das portas. O acesso também se dá pela guia “Arquitetura” e pelo painel “Construir”. A família a ser utilizada pode já estar presente no template ou ser carregada. Além do mais, outros tipos podem ser criados para atender aos

tamanhos indicados no projeto. É necessário um hospedeiro para inserção da janela e as distâncias e altura de peitoril devem ser ajustadas. Essas opções estão visíveis na Figura 31.

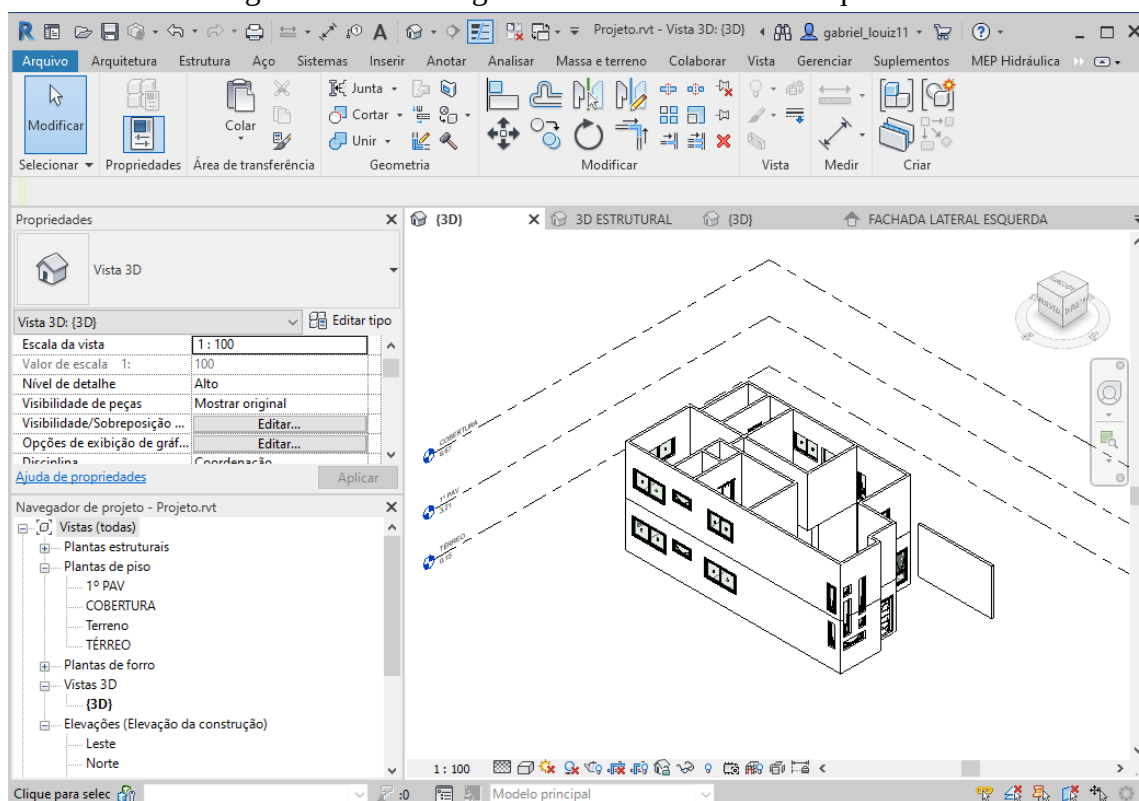
Figura 31 – Processo de inserção de janela.



Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 32 mostra o resultado após a inserção de todas as esquadrias. Vale lembrar que o processo de modelagem não possui uma sequência exata. A estrutura poderia ter sido modelada para depois ser verificada a compatibilidade espacial com as esquadrias. Além disso, outros sistemas, como hidrossanitários e elétrico não foram modelados. Todavia, o importante é que essa compatibilização seja feita em algum momento do desenvolvimento do projeto.

Figura 32 – Modelagem 3D com alvenarias e esquadrias



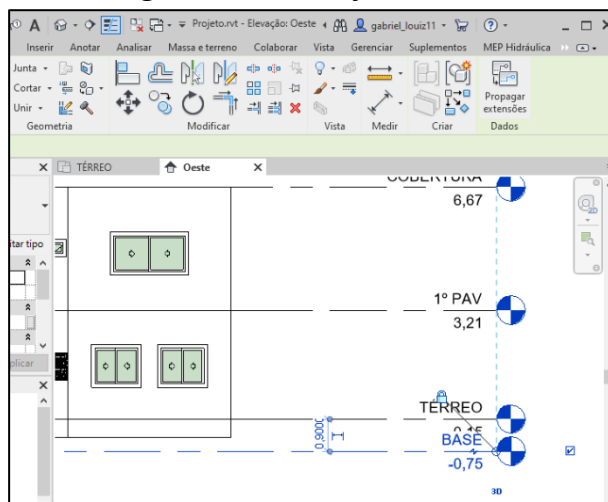
Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.9 Alteração de configurações prévias para modelagem estrutural

Como já visto, os elementos precisam ter níveis de referência. Vale salientar que não é necessário um nível para cada vez que um elemento apresentar uma altura ainda não utilizada como referência. A referência pode partir de um nível e ser acrescentado ou decrescido um valor de deslocamento.

Para a modelagem, será acrescentado um novo nível, com o nome “Base” (Figura 33), para que esse seja a referência da face superior da viga baldrame. Acima da viga baldrame, até o nível do piso, haverá alvenaria, que funcionará como alvenaria de embasamento. Esse nível também gera vistas, que poderão auxiliar no desenvolvimento da modelagem.

Figura 33 – Alteração de níveis

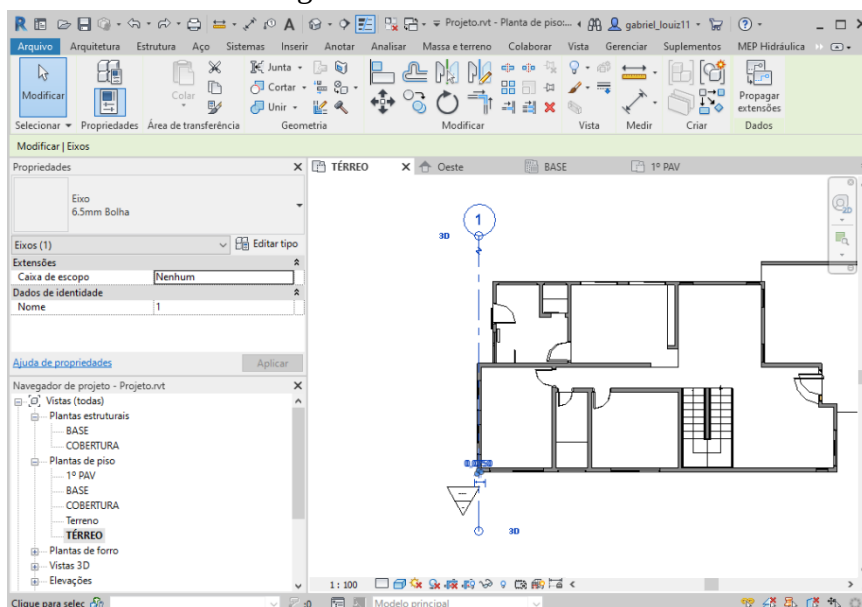


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.9.1 Inserindo eixos

Antes de inserir elementos estruturais também serão criados os eixos, que auxiliarão no processo, além de serem fundamentais em projetos, como o de fundações. Para inserir os eixos pode-se utilizar o atalho “GR” ou a partir da guia “Arquitetura, no painel “Dados”. A exemplificação de inserção é mostrada na Figura 34.

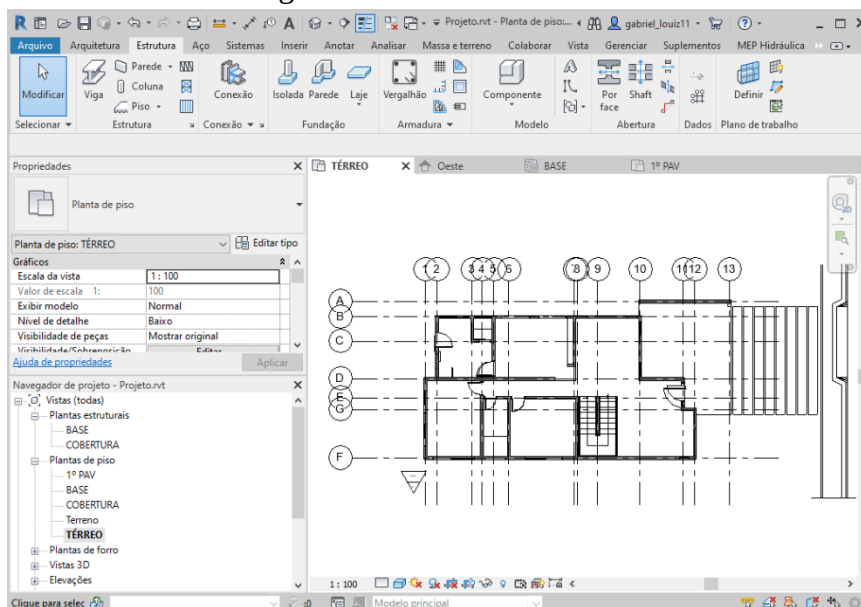
Figura 34 – Inserindo eixo



Fonte: Autoria própria (2020).

Os eixos foram inseridos paralelamente, de forma que cada alvenaria estivesse alinhada com um eixo. Os eixos no sentido vertical foram sequenciados com números, já os horizontais, com letras. O resultado é mostrado na Figura 35.

Figura 35 – Planta com eixos

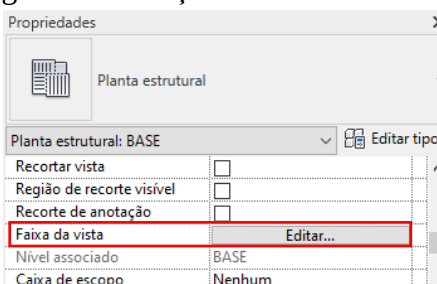


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.9.2 Alteração da faixa de vista

Algumas configurações de visibilidade foram alteradas na planta estrutural da base, com a finalidade de que os pilares aparecessem destacados e que a planta do térreo aparecesse, para servir como referência. Nas propriedades da “Planta estrutural: BASE”, na linha da “Faixa de Vista” há um botão “Editar”, conforme Figura 36.

Figura 36 – Edição de “Faixa da vista”



Fonte: Autoria própria (2020).

A “Faixa principal” representa o intervalo de níveis em que os elementos presentes neste serão tidos como “vistos”. Ao indicar que a topo da faixa principal fica 60cm acima do nível térreo, a vista inclui a planta do térreo. As configurações citadas aparecem na Figura 37.

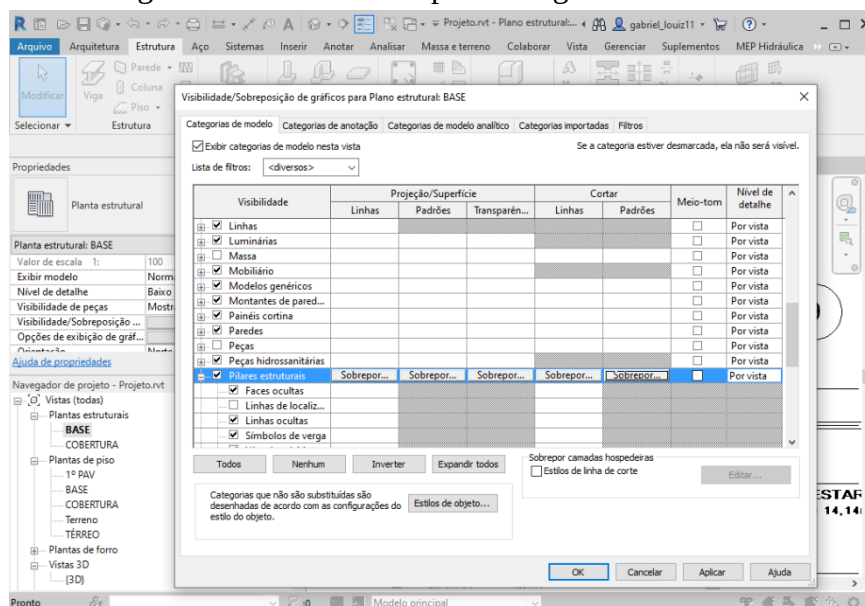
Figura 37 – Quadro de edição de faixa da vista

Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.9.3 Alteração da visibilidade dos pilares

Para dar visibilidade aos pilares na vista da “Planta estrutural: Base” é possível configurar para que os pilares cortados apresentem uma hachura. O caminho para a configuração servirá para qualquer alteração futura em relação à visibilidade, seja em projeção ou em corte. O acesso à essas configurações são a partir do comando “VG”, com a abertura da Janela de Visibilidade/Sobreposição de gráficos. Conforme Figura 38, na guia “Categorias de modelo” há uma linha para “Pilares estruturais”. Na coluna de Cortar/Padrões é possível fazer a configuração.

