



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

JÚLIA RACKEL DE ARAÚJO MELO

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO
DIMENSIONAMENTO, ANÁLISE E DETALHAMENTO DE ESTRUTURA –
ESTUDO DE CASO DE RESIDENCIA UNIFAMILIAR**

ANGICOS

2021

JULIA RACKEL DE ARAÚJO MELO

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO
DIMENSIONAMENTO, ANÁLISE E DETALHAMENTO DE ESTRUTURA –
ESTUDO DE CASO DE RESIDENCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Marcilene Vieira da
Nóbrega

ANGICOS

2021

© 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.

M528i Melo, Júlia Rackel de Araújo.
Influência da aplicação da metodologia BIM no dimensionamento, análise e detalhamento de estrutura ? estudo de caso de residência unifamiliar / Júlia Rackel de Araújo Melo. - 2021.
43 f. : il.

Orientadora: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2021.

1. Modelagem da Informação da Construção. 2. Distribuição de Cargas. 3. Métodos Analíticos. 4. Autodesk Robot. I. Nóbrega, Marcilene Vieira da , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JÚLIA RACKEL DE ARAÚJO MELO

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NO
DIMENSIONAMENTO, ANÁLISE E DETALHAMENTO DE ESTRUTURA -
ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 16 / 11 / 2021.

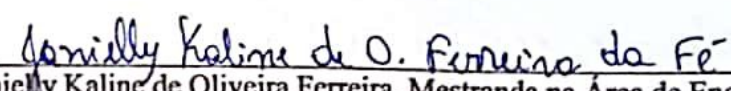
BANCA EXAMINADORA

**Marcilene Vieira
da Nóbrega**

Assinado de forma digital por
Marcilene Vieira da Nóbrega
Dados: 2021.11.19 13:27:30 -03'00'

Marcilene Vieira da Nóbrega, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente


Rogério Taygra Vasconcelos Fernandes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador


Janielly Kaline de Oliveira Ferreira, Mestranda na Área de Engenharia de Materiais/
(UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, em especial minha mãe e minha irmã, Sueli e Hayanne, pelo amor incondicional, por nunca me deixarem desanimar, por sempre serem fortes por mim e cuidarem tão bem da minha saúde mental.

Agradeço ao meu namorado, Ariandson, por sempre acreditar em mim e por fazer a diferença na minha vida me dando incentivo e apoio dia-após-dia.

Agradeço ao meu cunhado e amigo, Savio, pelo apoio e incentivo.

Agradeço aos meus amigos queridos por caminharem ao meu lado e me motivarem a sempre ser a minha melhor versão.

Agradeço à minha orientadora por estar sempre presente, por compreender e apoiar minha ideia desde o primeiro dia e por estar sempre me motivando, aconselhando e incentivando.

Agradeço a Banca Examinadora por toda disponibilidade, atenção e respeito.

Faça o teu melhor, na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores,
para fazer melhor ainda.

Mario Sergio Cortella

RESUMO

Com o impulsionamento do setor da construção civil e o aumento nos preços dos materiais, a necessidade de agilidade, qualidade e eficiência são fatores decisivos tanto para a competitividade no mercado de projetos quanto para a otimização e economia que os mesmos podem agregar no processo construtivo dos empreendimentos. Os clientes estão cada vez mais exigentes com relação a economia que bons projetos estruturais podem proporcionar. Para tal, a utilização de softwares para detalhamento e análise estrutural tem se tornado imprescindível para suprir a demanda do atual cenário da construção civil. Diante disso, o objetivo dessa pesquisa é compreender e estudar a influência da aplicação da metodologia BIM quanto a distribuição de cargas em estruturas. A pesquisa consistiu no desenvolvimento de um modelo arquitetônico e estrutural de uma residência de dois pavimentos através da utilização dos softwares Autodesk Revit e Robot Structural para a concepção e análise do comportamento da estrutura devido às cargas atuantes. Verificou-se então que a aplicação da metodologia permite ao projetista otimizar o tempo e os processos de dimensionamento, análise e detalhamento estruturais diante das cargas solicitantes. A partir destes resultados, pôde-se verificar a ocorrência de efeitos significativos no dimensionamento e análise da estrutura, principalmente em relação ao tempo dedicado ao desenvolvimento do projeto estrutural, visto que através do software Autodesk Robot Structural foi possível desenvolver cálculos complexos em um tempo de realização da ordem de segundos, enquanto num projeto dimensionado manualmente esse tempo poderia ser de horas ou dias. Esse é o caso dos cálculos de momento fletor, onde verificou-se todos os momentos fletores nos pórticos da estrutura em aproximadamente 30 segundos e percebeu-se rapidamente que o momento máximo é de 23,9 tf.m.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Distribuição de Cargas. Métodos Analíticos. Autodesk Robot.

ABSTRACT (OPCIONAL)

With the boost in the civil construction sector and the increase in material prices, the need for agility, quality and efficiency are decisive factors both for competitiveness in the project market and for the optimization and economy that they can add to the construction process of enterprises. Customers are increasingly demanding about the savings that good structural projects can provide. For this, the use of software for detailing and structural analysis has become essential to meet the demand of the current civil construction scenario. Therefore, the objective of this research is to understand and study the influence of the application of the BIM methodology on the distribution of loads in structures. The research consisted in the development of an architectural and structural model of a two-story house through the use of Autodesk Revit and Robot Structural software for the design and analysis of the behavior of the structure due to the acting loads. It was verified then that the application of the methodology allows the designer to optimize the time and the processes of dimensioning, analysis and structural detailing in face of the requesting loads. From these results, it was possible to verify the occurrence of significant effects in the dimensioning and analysis of the structure, mainly in relation to the time dedicated to the development of the structural project, since through the Autodesk Robot Structural software it was possible to develop complex calculations in a time of performance on the order of seconds, while in a manually scaled project this time could be hours or days. This is the case of the bending moment calculations, where all the bending moments in the frames of the structure were verified in approximately 30 seconds and it was quickly noticed that the maximum moment is 23.9 tf.m.