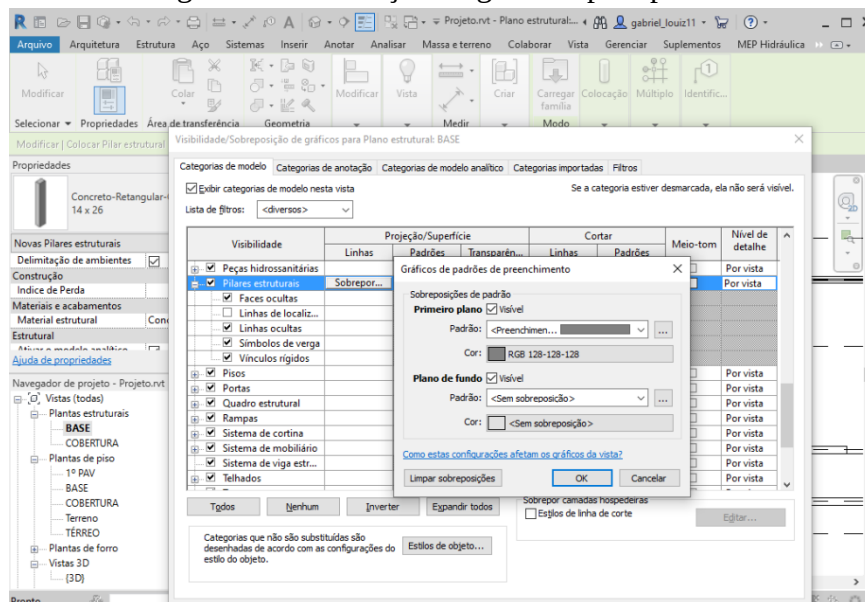
Figura 38 – Visibilidade para Categorias do modelo



Fonte: Autoria própria (2020).

O padrão de preenchimento, para primeiro plano, foi configurado com uma hachura completa com a cor zinha, conforme Figura 39.

Figura 39 – Alteração de gráficos para pilares



Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.10 Modelagem de estrutura

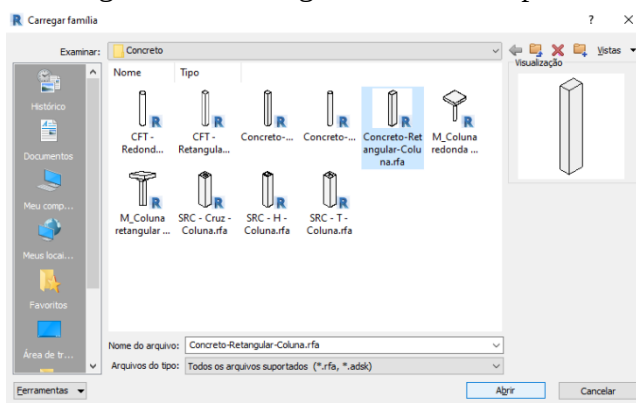
A sequência da modelagem da estrutura pode ser feita a partir de uma sequência comum, na qual os pilares devem ser os primeiros a terem seu local indicado. Eles indicarão a posição dos elementos de fundação e na ligação entre esses elementos serão adicionadas as vigas. Por fim, as vigas determinarão as áreas de lajes, como elas se apoiarão nos elementos.

5.3.11 Modelagem de pilares

5.3.11.1 Carregando família

Foram carregados pilares retangulares de concreto. Um tipo simples, que permite a determinação das dimensões de comprimento e largura. O processo é o mesmo do indicado em 5.3.7. A família utilizada, mostrada na Figura 40, é uma das disponíveis a partir da instalação do software.

Figura 40 – Carregando família de pilar



Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.11.2 Editando tipo

De acordo com o pré-dimensionamento os pilares devem ter um novo tipo criado com as dimensões calculadas. O novo tipo é criado a partir do botão de “Duplicar”. O nome é

definido pelo usuário, de preferência com os parâmetros que são característicos ao tipo criado. No exemplo, conforme Figura 41, o nome possui as dimensões do pilar. O pré dimensionamento foi mostrado em 1.1.1.1.

Figura 41 – Editando propriedades do pilar

Parâmetro	Valor
Estrutural	
Forma do corte	Não definido
Cotas	
b	0,1400
h	0,2600
Dados de identidade	
Tipo de imagem	
Nota-chave	
Modelo	
Fabricante	
Comentários de tipos	
URL	
Descrição	
Código de montagem	
Custo	
Chave do nome do corte	
Descrição de montagem	
Marca de tipo	
Número OmniClass	23.25.30.11.14.11
Título OmniClass	Columns
Nome do código	

Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.11.3 Inserindo pilares

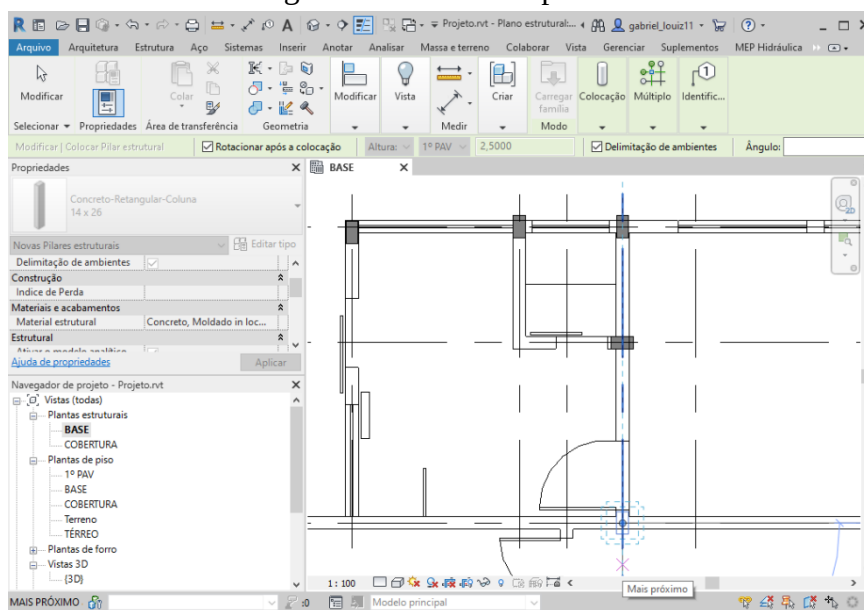
A inserção de pilares em relação às restrições é semelhante à de alvenarias. É necessário indicar o nível de restrição da base e a altura, ou nível de restrição superior. Com a vista aberta sendo a planta estrutural do nível BASE, essa será a restrição inferior. A Figura 42 mostra que a restrição superior foi definida como sendo pela altura, até o nível “1º Pavimento”.

Figura 42 – Alterando restrições do pilar

Fonte: Autoria própria (2020).

A inserção dos pilares é feita por clique do cursor, que determina o ponto onde o centro do pilar ficará localizado, como mostrado na Figura 43. Outras mudanças podem ser feitas após a inserção do pilar. Por exemplo, alterar a altura, a partir do deslocamento de níveis e pela modificação da localização, a partir de comandos como o de mover e alinhar.

Figura 43 – Inserindo pilares



Fonte: Autoria própria (2020).

Depois de inseridos, os pilares que deverão continuar até a cobertura possuem alterado o vínculo com nível superior e suas bases deslocadas até o nível base.

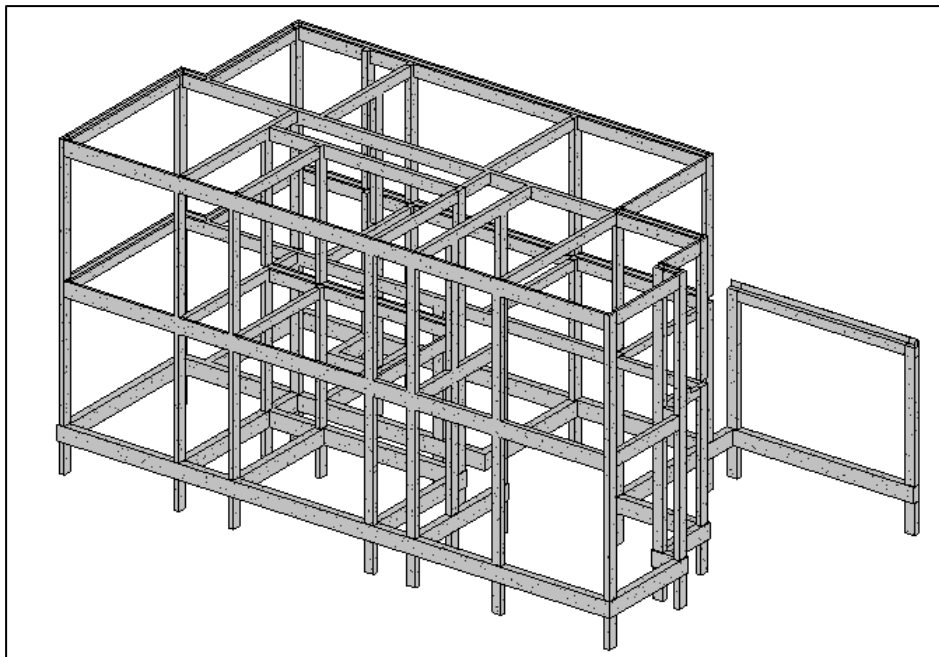
5.3.12 Modelagem de vigas

O procedimento pode ser iniciado a partir do comando “BM” ou na guia “Estrutura”, painel “Estrutura” e selecionar a opção de vigas. As vigas vem ser editadas para possuir as dimensões definidas pela concepção. Isso pode ser feito através da edição de tipo, conforme 5.3.11.2. A edição das vigas segue os mesmos conceitos explicados na edição das alvenarias, exemplificados na Figura 25.

Isso é feito para as vigas baldrame, do primeiro pavimento e cobertura. As vigas do baldrame possuem dimensões de 20x40cm. No primeiro pavimento e cobertura as dimensões são repetidas. Tanto a viga V03, como as possuem o mesmo alinhamento com esta, foram

editadas com dimensões de 14x40. As vigas restantes possuem dimensões de 14x35cm. A Figura 44 mostra o resultado com vigas e pilares.

Figura 44 – Estrutura com vigas e pilares

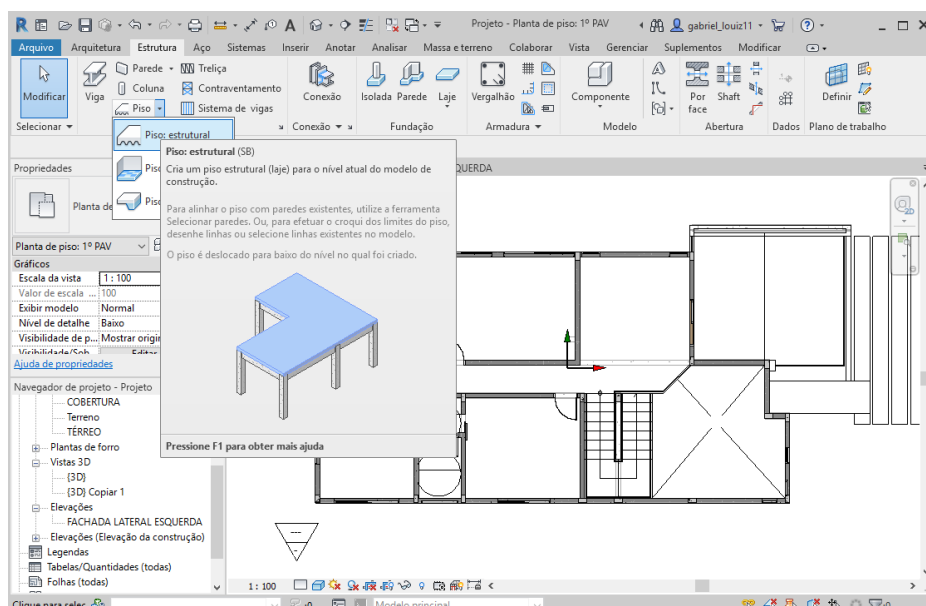


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.13 Modelagem de lajes

Foram criados diferentes tipos para lajes. Para lajes do primeiro pavimento, as alturas estão de acordo com o pré-dimensionamento que é mostrado na Tabela 15 – Altura utilizada para lajes. Já para a cobertura foram modeladas lajes com 8cm de altura. A Figura 45 mostra o caminho para a opção de pisos estruturais, como são chamadas as lajes no software. Também pode ser utilizado o atalho “SB”.

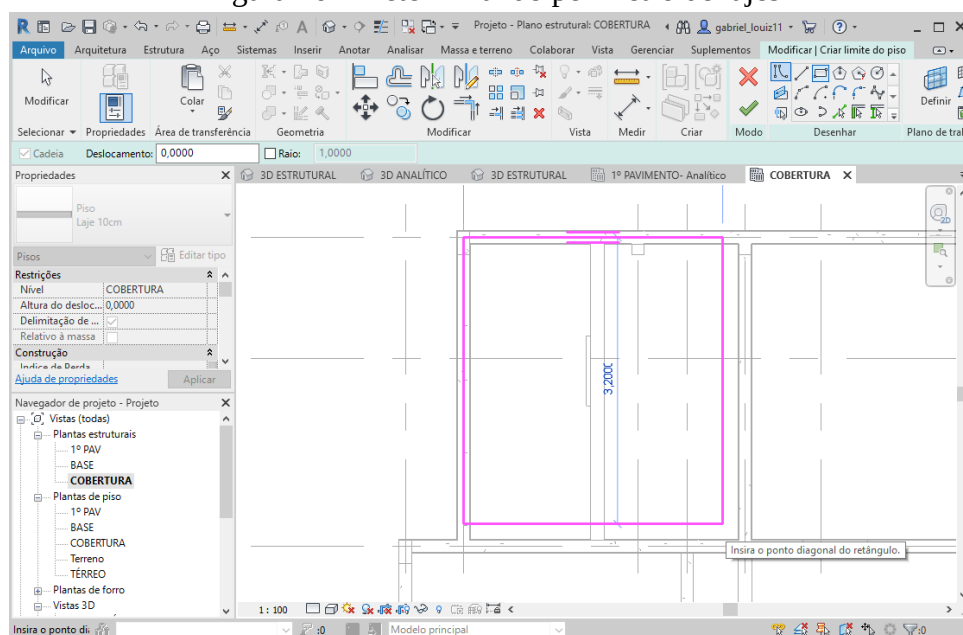
Figura 45 – Caminho para inserir lajes



Fonte: Autoria própria (2020).