Keywords: Building Information Modeling. Distribution of Loads. Analytical Methods. Autodesk Robot.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Planta Baixa do Pavimento Térreo.....	12
Figura 2	–	Planta Baixa do 1º Pavimento.....	13
Figura 3	–	Ilustração 3D Arquitetônico da Edificação Unifamiliar.....	15
Figura 4	–	Modelo 3D Estrutural.....	16
Figura 5	–	Modelo Analítico da Edificação Unifamiliar.....	17
Figura 6	–	Configuração do Software para os valores do concreto de 25 MPa.....	18
Figura 7	–	Configuração do Software para os valores do Aço CA50.....	19
Figura 8	–	Definição de Carga das Paredes e do Telhado.....	20
Figura 9	–	Definição de Cargas da Caixa D'água e do Revestimento do Piso.....	21
Figura 10	–	Definição da Sobrecarga.....	22
Figura 11	–	Reações de apoio para a combinação de cargas.....	24
Figura 12	–	Momentos Resultantes da Aplicação das Cargas.....	25
Figura 13	–	Comportamento da estrutura quanto à flambagem.....	26
Figura 14	–	Detalhamento armaduras da viga mais solicitada.....	27
Figura 15	–	Detalhamento armaduras do pilar mais solicitado.....	28
Figura 16	–	Detalhamentos em 3D das armaduras do pilar e viga mais solicitados.....	28

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Características gerais dos métodos da Força e dos Deslocamentos.....	5
Quadro 2	–	Softwares BIM utilizados nas diferentes etapas do projeto da edificação....	7
Quadro 3	–	Fatores de segurança aplicados.....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Análise das estruturas e das transferências de cargas	3
2.1.1 As quatro subdivisões para a análise de estruturas moderna	3
2.1.1.1 Método das Forças	4
2.1.1.2 Método dos Deslocamentos	5
2.1.2 Combinações de Esforços	6
2.2 O Building Information Modeling (BIM) dentro do projeto de uma edificação	7
2.2.1 O conceito BIM	7
2.2.2 Softwares que compõem o BIM	8
2.2.3 Vantagens do projeto estrutural em BIM	10
2.2.4 Softwares BIM Utilizados	10
2.2.4.1 Autodesk Revit	10
2.2.4.2 Autodesk Robot Structural	11
2.2.5 Integração Revit Structure e Robot Structural	12
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	13
3.1 Caracterização do projeto utilizado	13
3.2 Elaboração do modelo arquitetônico ou modelo físico	14
3.3 Elaboração do modelo estrutural	14
3.4 Lançamento das cargas e combinações	15
3.5 Elaboração do modelo analítico e análise estrutural	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
4.1 Modelagem estrutural no Revit	16
4.1.1 Lançamento dos elementos estruturais	17
4.2 Análise no Robot Structural	19
4.2.1 Configurando o Software	19
4.3 Cargas na Estrutura	20
4.3.1 Cargas Permanentes	20
4.3.2 Cargas Variáveis	22
4.4 Efeitos das Cargas aplicadas na Estrutura	23
4.4.1 Reações de Apoio	23

4.4.2 Momento Fletor e Flambagem	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço repentino das tecnologias, a cada dia vem se tornando mais imprescindível que o engenheiro desenvolva habilidades como a manipulação correta dos mais diversos softwares, visto que o tempo empregado nos cálculos e detalhamentos é consideravelmente reduzido através de tais ferramentas. Neste cenário, o principal conceito que se difundiu foi o de Projeto Auxiliado por Computador (CAD – Computer Aided Design), que, a partir de 1971, vem ressignificando o âmbito da engenharia e mudando o mundo dos projetos (NAYRA BELLUOMINI, 2017).

Apesar da otimização considerável que os projetos auxiliados por computador representaram no ramo da engenharia, surge um avanço nos softwares que pode se tornar ainda mais significativo: o Building Information Modeling (BIM) ou modelagem da informação da construção.

O BIM consiste na modelagem da informação da construção em que todo o processo de criação e gerenciamento de informações para uma construção é realizado de maneira digital, a partir de um modelo inteligente. A metodologia BIM integra dados multidisciplinares de diversas bases para o desenvolvimento de um modelo digital completo, capaz de representar todos os processos de criação e gerenciamento de uma construção, permitindo ao projetista um controle muito mais preciso de todas as fases da construção (AUTODESK, s.d.).

Segundo Andréia Cardoso et al. (2012/13), o BIM surge como uma substituição as representações tradicionais em duas dimensões (2D) possibilitadas pelos modelos CAD e traz nessa inovação, a interoperabilidade entre diversos softwares com todos os projetos além de permitir perspectivas em três dimensões (3D) e informações sobre material, custo, resistências, orçamentação entre outras tantas coisas que não são possíveis nos modelos de projetos em CAD.

Neste sentido, o BIM vem ganhando cada vez mais adeptos entre os projetistas, arquitetos e engenheiros ao mesmo tempo em que os clientes se tornam mais conscientes e exigentes quanto a mitigação de erros, incompatibilidades de projetos e consequentemente elevação dos custos da obra.

Visto que a metodologia BIM possibilita a construção de um modelo digital semelhante ao que se almeja executar, é possível verificar e corrigir diversos problemas antes mesmo que estes aconteçam de fato. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo principal o estudo da distribuição de cargas e sua influência nas edificações executadas em BIM através de um modelo Industry Foundation Classes (IFC) com arquitetura desenvolvida nos softwares

Autodesk Revit e análise estrutural através do Autodesk Robot Structural, para que seja possível identificar os efeitos e/ou problemas mitigados através da modelagem da informação da construção.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estudar a influência da aplicação da metodologia BIM para dimensionamento, análise da distribuição de cargas e detalhamento de estruturas através da utilização dos softwares Autodesk Revit e Autodesk Robot Structural.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver o modelo arquitetônico no software Autodesk Revit;
- Desenvolver o modelo estrutural no software Autodesk Revit;
- Realizar o lançamento das cargas na estrutura para adequação e exportação do modelo para o software Robot Structural;
- Realizar a análise estrutural do modelo Industry Foundation Classes (IFC) através do software Autodesk Robot Structural;
- Compreender e analisar as vantagens e desvantagem do uso da metodologia BIM no dimensionamento e detalhamento de estruturas;
- Verificar a ocorrência ou não ocorrência de efeitos significativos na minimização de problemas e/ou efeitos no processo de distribuição de cargas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Análise das estruturas e das transferências de cargas

A análise estrutural é a fase de projeto na qual é possível fazer uma previsão de como a estrutura física irá se comportar diante das solicitações que agem sobre ela. Essa fase possibilita o dimensionamento adequado das estruturas mediante a análise de comportamento de um modelo tão aproximado do real quanto possível. Neste cenário, Martha (2017) caracteriza quatro subdivisões imprescindíveis para a análise de estruturas moderna: a estrutura real, o modelo estrutural, o modelo discreto e o modelo computacional. Dentre os quais, o modelo estrutural é uma fase de grande complexidade devido a sua importância durante todo o decorrer da análise de estruturas.

2.1.1 As quatro subdivisões para a análise de estruturas moderna

A estrutura real, é a primeira subdivisão e representa a estrutura real, tal qual é construída, ou seja, é o nível de abstração do mundo físico.

A segunda subdivisão é o modelo estrutural, também chamado de modelo matemático ou modelo analítico, é o modelo utilizado para representar matematicamente a estrutura real analisada. Trata-se, portanto, de uma aproximação matemática do modelo real ou físico onde é possível aplicar o uso das teorias da análise estrutural para os cálculos de tensões, esforços internos, deslocamentos e deformações (Papadopoulos, 2017).

Segundo Martha (2017), este modelo tem sua fundamentação baseada nas teorias e hipóteses que descrevem o comportamento das estruturas. Sendo essas hipóteses respaldadas nas leis físicas, como o equilíbrio de forças e tensões, as condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações, e as leis de constituição dos materiais utilizados na composição estrutural.

Sua concepção é feita através da idealização do comportamento real de uma estrutura e da adoção de hipóteses simplificadoras que são resultado de modelos experimentais e estatísticos e dividem-se em hipóteses sobre a geometria do modelo, sobre as condições de suporte (ligação com o meio externo, por exemplo, a ligação com o solo), sobre o comportamento dos materiais e sobre as solicitações que agem sobre a estrutura (cargas de ocupação ou pressão de vento, por exemplo).

Existem ainda algumas condições matemáticas que o modelo da estrutura precisa satisfazer para que se torne possível representar adequadamente o comportamento da estrutura real. Essas condições dividem-se em condições de equilíbrio, condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações e condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura (leis constitutivas dos materiais).

Ademais, além dessas hipóteses e condições consideradas, é importante salientar que a representação das solicitações das cargas permanentes e acidentais, também são parte considerada como simplificação, já que são pertinentes a norma regulamentadora (NBR 6120:2019 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações) onde são parametrizados os valores utilizados para cálculo de estruturas.

A terceira subdivisão é o modelo discreto, que é concebido dentro das metodologias de cálculo dos métodos de análise. Em suma, os métodos analíticos representam o comportamento de uma estrutura através de um conjunto de variáveis ou parâmetros, e nessa subdivisão, o comportamento analítico substitui-se por um comportamento discreto, no qual soluções analíticas contínuas representam-se por valores discretos dos parâmetros adotados. A mudança do modelo matemático para o modelo discreto é conhecida como discretização, e os parâmetros utilizados dependem unicamente do tipo de método utilizado.

A quarta e última subdivisão é o modelo computacional, este modelo surge do fato de que a análise de estruturas atualmente é vista como uma simulação computacional do comportamento de estruturas, visto que sem o uso de computadores e softwares atualmente é quase inviável executar tarefas referentes a análise de estruturas. Para realização da análise estrutural existem diversos métodos aplicáveis, dentre os quais os que mais se destacam são o método das forças e o método dos deslocamentos, que serão descritos a seguir.

2.1.1.1 Método das Forças

O método das forças foi desenvolvido em 1864 por James Clerk e posteriormente aprimorado por Otto Mohr e Heinrich Muller-Breslau. É um dos primeiros métodos desenvolvidos para a análise de estruturas estaticamente indeterminadas e consiste em escrever equações que satisfazem as exigências de força-deslocamento e compatibilidade para a estrutura (Hibbeler, 2013).

Segundo Soriano(s.d.), o método objetiva a determinação de um conjunto de reações e/ou esforços seccionais que garantem o equilíbrio estático de estruturas hiperestáticas e permite o cálculo das demais reações e esforços pelas equações da estática.

O método das forças é responsável por determinar os esforços capazes de satisfazer as condições de equilíbrio e de compatibilidades através de um conjunto de soluções em que ambas sejam satisfeitas. Método baseado no Princípio da Superposição de Efeitos através do qual é possível resolver qualquer estrutura hiperestática de caráter linear.

O método das forças segue o seguinte fluxo lógico de resolução de problemas:

- Condições de equilíbrio;
- Condições sobre o comportamento dos materiais;
- Condições de compatibilidade.