O piso estrutural deve ser inserido no nível de acordo com o especificado e seu perímetro é determinado pelo usuário, para cada um dos elementos, conforme exemplo da Figura 46.

Figura 46 – Determinando perímetro de lajes

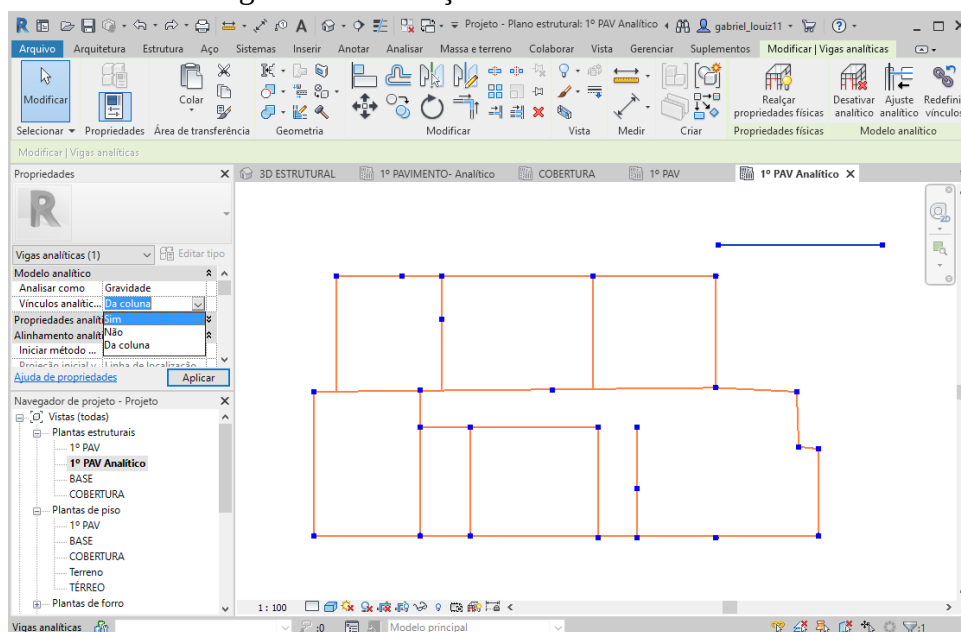


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.14 Corrigindo vínculos analíticos

Ao inserir os elementos estruturais, o Revit® faz a vinculação para os centros geométricos dos pilares. É necessário fazer a alteração para que sejam criados vínculos analíticos das vigas com os pilares, a fim de evitar possíveis erros nas análises. Essa alteração é feita com o elemento selecionado, em uma vista que permita a visibilidade dos elementos analíticos. A Figura 47 mostra a opção de “Sim”, no quadro de “Propriedades”, para que sejam criados os vínculos analíticos. O processo deve ser repetido para vigas em todos os níveis.

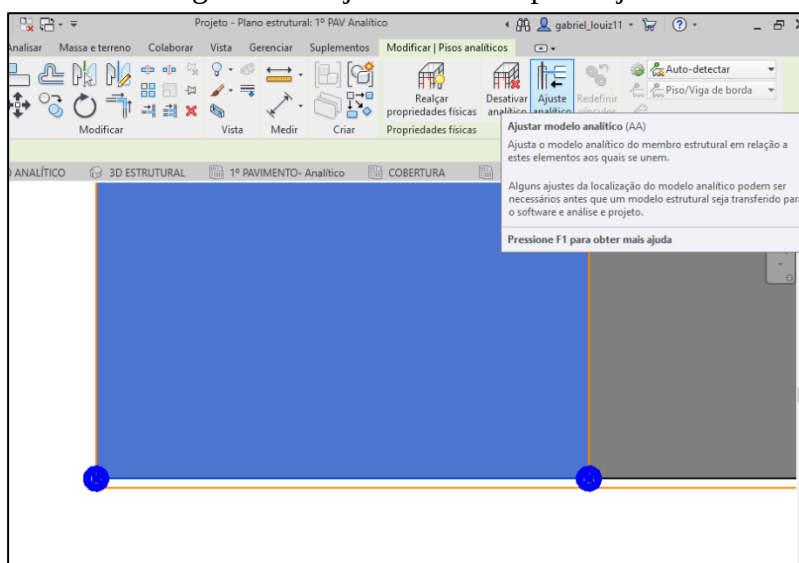
Figura 47 – Correção de vínculos analíticos



Fonte: Autoria própria (2020).

A correção do posicionamento dos vínculos analíticos também deve ser feito nas lajes. Ao selecionar um piso analítico surge a opção de “Ajuste Analítico” (Figura 48). Os cantos devem ser ajustados para ficarem alinhados com as vigas. O procedimento também foi repetido para lajes do primeiro pavimento e cobertura.

Figura 48 – Ajuste analítico para lajes

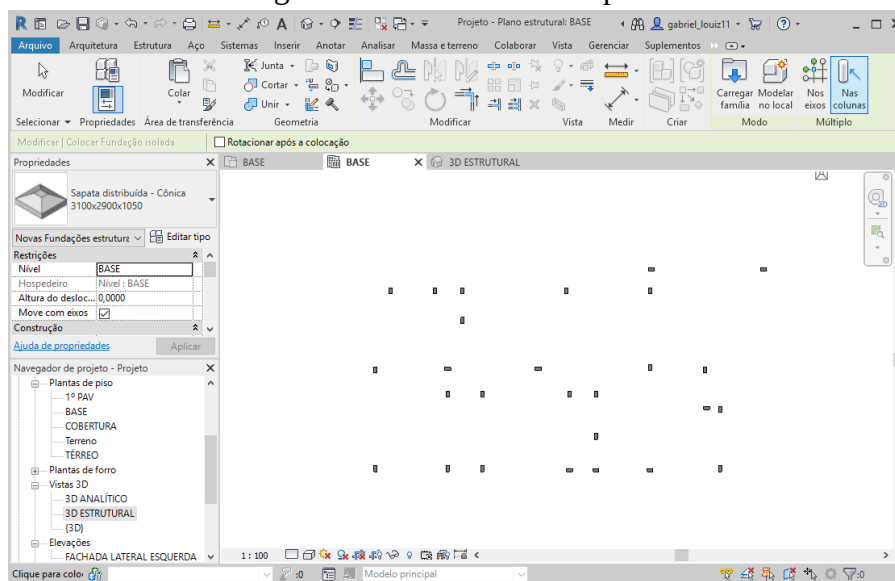


Fonte: Autoria própria (2020).

5.3.15 Adicionando fundações

O processo de adicionar fundações é simplificado, a partir da aba “Estrutura”, painel “Fundação”. A escolha para o modelo em questão foram de sapatas isoladas. Basta que a fundação escolhida esteja selecionada que surge a opção de inserir em todos os pilares, como mostrado na Figura 49.

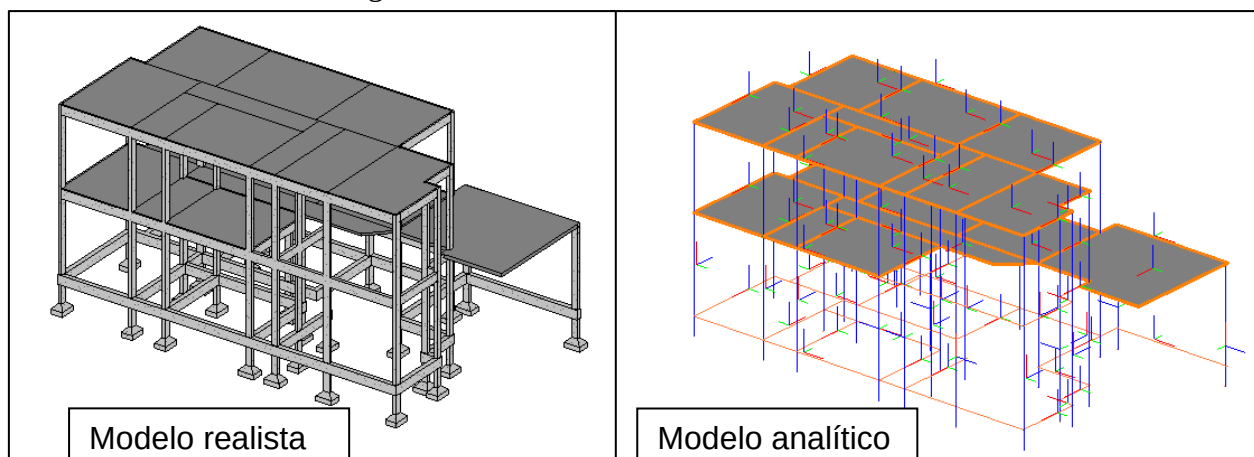
Figura 49 – Adicionando sapatas



Fonte: Autoria própria (2020).

Após todos os processos executados, se chega ao resultado final da estrutura, que, foi compatibilizada espacialmente com o projeto arquitetônico, observando possíveis as esquadrias.

Figura 50 – Resultado final da estrutura



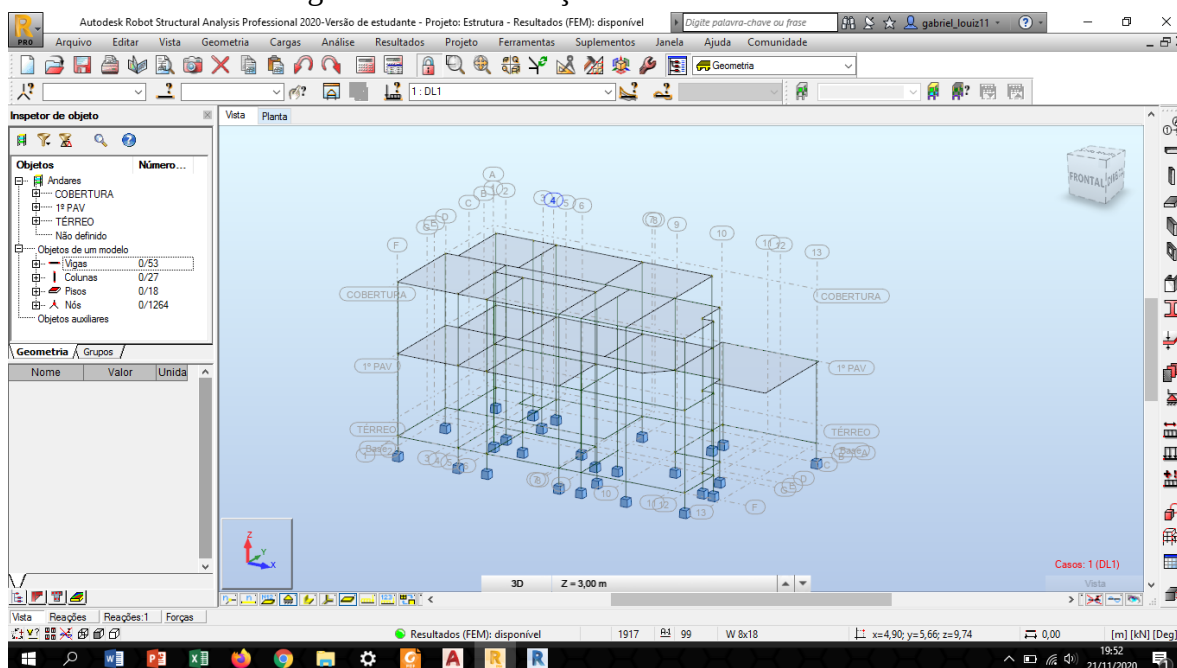
Fonte: Autoria própria (2020).

5.4 ROBOT®

5.4.1 Interoperabilidade entre Revit® e Robot®.

Caso o equipamento utilizado possua também instalado o software *Robot Structural Analysis*®, da Autodesk, existe a possibilidade de se utilizar do processo de interoperabilidade com o Revit, para prosseguir com a análise estrutural. Para transferir o modelo da estrutura do Revit® basta ir na guia “Analisar”, painel “Análise estrutural” existe a opção de enviar o vínculo para o *Robot Structural Analysis*®. Após enviado, a estrutura automaticamente aparece, identificando todos os elementos de vigas, colunas e pisos, conforme Figura 51. Neste, diversas análises para deslocamentos, esforços internos, áreas de aço, dentre outros, são possíveis.

Figura 51 – Visualização analítica 3D no Robot®



Fonte: Autoria própria (2020).

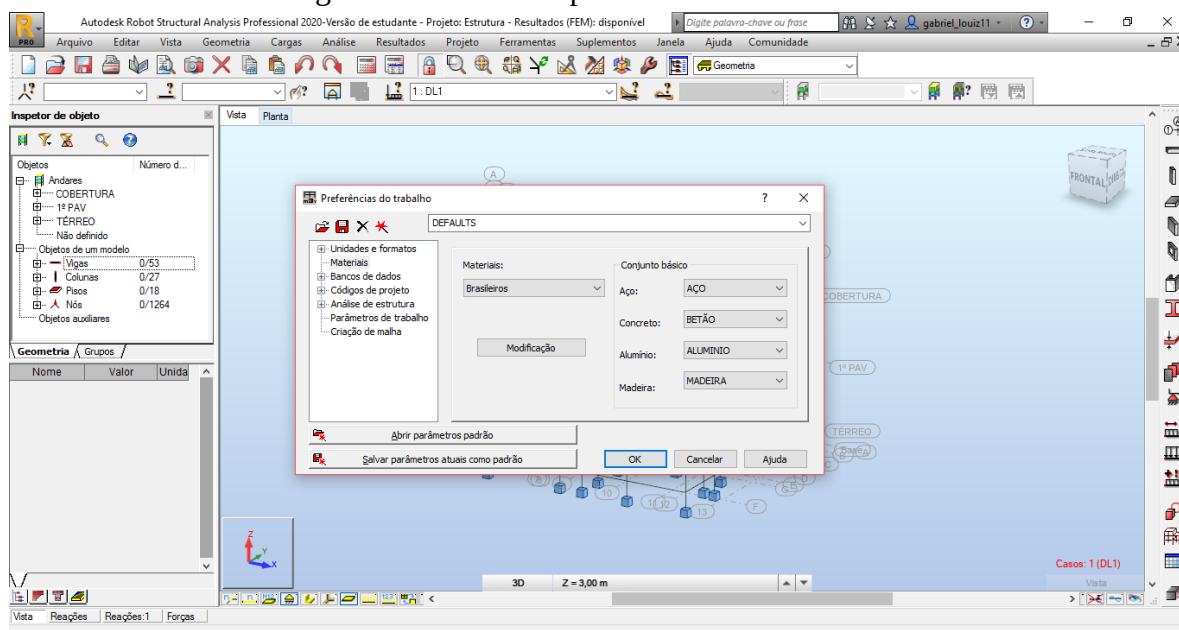
5.4.2 Configurações iniciais

Apesar de ser um *software* com diversas possibilidades de análise, o Robot® não possui em seus bancos de dados configurações padronizadas de acordo com a ABNT NBR 6118. Todavia, é possível que o usuário as faça, através do menu “Ferramentas”, “Preferências do trabalho”.

5.4.2.1 Alterando materiais

A janela de preferências do trabalho é a exposta na Figura 52. Existe a opção de alteração de quatro tipos de materiais, porém, observando o objetivo do trabalho, só serão realizadas configurações para o aço e o concreto. O acesso para essas alterações se dá através do botão de “Modificar”.

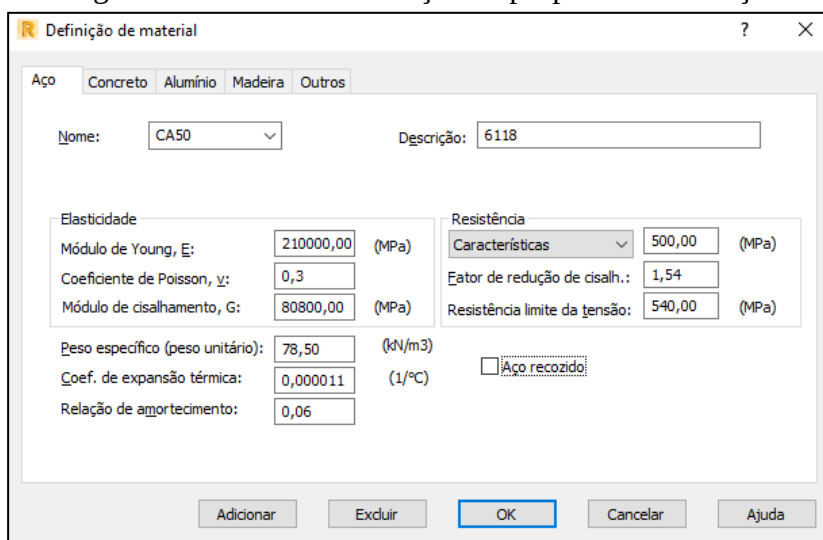
Figura 52 – Janela de preferências do trabalho



Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme concepção, o aço utilizado no projeto é o CA-50. Foram alteradas propriedades de elasticidade, resistência e outras propriedades físicas, como mostrado na Figura 53, para que fiquem consonantes com a ABNT NBR 6118/2014.

Figura 53 – Janela de alteração de propriedades do aço



Fonte: Autoria própria (2020).

Seguindo o mesmo padrão do que foi explicado para o aço, as configurações também devem ser alteradas para o concreto, nesse caso, um de classe C25. Também de acordo com a ABNT NBR 6118/2014, a Figura 54 mostra as propriedades alteradas.

Figura 54 – Janela de alteração de propriedades do concreto

The screenshot shows the 'Definição de material' (Material Definition) window. The 'Concreto' (Concrete) tab is selected. The 'Nome' (Name) is set to 'C25' and the 'Descrição' (Description) is '6118'. The 'Elasticidade' (Elasticity) section includes: Módulo de Young, E: 38000,00 (MPa); Coeficiente de Poisson, ν : 0,166; and Módulo de cisalhamento, G: 16300,00 (MPa). The 'Resistência' (Resistance) section includes: 'Características' (Characteristics) selected in the dropdown, with a value of 25,00 (MPa); and 'Amostra' (Sample) set to 'Cilíndrico' (Cylindrical). Other properties include: Peso específico (peso unitário): 25,00 (kN/m³); Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C); and Relação de amortecimento: 0,15. At the bottom are buttons: Adicionar, Excluir, OK, Cancelar, and Ajuda.

Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.2.2 Incluindo banco de dados de barras

No Brasil, as armaduras utilizadas para concreto armado possuem normatização específica, pela ABNT NBR 7480/2007. Existe a possibilidade de adicionar um banco de dados para que as barras utilizadas estejam de acordo com a normatização. A Figura 55 mostra o caminho, que é na mesma janela de “Preferência do trabalho”, em “Banco de dados” e “Barras e armadura”. Primeiro deve ser adicionado um novo banco de dados, nomeado de “NBR_6118”, que em seguida deverá ser editado.

Figura 55 – Adicionando banco de dados para armaduras

The screenshot shows the 'Preferências do trabalho' (Work Preferences) window. The 'Bancos de dados' (Data Banks) section is expanded in the left sidebar. The main area shows a table with columns: 'Banco de dados' (Data Bank), 'Nome do banco de ...' (Name of the bank ...), and 'Descrição de banco de dados' (Description of data bank). The table lists: ACI 318-0..., ACI 318-08, EHE, and NBR_6118 (highlighted in blue). At the bottom are buttons: 'Abrir parâmetros padrão' (Open default parameters), 'Salvar parâmetros atuais como padrão' (Save current parameters as default), OK, Cancelar, and Ajuda.

Fonte: Autoria própria (2020).

A edição do banco de dados das armaduras, mostrado na Figura 56, se dá através da indicação dos diâmetros utilizados e suas respectivas áreas, pesos específicos e comprimentos de ancoragem para os diferentes ângulos de dobra.

Figura 56 – Editando banco de dado para armaduras

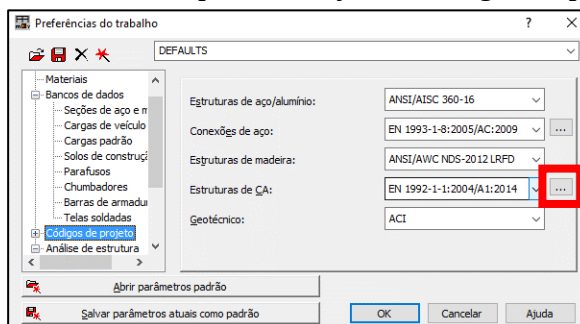
No	Steel	Diameter	DiameterReal	MaxLength	Mass	HookLen90	HookLen135	HookLen180	HookLenSeismic	StirrupBendFormerDiam	BarBendFormerDiam
1	CA50	6.3	6.3	12	0.242	8	4	2	5	5	1
2	CA50	8	8	12	0.395	8	4	2	5	5	1
3	CA50	10	10	12	0.617	8	4	2	5	5	1
4	CA50	12.5	12.5	12	0.597	8	4	2	5	5	1
5	CA50	16	16	12	1.58	8	4	2	5	5	1
6	CA50	20	20	12	2.47	8	4	2	5	5	1
7	CA50	22.5	22.5	12	3.12	8	4	2	5	5	1
8	CA50	25	25	12	3.85	8	4	2	5	5	1
9	CA50	32	32	12	6.31	8	4	2	5	5	1
*											

Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.2.3 Alteração de códigos do projeto

Alguns outros parâmetros devem ser alterados nos códigos de projeto. Como é um projeto de concreto armado, deve ser escolhida a norma europeia da *European Standard*, EN 1992-1-1:2004/A1:2014, pois permite que sejam feitas definições pelo usuário ao clicar no botão indicado na Figura 57.

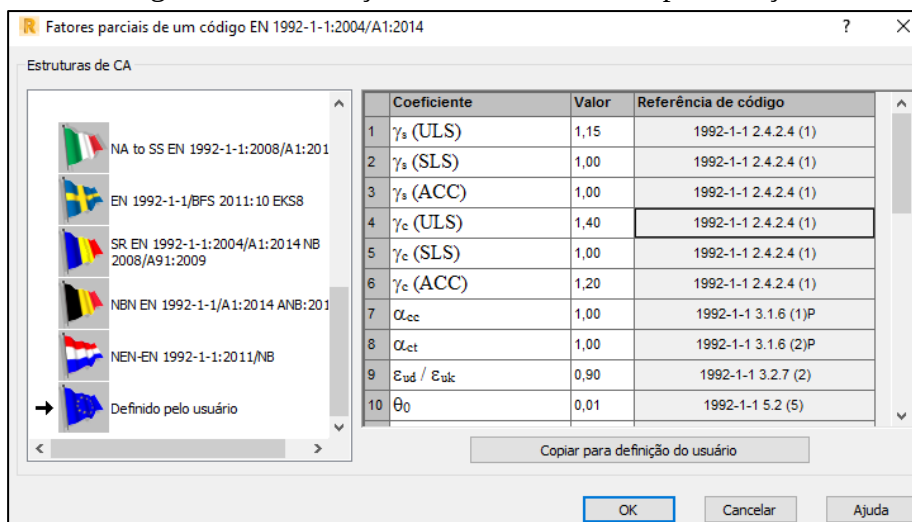
Figura 57 – Quadro para alteração de códigos de projeto



Fonte: Autoria própria (2020).

Como será analisada apenas a situação para combinação no Estado Limite Último, é possível observar na Figura 58 que os coeficientes de ponderação para o aço e concreto foram alterados para 1,15 e 1,4, respectivamente.

Figura 58 – Alteração dos coeficientes de ponderação

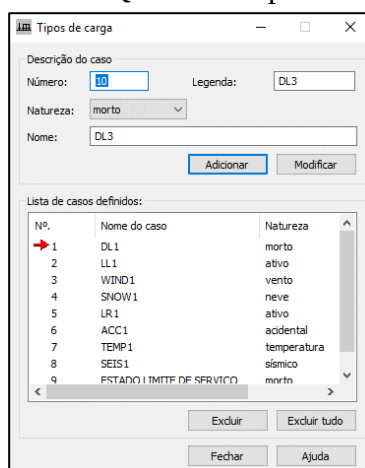


Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.3 Cargas

As cargas, no Robot®, possuem diferentes classificações, que estão mostradas na Figura 59. Para a análise dos momentos nas lajes do primeiro pavimento e da viga V03, os tipos de cargas utilizados serão DL, sigla para *Dead Load*, que são as cargas permanentes e LL, *Live Loads*, que se referem às cargas variáveis. O peso próprio, por padrão já está definido em DL1

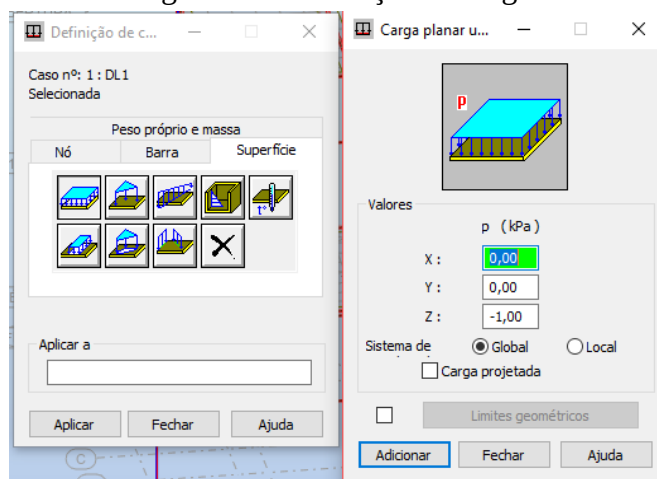
Figura 59 – Quadro de tipos de carga



Fonte: Autoria própria (2020).

Para definir os valores, basta que o tipo a ser inserido seja o selecionado, então no menu “Cargas” há o item de definição de cargas, quando serão exibidas as janelas mostradas na Figura 60. As distribuições de cargas utilizadas são superficiais e linearmente distribuídas. Na modelagem foram inseridas cargas de acordo com Tabela 18, Tabela 22 e Tabela 23.

Figura 60 – Definição de cargas



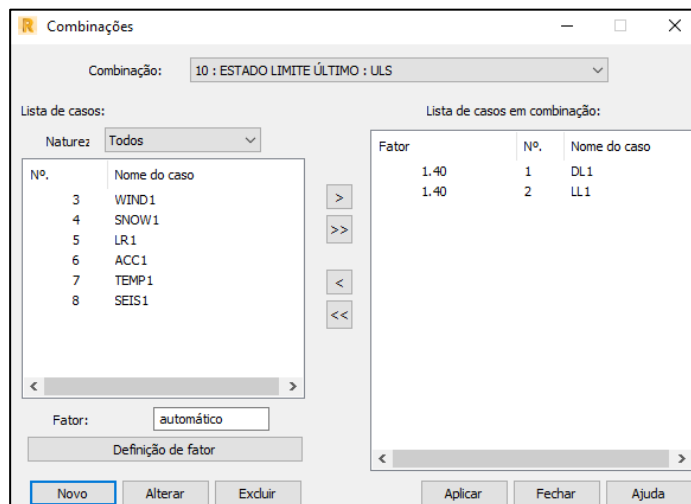
Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.4 Combinações

A combinações podem ser automáticas e manuais. Para fins de observação e comparação dos resultados, será feita a mesma combinação que foi executada na análise

manual, com o coeficiente de 1,4 para ações permanentes e variáveis. A combinação manual, também acessada a partir do menu “Cargas” é feita como mostrado na Figura 61.