Dessa forma, a soma das soluções que satisfazem as condições de equilíbrio através da superposição de efeitos irá reorganizar as condições de compatibilidade permitindo a solução da estrutura (MARTHA, 2017).

2.1.1.2 Método dos Deslocamentos

O Método da Compatibilidade dos Deslocamentos (ou simplesmente método dos deslocamentos) consiste na utilização de um conjunto de soluções que satisfaçam as condições de equilíbrio estático na estrutura. Entretanto, o método é aplicado de maneira inversa com relação ao Método das Forças, ou seja, o Método da Compatibilidade dos Deslocamentos parte das deformações da estrutura, para as propriedades do material constituinte da estrutura, até os esforços resultantes que geram essas deformações.

Como o método dos deslocamentos funciona de maneira inversa ao método das forças, ele exige que primeiramente sejam satisfeitas as equações de equilíbrio para a estrutura. Sendo assim, os deslocamentos são descritos em função das cargas através das relações força-deslocamento e solucionadas as equações desenvolvidas para os deslocamentos. Só então pode-se obter as cargas através das equações da compatibilidade e das relações força-deslocamento. O Quadro 1 traz as características gerais de cada um dos métodos e suas incógnitas e equações de solução (Hibbeler, 2013).

Quadro 1: Características gerais dos métodos da Força e dos Deslocamentos.

	Incógnitas	Equações usadas para solução	Coeficientes das Incógnitas
Método da Força	Forças	Compatibilidade e	Coeficientes de

		força-deslocamento	flexibilidade
Método dos deslocamentos	Deslocamentos	Equilíbrio e força-deslocamento	Coefficiente de rigidez

Fonte: Adaptado de Hibbeler (2013).

Segundo Hibbeler (2013), o método dos deslocamentos é, atualmente, o mais importante método de análise estrutural uma vez que este é o método mais utilizado em algoritmos orientados a cálculos estruturais. Visto que a utilização de softwares que permitem a realização de uma análise estrutural completa gera eficiência e exatidão nos resultados, a cada dia existem mais engenheiros interessados em aderir a essa utilização. Contudo, para uma correta manipulação desses softwares e de sua integralização em BIM, é fundamental um certo grau de familiaridade tanto informacional quanto dos conceitos básicos dos parâmetros estruturais.

Utilizar o método dos deslocamentos ou qualquer outro método em processos iterativos manuais no cálculo de estruturas complexas e/ou de grande porte tornou-se impraticável, tornando a realização de modificações e teste de hipóteses praticamente impossível em função da quantidade de trabalho manual e mental requerido e por isso, os projetistas recorrem ao uso de softwares. Neste cenário, o avanço da tecnologia vem fazendo com que a procura por softwares que fazem uso da metodologia BIM venha crescendo muito nos últimos anos.

2.1.2 Combinações de Esforços

Toda estrutura esta sujeita a ação de cargas, sejam elas permanentes ou variáveis, durante toda a vida útil da edificação. Essas ações podem ocorrer única ou simultaneamente e dividem-se em ações permanentes e ações variáveis.

As ações permanentes são aquelas ações que vão atuar sobre a estrutura durante toda a sua vida útil com valores constantes, e elas se dividem em ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas. Já as ações variáveis são aquelas que vão ocorrer com valores variáveis no decorrer da vida útil da edificação. A soma da probabilidade dessas ações ocorrerem sozinhas ou simultaneamente representa o carregamento através da qual é possível realizar o dimensionamento de estruturas de modo a suportar as ações atuantes sobre ela.

De acordo com a NBR 6118: 2014, um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. Estas ações podem ser:

- Permanentes diretas (peso próprio de elementos construtivos, de equipamentos fixos, empuxo de terra, entre outras);
- Permanentes indiretas (protensão de estrutura, recalque, retração de materiais);
- Variáveis:
 - Cargas acidentais (relacionadas ao uso da edificação)
 - Incidência de vento;
 - Variação de temperatura e pressão;
- Excepcionais;
 - Enchentes;
 - Explosões (ondas de choque);
 - Colisões;
 - Incêndios.

As combinações de esforços devem ser realizadas de tal maneira que os esforços mais desfavoráveis a estrutura sejam considerados, para assim se verificar a segurança da estrutura através dos critérios de combinações de estados-limites últimos e combinações de estados-limites de serviço, respectivamente.

2.2 O Building Information Modeling (BIM) dentro do projeto de uma edificação

2.2.1 O conceito BIM

O conceito de BIM (Building Information Modeling) ou modelagem da informação da construção surgiu devido a necessidade de uma representação mais rígida e detalhada das fases de construção de uma obra. Não se sabe ao certo quem originou a sigla BIM, mas o termo foi popularizado por Jerry Laiserin quando padronizou o como um nome para a representação digital de todo o processo de construção de edifícios. Esse conceito se destacou devido a sua capacidade de integralização de todas as fases de uma construção em um único projeto, gerando modelos com representações em 3D, além da inovação trazida pelas dimensões 4 e 5D, capazes de considerar o gerenciamento de tempo e de custos em uma construção, respectivamente. O BIM passou então a ter um grande crescimento, devido à possibilidade de interoperabilidade de

diferentes softwares a partir de um modelo comum: O Industry Foundation Classes (IFC), fazendo com que diferentes programas possam trocar informações ou dados a qualquer tempo.

De acordo com Cardoso et al. (2012/13), o IFC é um modelo básico criado como uma alternativa que permite a normalização da troca de dados. Este modelo, desenvolvido com formato de dados neutros, apresenta a capacidade da representação de conceitos e componentes pertinentes à construção civil de maneira muito mais simples e rápida.

Um grande exemplo é a representação de componentes da construção como uma simples parede, que na metodologia convencional CAD era considerada a união de duas retas paralelas enquanto no modelo IFC tratasse de um elemento completo, com propriedades, materiais, acabamentos, nome, área, quantitativos e tantas outras informações possibilitadas pelo modelo.