Figura 61 – Combinação para ELU no Robot®



Fonte: Autoria própria (2020).

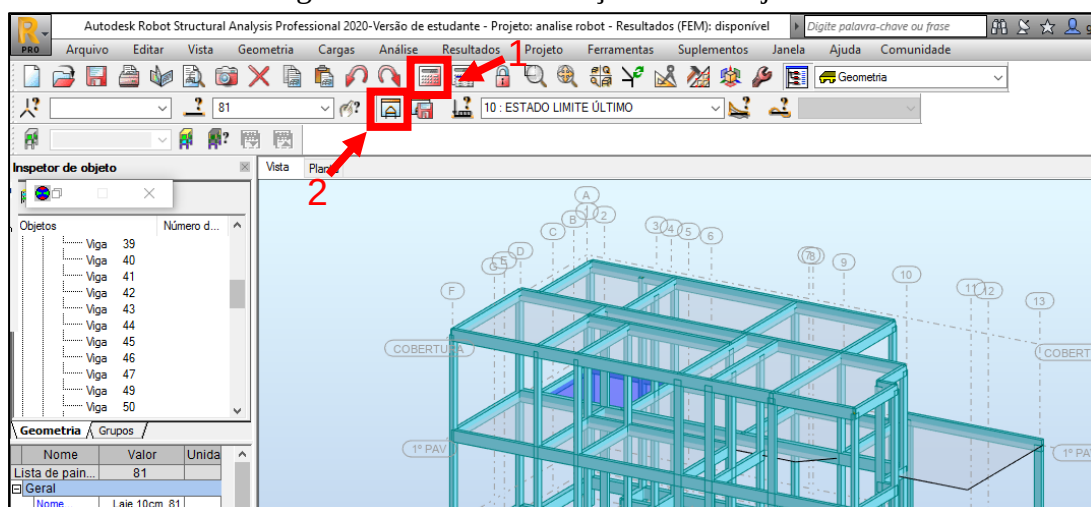
5.4.5 Análises

Para que o *software* realize a análise da estrutura após todas as configurações e cargas acrescentadas basta clicar no botão de análise, que é indicado por 1, na Figura 62.

5.4.5.1 Observação de momentos nas lajes

Com a finalidade de observar os momentos positivos e negativos nos dois sentidos das lajes do primeiro pavimento se fez a observação em cada um desses elementos isoladamente. Para isso, primeiramente é necessário selecionar o elemento e, em seguida, clicar no símbolo de edição em nova janela, indicado por 2 na Figura 62.

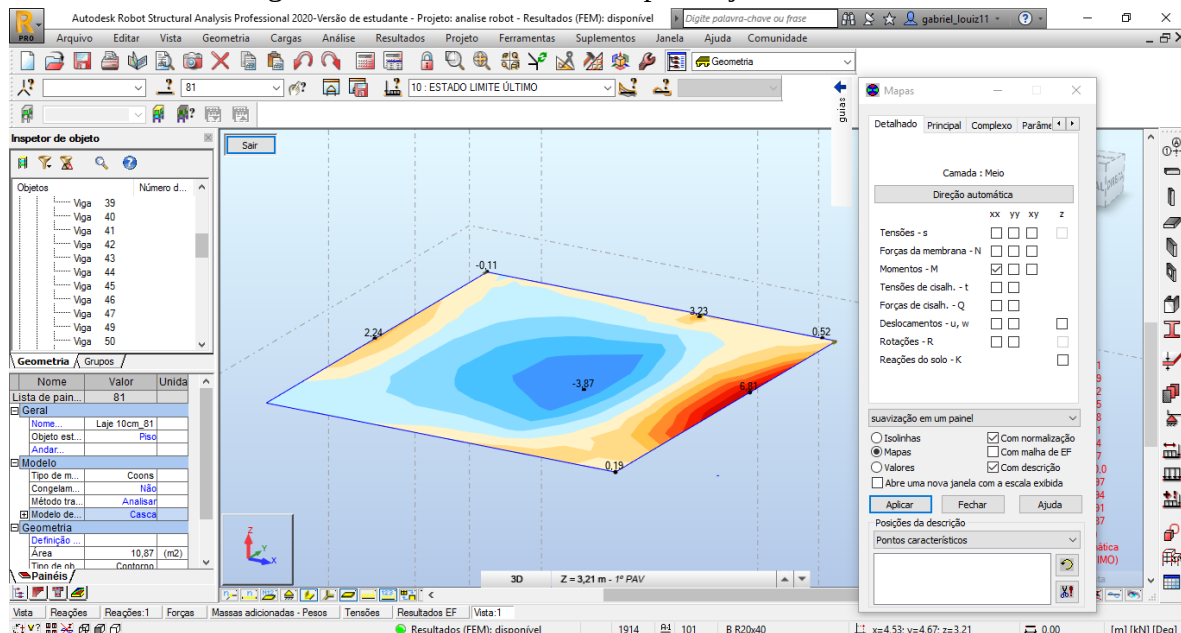
Figura 62 – Análise e edição em nova janela



Fonte: Autoria própria (2020).

Quando aberta a janela, a observação pode ser feita a partir do menu “Resultados”, opção de “Mapas”. Como é possível verificar na Figura 63, na guia “Detalhado” foi escolhida a opção de momentos, que foram observados nas duas direções globais, atentando se seguia o eixo x ou y de cada laje. O resultado mostrado é para a laje L1 do primeiro pavimento.

Figura 63 – Momentos obtidos para lajes via ROBOT®

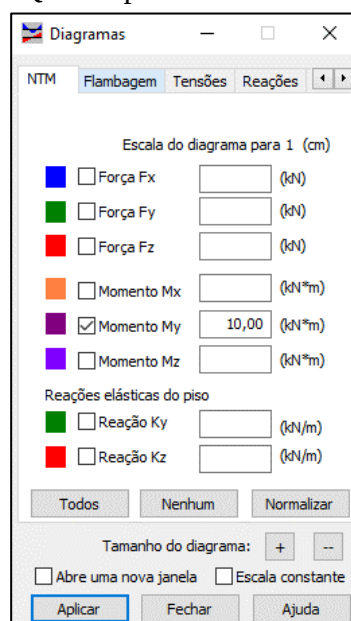


Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.5.2 Momentos e esforços cortantes nas vigas

Já para as vigas foram observados diagramas para momento fletor e esforço cortante. Assim como indicado na seção anterior, para melhor visualização do resultado pode ser aberta uma nova janela apenas para a viga em questão. A opção para exibição dos diagramas também estão no menu “Resultados”. Quando aparece o quadro mostrado na Figura 64.

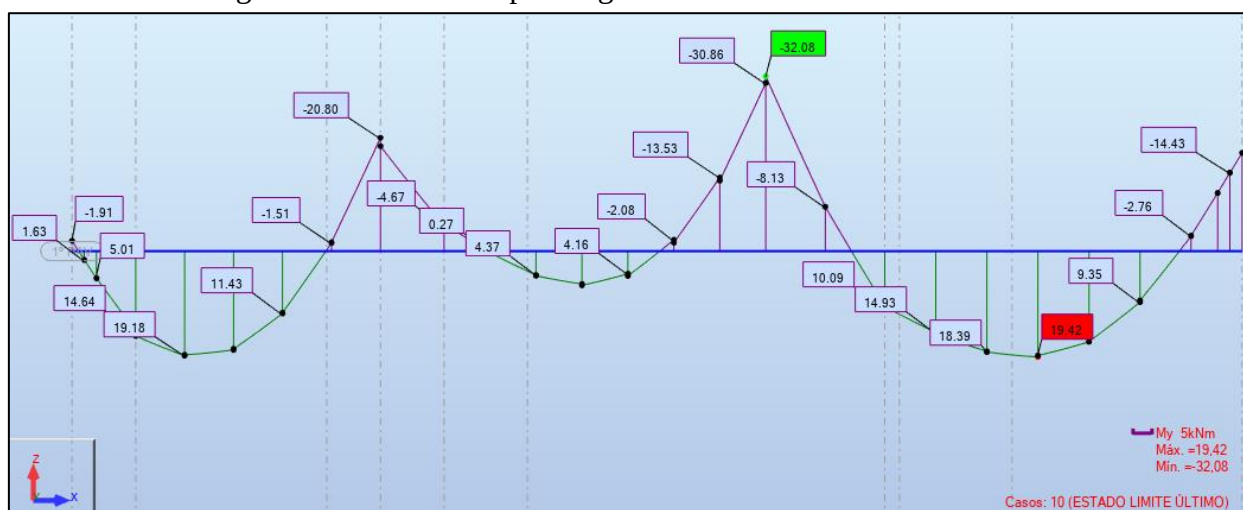
Figura 64 – Quadro para resultados em diagramas



Fonte: Autoria própria (2020).

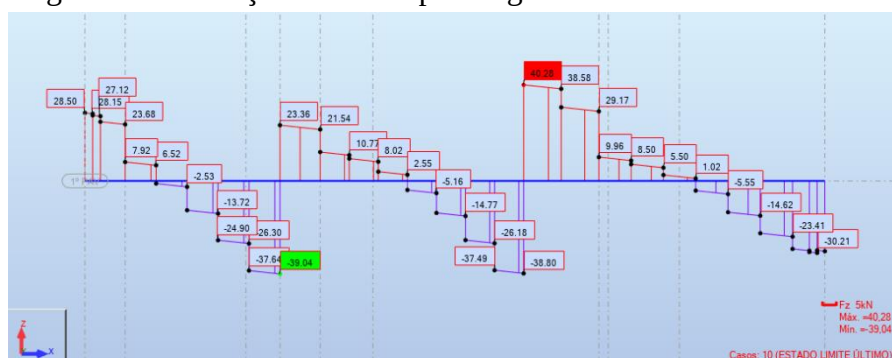
Quando escolhida a opção de “Momento My” e a peça observada no plano xz, o resultado é o mostrado na Figura 65. Já quando escolhida a opção de “Força Fz”, também no mesmo plano, o resultado é o da Figura 66.

Figura 65 – Momentos para viga V03 obtidos via ROBOT®



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 66 – Esforços cortantes para viga V03 obtidos via ROBOT®

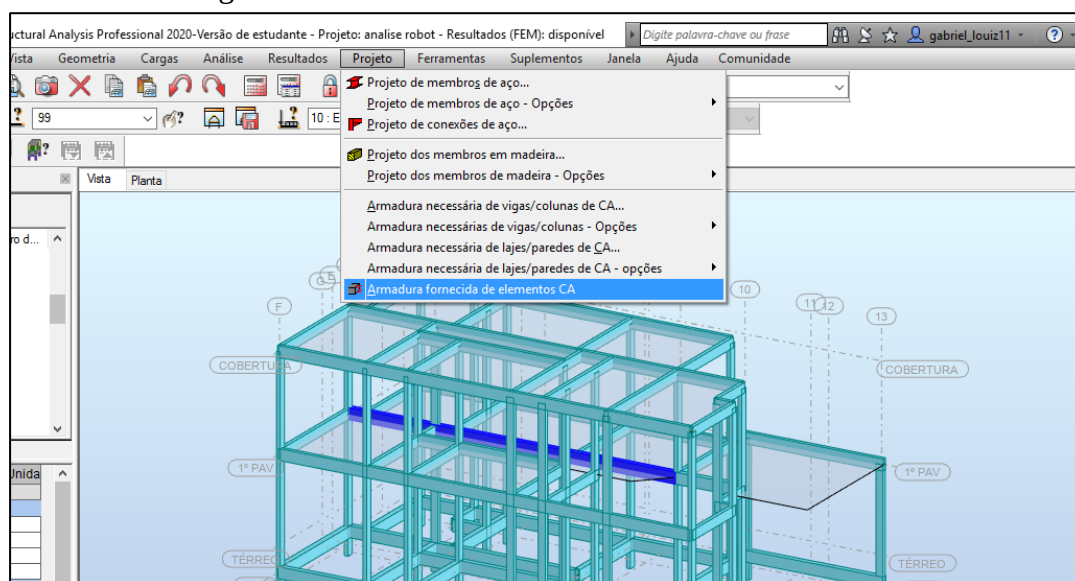


Fonte: Autoria própria (2020).

5.4.6 Gerando área de aço para viga V03

Para obter as armaduras de um elemento selecionado o caminho é pelo menu “Projeto”, opção de “Armadura fornecida para elementos CA”, conforme Figura 67.

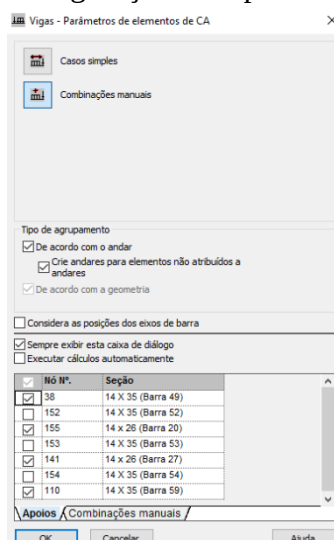
Figura 67 – Acesso à armaduras de um elemento de CA



Fonte: Autoria própria (2020).

Os apoios da viga podem ser selecionados para cada trecho de acordo com a concepção e que a análise seja para a combinação manual de ELU (Figura 68).