Através do modelo IFC é possível desenvolver projetos completos, sejam eles arquitetônicos, estruturais, hidrossanitários ou elétricos em diferentes softwares e compatibilizá-los num mesmo projeto para a verificação de inconsistências ou erros em tempo real, ou seja, se ocorrerem alterações em um dos projetos os outros automaticamente são atualizados para que se evitem esses erros e inconsistências.

2.2.2 Softwares que compõem o BIM

Dentro do BIM existem diversos softwares de diferentes empresas capazes de realizar uma determinada etapa específica do processo construtivo de um projeto, o Quadro 2 traz algumas dessas empresas desenvolvedoras e seus softwares mais utilizados para cada uma das áreas de atuação.

Quadro 2: Softwares BIM utilizados nas diferentes etapas do projeto da edificação.

	Software	Empresa
Projeto Arquitetônico	Revit Architecture	Autodesk
	ArchiCAD	Graphisoft
	VectorWorks	Nemetscheck
	Bentley Architecture	Bentley

Projeto Estrutural	Eberick	AltoQi
	Robot Structural	Autodesk
Projeto de Instalações	QiBuilder	AltoQi
Análise e compatibilização	Naviswork	Autodesk
	Synchro	Synchro
	Solibri	Nemetscheck
	Tekla BIMsigth	Trimble

Fonte: Adaptado de Francisco Gonçalves Jr (s.d.).

Os softwares BIM orientados a projetos arquitetônicos são ferramentas computacionais bastante versáteis, capazes de integrar os elementos arquitetônicos aos demais elementos de um determinado projeto. Além disso e de algumas particularidades que cada software possui, todos eles permitem a modelagem em 3D, automatizam e agilizam certas tarefas (como geração de plantas, cortes, etc.) além de serem atualizadas em tempo real nos demais escopos, proporcionando eficiência no processo de confecção dos projetos. Dentre os softwares mais utilizados no mercado, destacam-se o Revit Architecture (Autodesk), ArchiCAD (Graphisoft), VectorWorks (Nemetscheck), Bentley Architecture (Bentley) e outros.

Já as ferramentas computacionais BIM orientadas a Projetos Estruturais permitem a realização da análise estrutural de maneira mais dinâmica e eficiente, considerando hipóteses de carregamentos e características dos elementos estruturais, gerando modelos estruturais de uma forma interativa. Dentre os softwares mais utilizados no mercado, destacam-se o Eberic (AltoQi), o TQS (TQS) e o Robot Estrutural (Autodesk).

Para os projetos de instalações na plataforma BIM, um dos softwares mais utilizados é o QiBuilder (AltoQi). O QiBuilder é uma plataforma BIM para desenvolver projetos hidrossanitário, elétrico, de combate a incêndio, SPDA, gás, cabeamento estruturado e alvenaria estrutural em um único sistema (AltoQi).

Os softwares de análise e compatibilização são ferramentas computacionais BIM que analisam e identificam inconsistências através da integração dos projetos desenvolvidos na plataforma. Os softwares mais utilizados para este tipo de análise são o Navisworks (Autodesk),

Synchro (Synchro), Solibri (Nemetscheck) e o Tekla BIMsigth (Trimble). Estes softwares permitem visualizar a interoperabilidade entre todos os projetos que compõem uma edificação, fornecendo diversas funcionalidades para o projetista. No caso do Navisworks, por exemplo, ele permite:

- Controlar cronogramas e custos através de simulações 4D e 5D;
- Quantificar materiais de projetos 2D e 3D;
- Interação gráfica com as fontes de dados.

2.2.3 Vantagens do projeto estrutural em BIM

O projeto de estruturas é uma parte integrante e de extrema importância do desenvolvimento de uma construção. Neste sentido, a interoperabilidade é fundamental para que o projeto seja planejado, definido e modelado em BIM. Sendo assim, o BIM permite inúmeras vantagens ao projeto de estrutura, como a utilização de diferentes programas de cálculo estrutural, desenho, análise e outros (TARRAFA, 2012).

Para Tarrafa (2012), a interoperabilidade tem ainda um papel significativo diante da diminuição da possibilidade de erros, visto que elimina a necessidade de replicar diversas vezes o modelo para cada software utilizado durante os processos de dimensionamento estrutural.

2.2.4 Softwares BIM Utilizados

O conceito de modelagem da informação da construção (BIM) é constituído essencialmente embasado em uma metodologia que possibilita a troca e compartilhamento de informações durante todas as fases do ciclo de vida do empreendimento, sendo assim, torna possível a comunicação entre diferentes softwares e tecnologias especializadas em cada uma das fases da construção, especialmente a fase de projetos, onde diversos profissionais trabalham em conjunto a fim de um objetivo comum. (COLOMBO, 2014).

Dessa forma, torna-se possível o compartilhamento de projetos completos entre softwares com diferentes classes de conhecimento específico. No caso deste trabalho, foram utilizados os softwares Revit e Robot Structural ambos da Autodesk.

2.2.4.1 Autodesk Revit

O Revit é uma das plataformas da Autodesk que utiliza a metodologia BIM. Em suma, trata-se de um software de design de projeto de arquitetura e engenharia que é capaz de suportar todas as fases do projeto, permitindo assim a interoperabilidade de diversos projetos em paralelo. Ele ainda é um software onde é possível trabalhar com diversas áreas específicas, pois tem-se os módulos Revit Architecture, para arquitetura, Revit Structure para estrutura e Revit MEP para instalações prediais (JUSTI, 2008).

O software permite a visualização do modelo em 3D com parâmetros qualitativos e quantitativos, podendo ser utilizando em conjunto com softwares de gerenciamento de projetos para se analisar as etapas construtivas e eventuais inconsistências, possibilitando uma revisão do projeto, gerando uma simulação completa do empreendimento. Desta forma, é possível: examinar o empreendimento a partir de qualquer perspectiva ou local específico, analisar e testar o empreendimento a fim de identificar incompatibilidades entre as disciplinas, levantar quantitativos de maneira automatizada e simular e gerar a documentação física do empreendimento (LIMA, 2015).

Além disso, no Revit, a orientação é bidirecional, o que significa que, por exemplo, se a altura das lajes de um edifício for alterada, então a altura dos pilares por sua vez também será alterada automaticamente, mantendo assim a estrutura conectada e facilitando alterações durante o desenvolvimento dos projetos (LIMA, 2015).

2.2.4.2 Autodesk Robot Structural

O Robot Structural, é um software desenvolvido pela Autodesk cuja funcionalidade é a modelagem, concepção e análise estrutural. É utilizado para auxiliar o engenheiro calculista na realização de cálculos estruturais e sua respectiva análise (JUSTI, 2008).

De acordo com a empresa desenvolvedora Autodesk, o software pode auxiliar no desenvolvimento de projetos consistentes e precisos, de fácil coordenação e conectados à plataforma BIM. No entanto, apesar do software ser uma ferramenta significativamente importante para auxiliar o desenvolvimento de análises e cálculos estruturais, uma grande dificuldade encontrada é que a empresa desenvolvedora ainda não traz em sua configuração padrão a norma regulamentadora brasileira NBR6118:2014, o que faz com que seja necessária uma previa configuração do software para que seja possível desenvolver projetos adequados.

2.2.5 Integração Revit Structure e Robot Structural

A partir do modelo estrutural desenvolvido no Revit Structure o próprio software cria um modelo analítico. Esse modelo, traz a apresentação do modelo físico através do qual será possível a aplicação da análise estrutural para os cálculos de análise e esforços internos, como os cálculos de força cortante, momentos fletores, deslocamentos e deformações. Neste cenário, é importante considerar que o software interpreta os dados inseridos com elementos em apenas uma dimensão através da forma geométrica de barras e por esse motivo é possível analisar toda a estrutura (no caso de estruturas simples) através de pilares e vigas que formam pórticos.

Para Hibbeler (2013), os pórticos estendem-se em duas ou três dimensões, portanto torna-se de grande importância a análise da interpretação do software da modelagem, visto que isso acontece de maneira automática, às vezes torna-se necessário realizar algumas alterações para que o modelo analítico seja coerente com a estrutura real.

A partir do modelo analítico, pode-se realizar a integração com o Robot diretamente pela exportação do modelo IFC do Revit, através do download do plug in Kit de Ferramentas para Análise Estrutural (disponibilizado para download na própria Autodesk), que possibilita a comunicação direta entre os dois softwares, fazendo com que no próprio Revit seja possível solicitar a análise que envia automaticamente o modelo analítico para o Robot Structural.

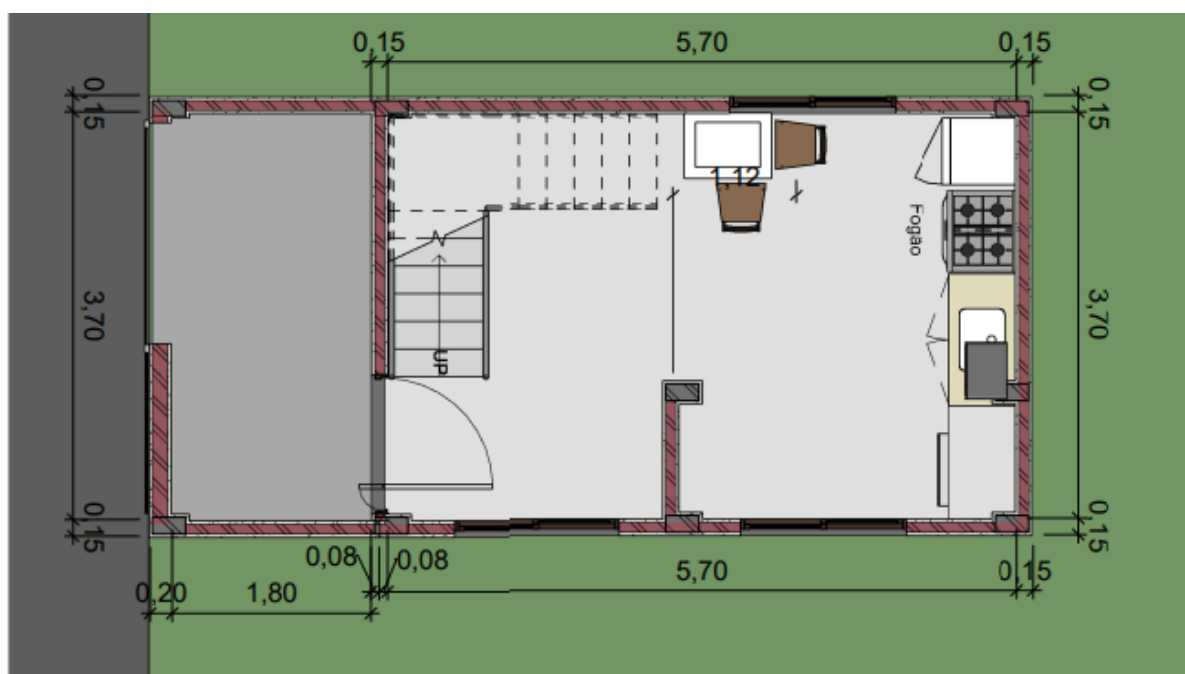
3 METODOLOGIA DA PESQUISA

3.1 Caracterização do projeto utilizado

O projeto utilizado é uma residência unifamiliar de dois pavimentos habitáveis (térreo e 1º pavimento), com área construída de 64 m², cuja planta baixa está representada na Figura 1.