Figura 68 – Configurações de apoios e combinações

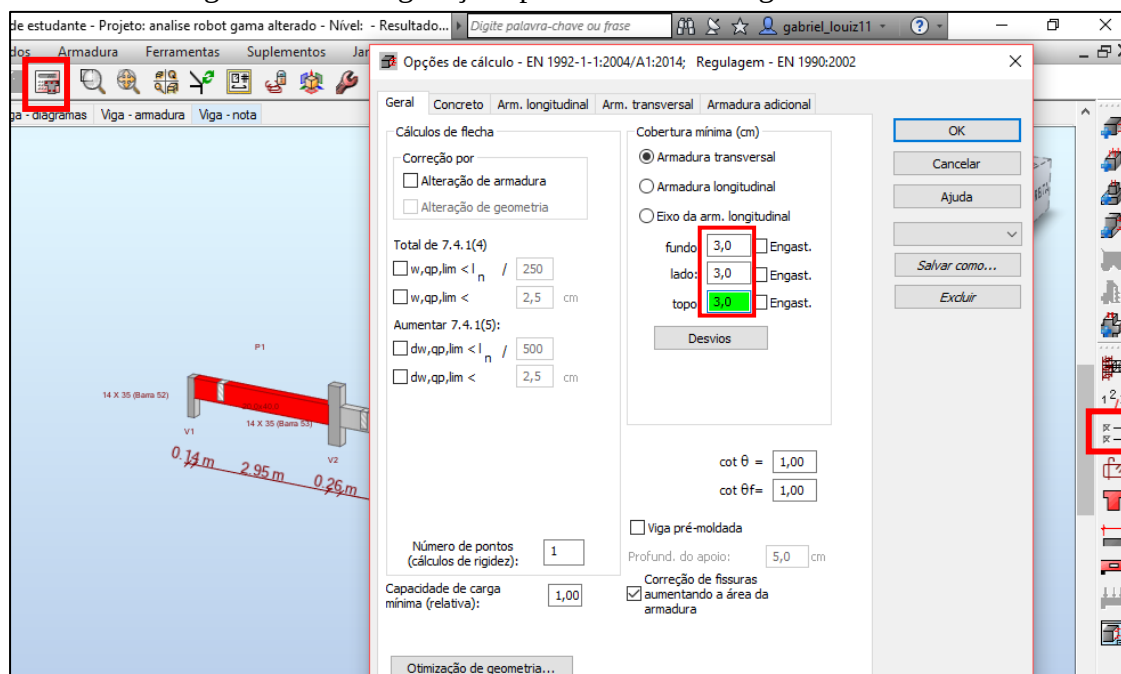


Fonte: Autoria própria (2020).

Uma última configuração necessária é a de informar o cobrimento para as barras e o ponto de referência. Isso é feito nas “Opções de cálculo”, localizado na barra lateral. Ao

clicar, a janela indicada na Figura 69 é aberta. Na guia “Geral” foi indicado o cobrimento adotado de 2,5cm e a referência os estribos transversais.

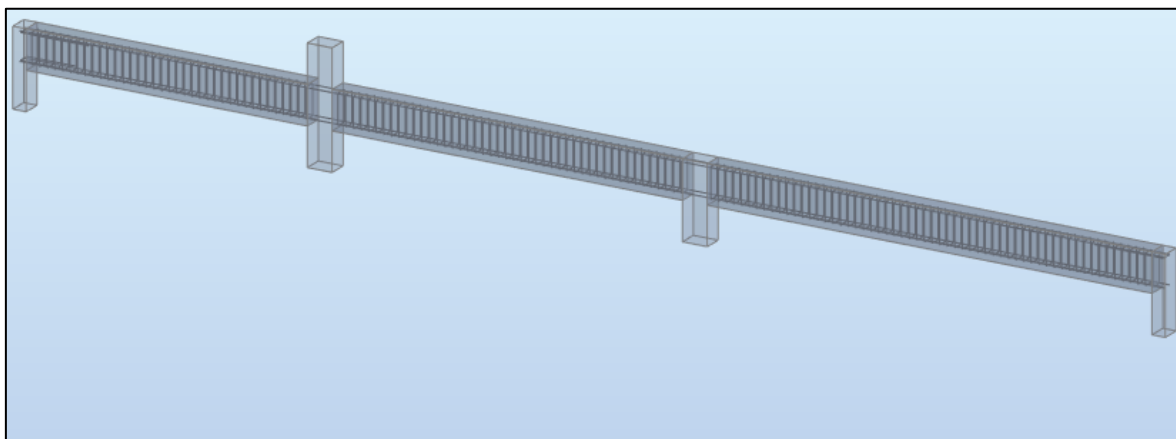
Figura 69 –Configurações para cobrimento e gerar armaduras



Fonte: Autoria própria (2020).

O resultado das armaduras para a viga é obtido ao clicar no botão de cálculo de armadura, na barra superior indicada na Figura 69. O resultado obtido em três dimensões é o mostrado na Figura 71.

Figura 70 –Resultado para armaduras



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 71 – Tabela resumo fornecida pelo ROBOT

	Grau do aço	Diâmetro (mm)	Código do formato	Número	Espaçamento (m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	CA50	12.5	00	2		A = 1,03								
2	CA50	6.3	31	37	1*0,18 + 36*0,08	A = 0,12	B = 0,32	C = 0,12	D = 0,32					
3	CA50	12.5	00	2		A = 2,71								
4	CA50	8	00	2		A = 2,50								
5	CA50	12.5	21	2		A = 0,73	B = 0,13	C = 0,73						
6	CA50	12.5	21	1		A = 0,51	B = 0,13	C = 0,51						
7	CA50	12.5	00	2		A = 6,68								
8	CA50	6.3	31	89	1*3,39 + 45*0,08 + 1*0,33 +	A = 0,12	B = 0,32	C = 0,12	D = 0,32					
9	CA50	12.5	00	2		A = 4,29								
10	CA50	12.5	00	2		A = 3,36								
11	CA50	12.5	00	2		A = 1,84								
12	CA50	12.5	00	2		A = 3,16								
13	CA50	8	00	2		A = 3,18								

Fonte: Autoria própria (2020).

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 COMPARAÇÕES DOS RESULTADOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL

6.1.1 Momentos das lajes

No trabalho foram seguidos dois processos distintos de cálculo. Um manual e outro onde a modelagem foi feita sem alteração das condições de vinculação de forma a buscar a igualdade com o processo anterior. Para visualizar melhor o quanto esses resultados podem ser diferentes, foi montada a Tabela 27, de comparação, a confrontando os resultados obtidos manualmente na Tabela 19 – Momentos e reações para lajes armadas em uma direção e na Tabela 20 – Momentos para lajes armadas em duas direções com os obtidos por meio do *software*, da seção 5.4.5.1, exemplificado na Figura 63.

Tabela 27 – Resumo de resultados – momentos lajes

Laje	Sentido local	Momento (kN.m)/m					
		Utilizando manual			Processo ROBOT®		
		Negativo	Positivo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo
Laje 1	x	0,00	3,00	-7,16	-1,21	2,46	-3,93
	y	0,00	2,56	-6,55	-3,93	1,88	-3,32
Laje 2	x	0,00	2,71	-6,55	-0,87	1,67	-3,31
	y	-5,72	2,11	-5,72	-3,73	1,10	-1,90
Laje 3	x	0,00	2,11	-5,41	-1,16	1,44	-0,73
	y	-6,11	2,58	-6,11	-1,72	1,22	-2,98
Laje 4	x	0,00	8,00	0,00	-26,56	6,81	0,39
	y	-20,56	8,84	0,00	-16,08	-2,33	-3,36
Laje 5	x	0,00	2,84	-6,26	-0,69	1,53	-3,44
	y	-5,00	1,64	0,00	-2,28	1,12	-1,16
Laje 6	x	-0,52	0,92	0,00	-1,44	0,00	-4,27
Laje 7	x	-1,06	0,53	-1,06	-1,38	0,00	-0,95
Laje 8	x	0,00	2,97	0,00	-1,21	1,55	-1,10
	y	-6,83	2,85	0,00	-1,59	1,27	-1,07

Fonte: Autoria própria (2020).

É possível observar que os valores do cálculo manual apresentam a tendência de serem maiores. Ao comparar os valores absolutos correspondentes, 64% das vezes os valores manuais foram maiores. Em contrapartida, das 36% das vezes que os resultados por meio do software foram maiores, 87% foram em casos que o momento negativo foi considerado nulo, pela imposição da condição de apoio. Essa diferença ocorre pelas condições de redistribuição de esforços que o software consegue calcular de forma mais precisa. Vale salientar que os valores dos momentos, para efeito de dimensionamento, consideram mínimos, conforme 3.3.11.

Porém, também é visível a tendência que os resultados acompanhem uma mudança de valores de forma proporcional. Essa condição pode ser visualizada a partir da Tabela 28, com valores normalizados para cada condição (manual e com software) entre 0 e 100%.

Tabela 28 – Resumo de resultados - normalizado

Laje	Sentido local	Momento normalizado					
		Utilizando manual			Processo ROBOT®		
		Negativo	Positivo	Negativo	Negativo	Positivo	Negativo
Laje 1	x	70%	80%	46%	76%	87%	68%
	y	70%	79%	48%	68%	85%	70%
Laje 2	x	70%	79%	48%	77%	85%	70%
	y	50%	77%	50%	68%	83%	74%
Laje 3	x	70%	77%	52%	76%	84%	77%
	y	49%	79%	49%	74%	83%	71%
Laje 4	x	70%	97%	70%	0%	100%	81%
	y	0%	100%	70%	31%	73%	70%
Laje 5	x	70%	80%	49%	78%	84%	69%
	y	53%	76%	70%	73%	83%	76%
Laje 6	x	68%	73%	70%	75%	80%	67%
Laje 7	x	66%	72%	66%	75%	80%	77%
Laje 8	x	70%	80%	70%	76%	84%	76%
	y	47%	80%	70%	75%	83%	76%

Fonte: Autoria própria (2020).

6.2 Viga

6.2.1 Momento fletor

Para o momento fletor, a comparação se dá a partir do resultado obtido para a execução manual (Figura 10) e via software (Figura 65). O resumo dos resultados pode estar resumidos na Tabela 29.

Tabela 29 – Resumo de resultados – momentos viga V03

TRECHO	Md (kN.m)		
	Manual	ROBOT®	Diferença Relativa
P8	-26,44	-1,91	92,78%
P8-P9	11,12	19,18	42,03%
P9	-34,42	-20,80	39,57%
P9-P10	14,04	6,03	57,04%
P10	-51,57	-32,08	37,79%
P10-P11	18,59	19,42	4,27%
P11	-33,39	-14,43	56,78%

Fonte: Autoria própria (2020).

A comparação dos valores mostra uma maior discrepância para os valores obtidos nos momentos negativos. Mostra a diferença que ocorre pela consideração de rigidez dos pilares. Além disso, ao fazer a análise, é possível perceber que, no Robot®, ao fazer a análise de um elemento, não foi considerado o valor das reações das vigas, que no manual foram consideradas apoiadas em V03 (V07, V09 e V11).

6.2.2 Esforço cortante

Para os esforços cortantes, a comparação se dá a partir do resultado obtido para a execução manual (Figura 11Figura 10) e via software (Figura 66). O resumo dos resultados pode estar resumidos na Tabela 30.

Tabela 30 – Resumo de resultados – cortantes viga V03

TRECHO	Vd (kN)		
	Manual	ROBOT®	Diferença Relativa
P8	53,71	28,50	46,94%
P9-antes	-42,51	-39,04	8,16%
P9-depois	63,42	23,36	63,17%
P10-antes	-44,47	-38,80	12,75%
P10-depois	72,55	40,28	44,48%
P11	-38,94	-30,21	22,42%

Fonte: Autoria própria (2020).

Assim como na seção anterior, os resultados apresentaram a mesma tendência de valores menores para o software. As diferenças continuam seguindo a mesma lógica de redistribuição dos esforços, mais precisas no software.

6.2.3 Comparação da área de aço

A comparação da área de aço é feita a partir dos resultados obtidos manualmente, para a área de aço longitudinal (Tabela 25) e pelo software (seção 5.4.6). O resumo da comparação está na Tabela 31.