Na edificação objeto do estudo, o pavimento térreo é disposto de: 01 garagem, 01 cozinha, 01 sala de estar, 01 área de serviço e área de circulação e acesso às escadas, conforme demonstrado na planta baixa apresentada na figura.

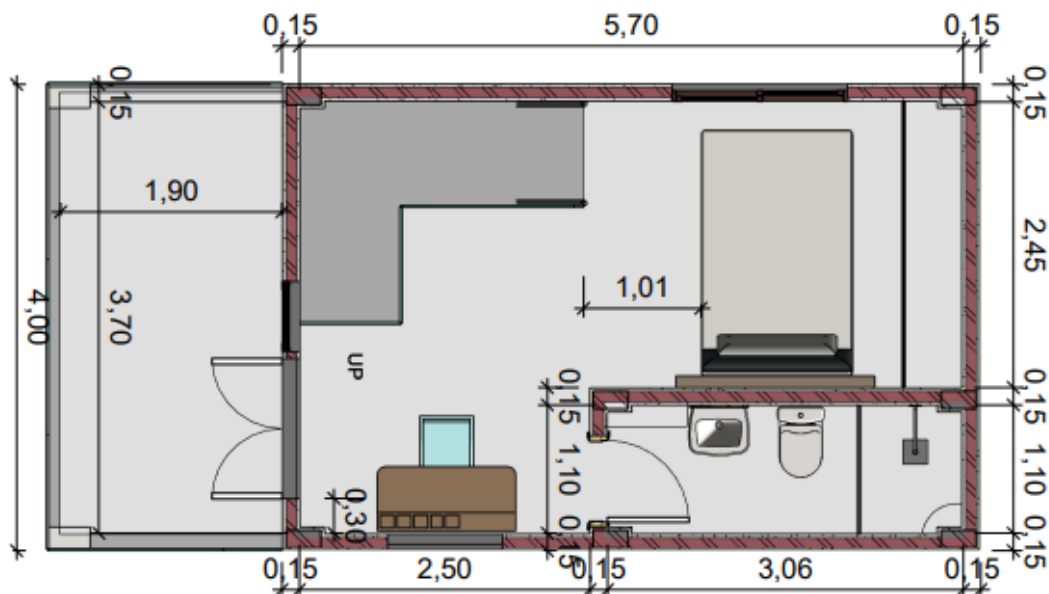
Figura 1 – Planta Baixa do Pavimento Térreo



Fonte: Autoria Própria

O 1º pavimento é disposto de: 01 varanda, 01 suíte, 01 escritório e área de circulação e acesso às escadas, cuja planta baixa é representada na Figura 2.

Figura 2 – Planta Baixa do 1º Pavimento



Fonte: Autoria Própria

3.2 Elaboração do modelo arquitetônico ou modelo físico

O modelo arquitetônico desta residência foi realizado em BIM no software Autodesk Revit, onde inicialmente foram realizados todos os procedimentos prévios de importação de esquadrias, pisos, peças hidrossanitárias e demais itens caracterizados para a execução completa do modelo arquitetônico através do download de famílias específicas para cada item (como famílias de pisos e etc).

Posteriormente foram desenvolvidos os níveis necessários para a construção do modelo. Foram desenvolvidos 4 níveis, que são o nível térreo (cota 0,00m), o nível 1º pavimento (cota 3,00m), o nível cobertura (cota 6,15 m) e o nível laje caixa d'água (cota 7,50m). Após a criação dos níveis foram executadas as alvenarias, pisos e toda a modelagem em três dimensões (3D) do projeto.

3.3 Elaboração do modelo estrutural

O modelo físico estrutural foi executado no software Autodesk Revit (no módulo Revit Structure), onde lançou-se (com base na arquitetura) a estrutura através da caracterização de elementos estruturais (como pilares, lajes, vigas e fundações) ou importação desses elementos

para o desenvolvimento de todo o esqueleto estrutural da edificação.

O procedimento de detalhamento estrutural consiste no lançamento inicialmente dos pilares, adequando-os em simetria para um melhor desempenho, obedecendo a arquitetura, a seguir, lança-se então as vigas baldrame e as vigas dos pavimentos, mediante o modelo arquitetônico para que estas, possam acompanhar as paredes previamente modeladas. Após o lançamento das vigas já é possível que sejam lançadas as lajes dos pavimentos.

3.4 Lançamento das cargas e combinações

De mão da estrutura física modelada, foi desenvolvido o lançamento das cargas e combinações pertinentes à norma ABNT NBR 6118: 2014 para adequação e conformação da estrutura e desenvolvimento do modelo analítico, fazendo com que este possa ser exportado ao Robot Structural sem muitos problemas.

3.5 Elaboração do modelo analítico e análise estrutural

O modelo analítico segundo Piza (2017) é o modelo cuja representação da descrição de engenharia é simplificada, neste modelo tem-se o conjunto de todas as informações dos componentes estruturais mencionados acima, com suas geometrias, propriedades físicas e cargas. É este modelo que o Revit exporta para os softwares de análise e cálculos estruturais.

A análise estrutural, foi realizada no software Autodesk Robot Structural, onde a partir do modelo analítico, pôde-se calcular os esforços, coletar os resultados e por fim analisá-los.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelagem estrutural no Revit

Para concepção da modelagem estrutural no Revit, foi necessário desenvolver inicialmente a modelagem arquitetônica básica da residência realizada no template arquitetura (estrutura predefinida do Revit que auxilia no desenvolvimento e criação do projeto) do Revit, onde realizou-se o lançamento das paredes, esquadrias, detalhes construtivos, pisos e etc. A Figura 3 representa uma ilustração do 3D Arquitetônico da residência desenvolvido no Revit.