Tabela 31 – Comparação de aços longitudinais utilizados

Trecho	Positivo/Negativo	Manual		ROBOT®	
		Φ (mm)	Quantidade	Φ (mm)	Quantidade
P8	N	12,5	2	12,5	2
P8-P9	P	8	2	12,5	2
P9	N	12,5	2	12,5	2
P9-P10	P	8	2	12,5	2
P10	N	12,5	3	12,5	2
P10-P11	P	10	2	12,5	2
P11	N	12,5	2	12,5	2

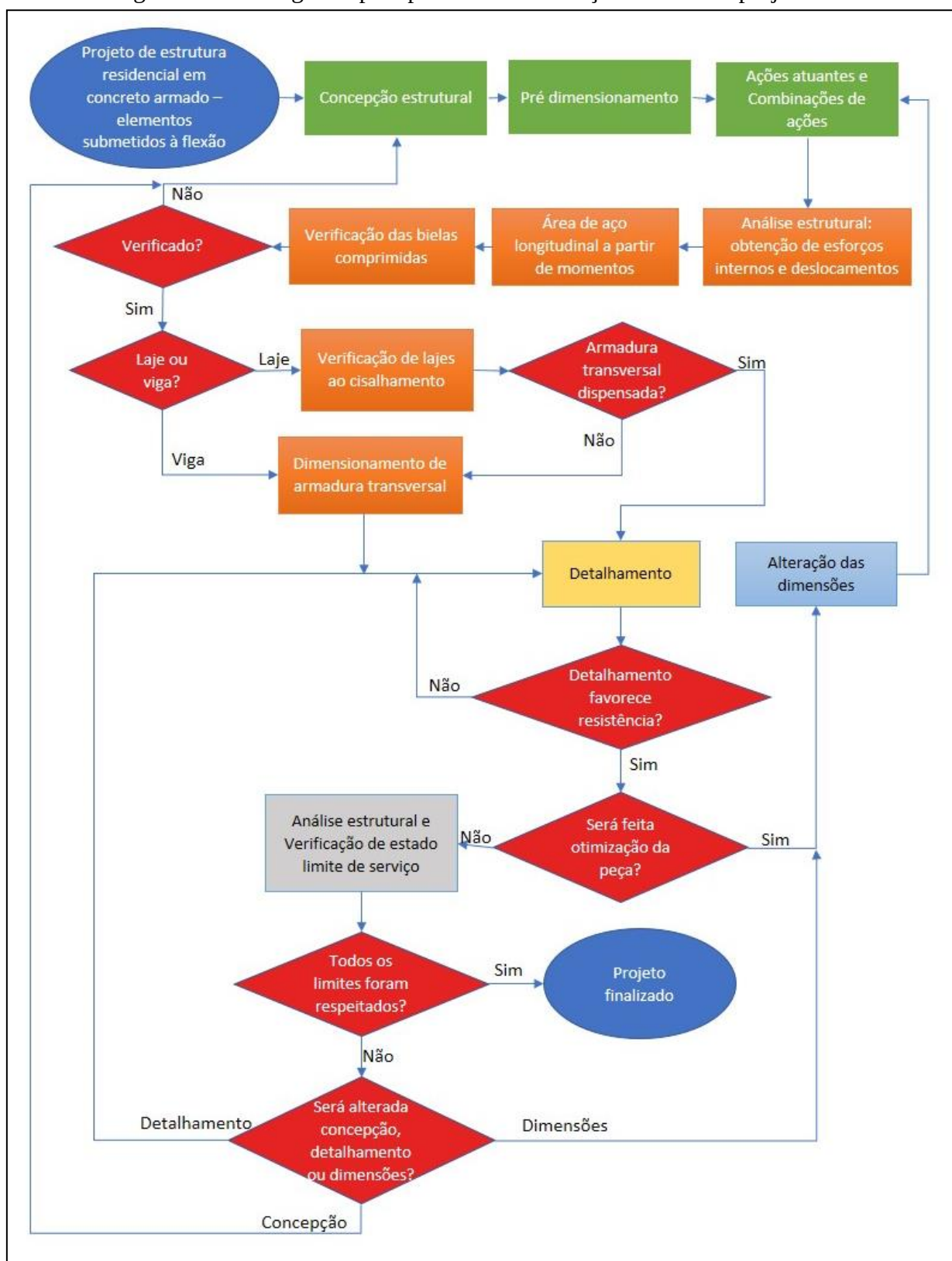
Fonte: Autoria própria (2020).

É possível perceber o uso das barras padronizadas para o software. Fato que ocorre pelas configurações de evitar mudanças de tamanho de barras (condição de execução). A diferença mais significativa se deu no pilar P10, onde no manual se observou a necessidade de três barras. Essa diferença mostra claramente a possibilidade de impacto financeiro devido as diferenças dos processos. A observação sobre a diferença dos momentos negativos foi feita na seção 6.2.1.

6.3 Do processo de desenvolvimento do projeto

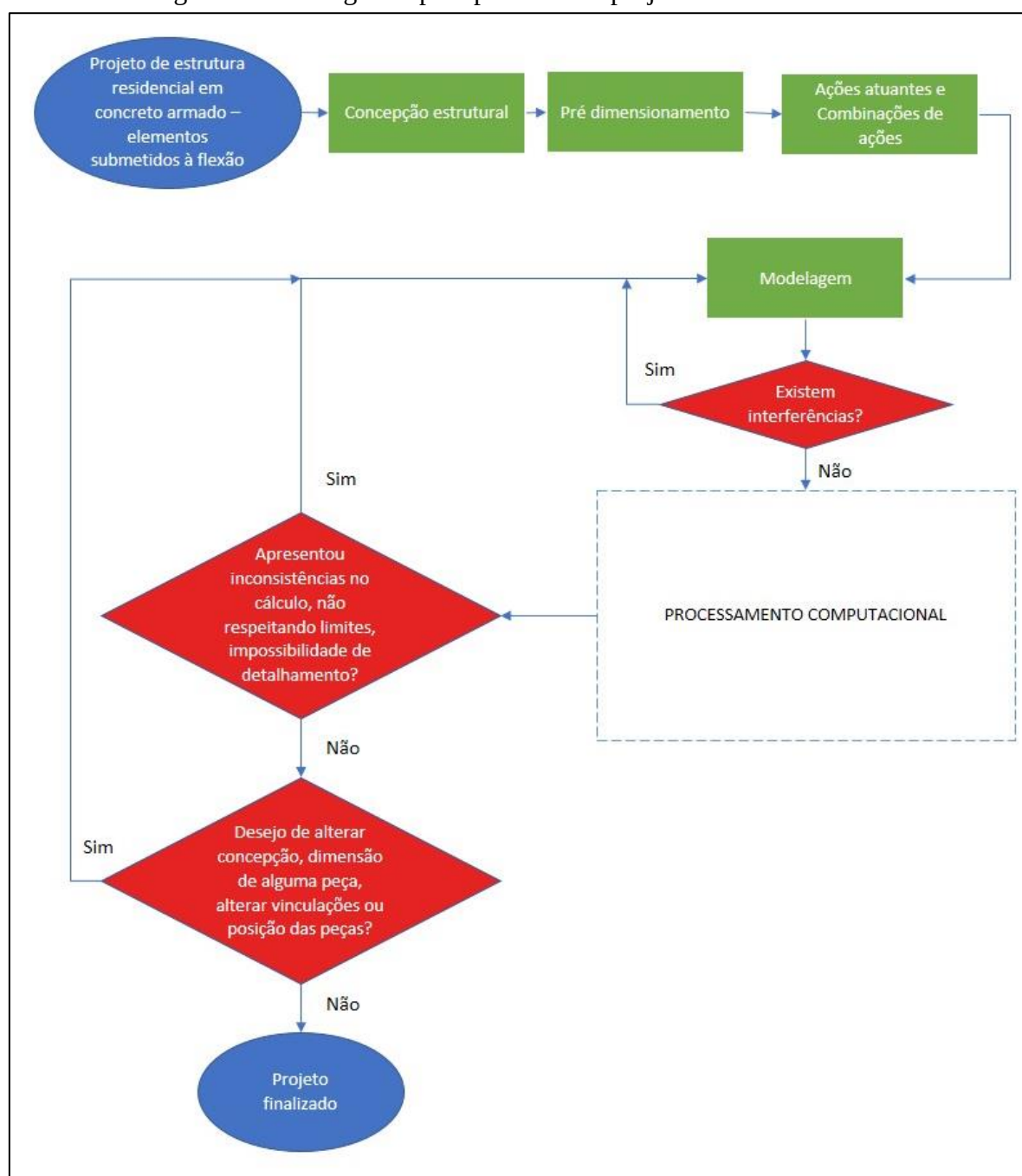
Como uma tentativa de analisar comparativamente, foram criados dois fluxos para processos de projeto para elementos sujeitos à flexão de uma residência comum. O primeiro deles representa o processo realizado sem o auxílio computacional e seu poder de processamento e promover inúmeras iterações para análises estruturais, dimensionamentos e verificações. Já o segundo processo representa a possibilidade de execução para obtenção do mesmo produto final, com o auxílio de software em etapas de análise e verificação o modelo, ou seja, todos os elementos estruturais em conjunto, a partir da programação lógica do software. Os fluxos são apresentados a seguir.

Figura 72 – Fluxograma para processo de execução manual do projeto



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 73 –Fluxograma para processo de projeto com uso do BIM



Fonte: Autoria própria (2020).

No que diz respeito aos fluxogramas apresentados neste trabalho, não há uma tentativa de demonstrar o caminho único, ou ideal, de melhor eficiência e eficácia que possa ser seguido. A intenção é de apresentar um sequenciamento de etapas de forma um pouco mais simplificada e visível, para que possam ser interpretados, analisados e que permita a comparação.

Em relação às etapas, existem algumas que, de certa forma, a própria ABNT NBR 6118/2014 estrutura em tópicos. São elas os dimensionamentos e verificações para estados limite último e de serviço, além dos detalhamentos. Todavia, não há determinação de sequência. A literatura mostra diversas formas usuais de abordagem dessas etapas, criando passos de um projeto. Os fluxogramas criados são baseados em sequências comumente usadas.

6.3.1 Etapas comuns: idealizações do projetista

Os passos iniciais são comuns aos dois fluxos apresentados. Representam etapas de criação, em que o fator humano, a partir do conhecimento e da experiência, têm importância fundamental. Esses passos podem influenciar tanto na estrutura quanto a própria qualidade da análise, dimensionamentos e verificações.

A primeira dessas é a concepção estrutural. Neste passo foram consideradas atividades de determinação do tipo de estrutura, dos materiais, com suas propriedades. Também é o momento de definição do posicionamento dos elementos estruturais. No caso manual, também deve ser definida um diâmetro inicial para o aço, para que a altura útil possa ser determinada. A segunda é a etapa de pré-dimensionamento, na qual, são especificadas as dimensões iniciais, a partir de fórmulas, junto ao conhecimento e razoabilidade do projetista. Essas dimensões são necessárias para definição dos carregamentos próprios, utilizados na etapa seguinte. A terceira etapa é a definição das ações atuantes. Tem influência significativa do projetista, por ter em sua composição o peso próprio, determinado no pré-dimensionamento, como também por precisar de definições de uso e observação de possíveis elementos que possam gerar carregamentos permanentes.

6.3.2 Etapas diferentes – fluxo de projeto manual

6.3.2.1 Análise estrutural

A partir da fase da análise da estrutura é possível notar diferença entre os fluxos em questão. É nessa etapa que ocorre a determinação dos esforços internos e deslocamentos.

Talvez uma das atividades responsáveis por dar o nome de “calculista” aos que executam projetos estruturais, mas que, não necessariamente, é executada diretamente por essas pessoas. Tabelas, planilhas elaboradas ou até mesmo softwares simples para essas determinações podem ser utilizados como auxílio. De qualquer forma, é importante que se haja o conhecimento de qual método está sendo utilizado, e as premissas para que estes possam ser aceitos. Como por exemplo, que o concreto não é considerado no cálculo como resistente a nenhum esforço de tração e que no caso da análise linear que, segundo a ABNT NBR 6118/2014, é usualmente utilizada para verificações de estados limite de serviço, mas que pode ser utilizada para estados último se garantida as condições de ductilidade, pelos limites de posição da linha neutra.

O primeiro quadro de análise estrutural é antecessor direto de etapas de dimensionamento de área de aço para estado limite último. Essa análise está relacionada com a obtenção de momentos internos e esforços cortantes. Os deslocamentos são calculados e utilizados na etapa de verificação para estados limite de serviço.

6.3.2.2 Área de aço

Continuando com as atividades relacionadas ao Estado Limite Último, o dimensionamento do aço longitudinal é uma etapa que se diz qual a área de aço necessária para que o esforço resistente seja menor que o esforço solicitante. No cálculo são utilizadas condições estabelecidas na concepção, como diâmetro inicial do aço, propriedades físicas e geométricas do elemento estrutural. Muitas vezes entendida como uma área de aço que deva ser utilizada, na verdade é um valor mínimo para a mesma. A área adotada será um múltiplo de área da barra de aço adotada, provavelmente diferente da calculada.

6.3.2.3 Verificação de esforços cortantes

A etapa seguinte é de verificação para esforços cortantes obtidos a partir de combinações para estado limite último, mais especificamente das bielas comprimidas, que depende de dimensões e da resistência do concreto. Caso não atenda, deverão ser mudados parâmetros que foram decididos a partir da etapa de concepção estrutural. Vale salientar que essa verificação pode ser feita anteriormente a outros dimensionamentos. Na sequência,

ainda para os mesmos esforços são analisadas lajes, que podem ter sua armadura transversal dispensada, diferente das vigas, que também precisam atender a uma taxa mínima de aço.

6.3.2.4 Detalhamentos

Após etapas de Estado Limite Último, poderão ser feitos detalhamentos. Os critérios de detalhamento podem, em algum momento, restringir as escolhas feitas. Por exemplo, um diâmetro de barra que não possa ser utilizado em uma laje devido altura da mesma. Caso um critério reduza a área de aço, consequentemente a resistência, outros critérios deverão ser utilizados para compensar. Pode haver casos em que a peça não tenha condições de atender ao detalhamento, precisando voltar à etapas de pré-dimensionamento.

Uma atividade que pode ser realizada é a otimização dos elementos, ao reduzir alturas, e manter o momento resistente maior do que o solicitante. Pode trazer economia de material. Ao reduzir alturas, apesar da resistência ser reduzida, o carregamento devido peso próprio também é reduzido. É um processo iterativo. A etapa em que é feita é um critério do projetista. Entretanto, deve ser observada a manutenção do atendimento de todos os critérios já vistos.

6.3.2.5 Estado Limite de Serviço

As etapas de verificação de estado limite de serviço estão resumidas a um único quadro para favorecer a visualização. Todavia, outros fluxogramas poderiam ser criados exclusivamente para exemplificar o processo. Os valores de deslocamento são utilizados a partir de combinações diferentes das utilizadas no estado limite último. A rigidez do elemento também deve levar em consideração a fissuração, a partir da inércia equivalente de Branson. As verificações principais são para deformação excessiva, vibrações e aberturas de fissura.

Apesar de, usualmente serem feitas verificações de serviço após as últimas, o inverso também pode ocorrer. O objetivo final é que a peça consiga atender aos critérios estabelecidos, todos ao mesmo tempo. Caso os critérios de estado limite de serviço não sejam atendidos, fica a critério do projetista definir em que etapa ele fará alterações em busca de melhorar o funcionamento do elemento estrutura. São etapas possíveis a concepção, detalhamento ou alteração das dimensões.

6.3.2.6 Finalização do projeto

A fluxograma mostra que, ao final das verificações, com o atendimento de todos os critérios, é possível finalizar o projeto. Deve-se entender o projeto finalizado, para o fluxograma, como uma etapa em que não serão mais necessárias definições. Todavia, se deve lembrar que o projeto inclui sua apresentação visual em pranchas, incluindo quadros e observações que transmitem todas as informações necessárias para o executor.

Vale salientar que, mesmo que os critérios tenham todos sido verificados, não há impedimento para que nenhuma etapa seja refeita, em busca de um melhoramento do funcionamento da estrutura.

6.3.3 Análise de fluxograma com auxílio computacional

A primeira atividade da sequência que torna o fluxograma em questão diferente é a modelagem. Transformar todas as ideias em um modelo exige conhecimento e domínio das ferramentas disponíveis nos softwares. Esse ato é o equivalente a transmitir todas as ideias para o software, que posteriormente fará todas as análises as quais fora programado.

Após a modelagem há o processamento computacional. No fluxograma, a etapa está simplificada, de forma intencionalmente, para demonstrar que apesar de poder participar das programações, durante a execução do processo em si é totalmente responsável pelo equipamento utilizado.

É usual que os softwares emitam erros caso não consigam dimensionar para atender os carregamentos gerados pelas combinações para estado limite último e avisos para os estados limite de serviço. Também é possível que não sejam possíveis combinações que atendam às regras de detalhamento. A partir desse momento volta a necessidade de conhecimento técnico, para voltar à modelagem e alterar características necessárias para que, após nova análise, o critério antes descumprido seja atendido.

6.3.4 Comparações

A partir dos fluxogramas, uma primeira conclusão é que não se pode promover uma ideia que os projetos de estrutura podem ser executados sem a necessidade de conhecimento e experiência daquele que o faz. Esse argumento é sustentado a partir da observação das etapas iniciais. Apesar de ferramentas poderosas para análises e dimensionamentos, atualmente, os softwares não criam as estruturas. O ideal é que seja executada a análise de uma que seja razoável, adequada, segura e de execução possível. E para que isso aconteça a localização, a geometria, dimensões iniciais, propriedades e cargas atuantes que são determinadas pelo projetista devem suficientemente adequadas.

Também é visível a vantagem quanto à velocidade do processo com auxílio computacional. Após a fase de concepção, pré-dimensionamento, determinação das ações atuantes e a criação do modelo todos os processos são simplificados e se tornam tão rápidos na quanto a capacidade de processamento de um computador comparado a um ser humano.

Além do mais, é aparente a capacidade permitir uma estrutura mais econômica com o uso dos softwares, pelos resultados obtidos para os esforços internos. Isso acontece pelo fato de que conseguem considerar melhor a redistribuição de esforços, além de terem uma alta capacidade de processamento, buscando de forma mais simples a otimização. O processo manual, quando bem executado, leva geralmente a um acúmulo de considerações que favorecem a segurança, porém, reduzem a economia. O orçamento para uma estrutura de concreto armado pode ter diferenças significativas, quando considerados os dois casos.

Outro ponto que gera muito impacto, são as configurações necessárias aos softwares. Aquelas relacionadas aos detalhamentos afetam diretamente na questão financeira, também executiva. Por exemplo, caso não determinada condição de uniformidade, as barras podem ser calculadas para cumprir o mínimo possível da área de aço, implicando em diversos diâmetros diferentes, prejudicando aquisição e execução.

Por fim, os processos não podem ser vistos como concorrentes, mas como complementares, sendo o manual uma base para qualquer outro. Deve existir a opção da execução manual quando a situação for adequada, seja para elementos simples ou no cotidiano de uma obra. A opção de uso de softwares é utilizada quando se necessita de mais agilidade, principalmente, em projetos complexos. As decisões de concepção, pré-dimensionamento serão melhores ao passo que o conhecimento técnico do que acontece em

cada etapa for mais apurado. Caso contrário, o software poderá até mesmo gerar um distanciamento do conhecimento técnico.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 CONCLUSÃO

A abordagem final do trabalho será feita sob diferentes aspectos. O primeiro deles trata do processos de execução de um projeto. Independente da forma, estes são muito dependentes do fator humano, mesmo com uso do BIM. Foi possível perceber isso desde as decisões iniciais, na escolha do tipo de estrutura abordada no trabalho, em concreto armado, até o final das atividades executadas. Também existem definições que dependem da observação de fatores externos, como o tipo do ambiente, materiais e mão de obra disponíveis, que são bastantes significativos em um projeto que vá ser executado de fato.

No procedimento da execução manual das partes abordadas, o que se percebeu foi uma dependência bastante significativa do fator humano, o que aumentou as chances de erro, dificuldade e diminuiu a celeridade. Também no processo com uso do BIM a influência do usuário é significativa, todavia, de uma forma diferente. Apesar das análises para determinação dos esforços internos e deslocamentos serem feitas computacionalmente, estas são executadas para o modelo que é disponibilizado. Como a modelagem é feito pelo usuário, acaba por se tornar uma etapa de importância fundamental. Foi vista a necessidade muito grande do conhecimento das ferramentas e configurações.

Em relação à comparação dos resultados de momentos e área de aço para viga, fica claro que sempre surgirão diferenças ao seguir um processo direto, no qual não se tenta buscar uma convergência forçada dos valores finais.

Por fim, o último dos aspectos trata da metodologia utilizada, principalmente na modelagem e integração do Revit® com o Robot®. Diferente de outros *softwares* comerciais utilizados no Brasil, os *softwares* da Autodesk podem ser facilmente acessados com licenças estudantis, facilitando o acesso para estudantes no período de aprendizagem. Apesar do Robot® não possuir configurações para a ABNT NBR 6118/2014, permite que diversas dessas sejam feitas a fim de que os requisitos possam ser atendidos. Isso pode ser visto como uma dificuldade, todavia como uma forma de aproximar o usuário do processo, evitando que apenas apertem os botões que geram os resultados finais. Desse ponto de vista, o trabalho pode ser visto como uma fonte de informações para estudantes que queiram se utilizar dessas ferramentas.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como possível trabalho futuro temos a proposta de utilizar o *Software* ROBOT® para fazer uma análise quantitativa, verificando diferenças que possam impactar, inclusive, financeiramente, comparado tanto a processos manuais como outros *softwares*. Também surge a possibilidade de fazer a análise para mais elementos, como pilares. É possível também fazer uma análise mais minuciosa, a partir das configurações e das considerações feitas pelo próprio *software* para descobrir possíveis diferenças que possam surgir entre análises manuais ou com outros softwares.

8. REFERÊNCIAS

ANDRADE, Max Lira Veras X.; RUSCHEL, Regina Coeli. Interoperabilidade de Aplicativos BIM Usados em Arquitetura por Meio do Formato IFC. **Gestão e Tecnologia de Projetos: Tecnologias Digitais, Documentação e Gestão do Patrimônio Arquitetônico e Urbanístico**, São Carlos - SP, v. 4, ed. 2, novembro 2009. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50960>. Acesso em: 2 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AUTODESK. **Create resilient, constructible designs connected to BIM**. 2020 Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview?plc=AECCOL&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1#internal-link-buy>. Acesso em 08 out. 2020.

AUTODESK. **Famílias do Revit**. 2020 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Model/files/GUID-4EBB97AD-C7B6-4828-91EB-BC0E99B81E43-htm.html>. Acesso em 09 out. 2020.

AUTODESK. **Sobre o Revit**. 2020 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-D8835F8E-1330-4DBC-8A55-AF5941056C58-htm.html>. Acesso em 07 out. 2020.

AUTODESK. **Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica**. 2019 Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Revit-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html>. Acesso em 06 out. 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Flexão composta e pilares de concreto armado**: notas de aula. Bauru, SP: UNESP, 2015. Disponível em: <https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>. Acesso em: 03 set 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Vigas de concreto armado**: notas de aula. Bauru, SP: UNESP, 2017. Disponível em: <https://wwwp2.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Vigas.pdf>. Acesso em: 03 set 2020.

BRASIL. **Decreto nº 9377, de 17 de maio de 2018.** Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling, 17 maio 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9377.htm. Acesso em: 10 jun. 2020.

CARMO, S. L. C. **Automação de detalhamento de peças padronizadas em concreto armado via CAD e programação orientada a objetos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 110. 2001. Disponível em: <http://www.pos.dees.ufmg.br/defesas/78M.PDF>. Acesso em 12 set 2020.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2014.** 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CRESPO, C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: **um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto.** In: III Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil, 2007, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2007. p. 1- 9.

EASTMAN, Chuck. *et al.* **Manual de Bim:** um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Tradução de Cervantes Gonçalves Ayres Filho, et al. Porto Alegre: Bookman, 2014.

FONTES, F.F.; PINHEIRO, L. M. Tipos de análise estrutural para elementos lineares segundo a NBR 6118:2003. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 11, n. 48, p. 117-141, 2012. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova-versao/pdf/cee52_117.pdf. Acesso em 09 set. 2020.

FUSCO, P. B.; ONISH, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto.** São Paulo: Cengage, 2017.

HILGENBERG, F. B.; ALMEIDA, B. L.; SCHEER, S.; AYRES F.; C. G. Uso de BIM pelos profissionais de arquitetura em Curitiba. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 7, n. 1, p. 62-72, maio. 2012. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/51020/55087>. Acesso em 09 set. 2020.

KIMURA, Alio. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado:** Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. São Paulo: Pini, 2007.

MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com uso do BIM.** Orientador: Silvio Burratino Melhado. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08072014-124306/publico/TESE_LEONARDO_MANZIONE.pdf. Acesso em: 2 abr. 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (BRASIL). **Estratégia BIM BR:** Estratégia Nacional de Disseminação do

Building Information Modelling – BIM. Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>. Acesso em 26 de mai. 2020.

NUNES, G.H.; LEÃO, M. **Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM**. Revista de Engenharia Civil, v. 55, p. 47-61, 3 jul. 2018. Disponível em: <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.47-61.pdf>. Acesso em: 27 maio 2020.

OLIVEIRA, J. I. F.; MIRANDA, A. C. O. **Otimização estrutural com uso de algoritmo genético multiobjetivo**. In: Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. XXXVIII., 2014. Florianópolis. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/A_Miranda/publication/321062060_OTIMIZACAO_ESTRUTURAL_COM_USO_DE_ALGORITMO_GENETICO_MULTIOBJETIVO/links/5a0b4d740f7e9b0cc0254b39/OTIMIZACAO-ESTRUTURAL-COM-USO-DE-ALGORITMO-GENETICO-MULTIOBJETIVO.pdf. Acesso em: 16 out. 2020.

PARIZOTTO, Liana. **Concreto Armado**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020917/cfi/1!/4/4@0.00:34.1>. Acesso em: 20 out. 2020.

PINHEIRO, A. C. F. B.; CRIVELARO, M. **Fundamentos de resistência dos materiais**. 1. ed. São Carlos: LTC, 2019.

PIZA, Isabella Faria. **Roteiro de Modelagem Estrutural Utilizando a Tecnologia BIM, Desde a Modelagem no Revit até a Análise Estrutural no Robot**. Orientador: Angelo Giovanni Bonfim Corelhano. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Paraná. 2017.

SILVA, R. **Método numérico, analítico e experimental**: Concorrentes ou complementares na Engenharia. Engineering Simulation and Scientific Software, 2017. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/simulacao-numerica-metodo-analitico-experimental-concorrentes-ou-complementares-na-engenharia/>. Acesso em: 26 mai. 2020.

SILVA; G. F. G; OLIVEIRA, M. S. **Estudo comparativo entre o software Revit e métodos convencionais para levantamentos de quantitativos**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) –Centro Universitário CESMAC. Maceió 2019. Disponível em: <https://ri.cesmac.edu.br/bitstream/tede/418/1/Estudo%20comparativo%20entre%20o%20software%20revit%20e%20metodos%20convencionais%20para%20levantamentos%20de%20quantitativos.pdf>. Acesso em 10 out 2020

SOUZA, R. S.; ALMEIDA, V. S., SIMONETTI, H. L. **Otimização estocástica via MEF para o procedimento de decisão do posicionamento ótimo dos apoios**. In: Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. XXXVIII., 2014. Florianópolis. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Helio_Simonetti2/publication/340571405_OTIMIZACAO_ESTOCASTICA_VIA_MEF_PARA_O_PROCEDIMENTO_DECISAO_DO_POSICIONAMENTO_OTIMO_DOS_APOIOS_HEURISTIC_OPTIMIZATION_VIA_FEM_FOR_PROCEDURE_DECISION_OF_THE_OPTIMAL_POSITIONING_OF_THE_SUPP

ORTS/links/5e91595e4585150839d23750/OTIMIZACAO-ESTOCASTICA-VIA-MEF-PARA-O-PROCEDIMENTO-DECISAO-DO-POSICIONAMENTO-OTIMO-DOS-APOIOS-HEURISTIC-OPTIMIZATION-VIA-FEM-FOR-PROCEDURE-DECISION-OF-THE-OPTIMAL-POSITIONING-OF-THE-SUPPORTS.pdf. Acesso em: 16 out. 2020.

SUCCAR, Bilal. **User Integrated Performance Assessment: From BIM Wash to BIM Wxcellence**. In: BIM Exchange Group, 2015, Singapura. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PxjBC1m1Kls>. Acesso em: 12 set 2020

TARRAFA, Diogo Gonçalo Pinto. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas**. Orientador: Daniel Antnio Semblano Gouveia Dias-da-Costa. 2012. Dissertao (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2012.

VELLOSO, Fernando de Castro. **Informática: Conceitos Básicos**. 10. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=yFcaBQAAQBAJ&oi. Acesso em 11 set 2020.

WASH BIM. In: BimDictionary. Disponível em: <https://bimdictionary.com/>. Acesso em: 12 set 2020.