Figura 3 – Ilustração 3D Arquitetônico da Edificação Unifamiliar



Fonte: Autoria Própria

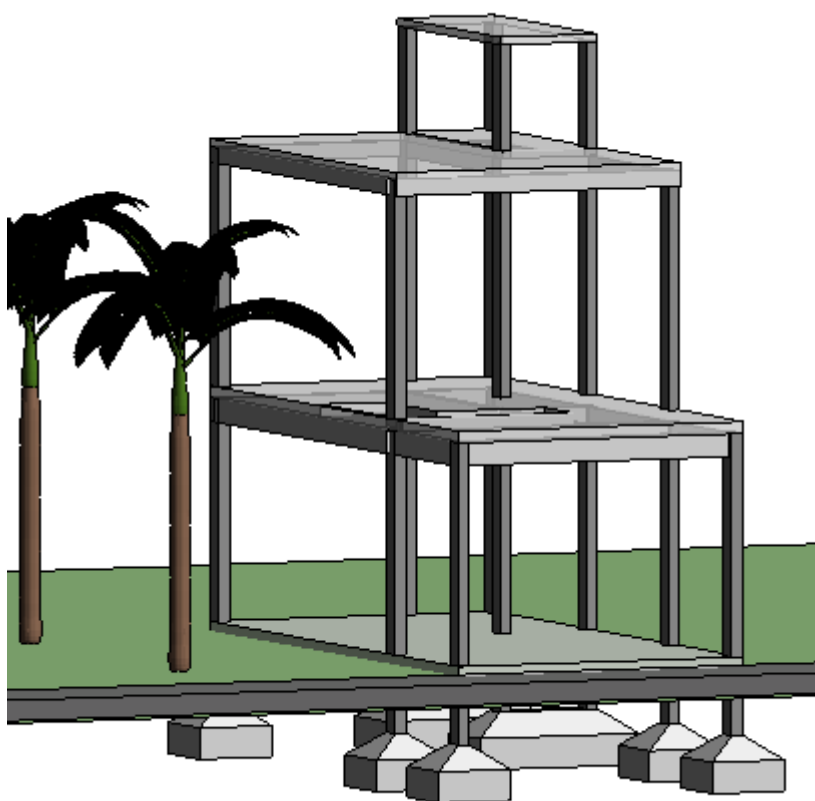
A modelagem estrutural foi desenvolvida a partir de um template estrutural pré-existente com diversas configurações já realizadas, como diversas famílias de elementos estruturais, o que acelerou o processo de lançamento estrutural e possibilitou a locação dos elementos estruturais de forma mais rápida e precisa.

4.1.1 Lançamento dos elementos estruturais

A partir de um "Vínculo do Revit" a arquitetura desenvolvida foi conectada ao template estrutural. E a partir dela foram lançados os elementos estruturais considerando-se uma melhor disposição que se possibilita uma distribuição de cargas mais efetiva e simples.

O lançamento inicial foi o dos pilares, onde considerou-se a menor dimensão que possibilitasse o encobrimento dos elementos estruturais nos elementos de vedação. Neste caso, a dimensão adotada foi 15x25 cm para todos os pilares, obedecendo a área mínima de seção transversal de 360 cm² recomendada pela NBR 6118:2014. A Figura 4 representa o modelo 3D do lançamento estrutural.

Figura 4 – Modelo 3D Estrutural



Fonte: Autoria Própria

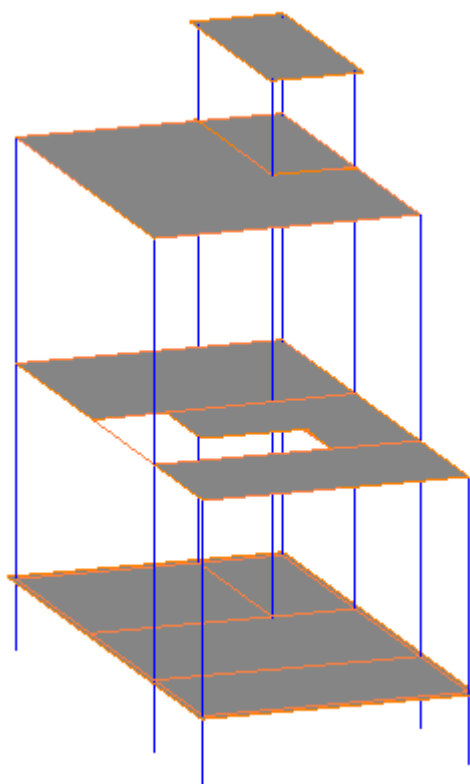
Após o lançamento dos pilares, foi realizado o lançamento das vigas seguindo também o dimensionamento mínimo exigido pela NBR 6118:2014, que corresponde a 10% do vão.

Neste sentido, as vigas ficaram com dimensões de 15x30 cm correspondentes diretamente à dimensão do maior vão. Por fim foram lançadas as lajes e as fundações respectivamente, seguindo também os critérios mínimos estabelecidos pela norma.

Finalizado o lançamento, o próprio Revit Structure cria a estrutura analítica da edificação. Contudo, cada uma das configurações de pontos de conexão foi conferida e corrigida no modelo analítico desenvolvido para que este seja capaz de representar a estrutura real a ser analisada. A Figura 5 corresponde a representação do modelo analítico desenvolvido para a edificação, onde:

- As linhas azuis representam matematicamente os pilares;
- As linhas laranjas representam as vigas;
- Os quadrados e retângulos cinza representam as lajes.

Figura 5 - Modelo Analítico da Edificação Unifamiliar



Fonte: Autoria Própria

4.2 Análise no Robot Structural

4.2.1 Configurando o Software

Ao utilizar o software é necessário realizar adequações para que o modelo analítico seja uma representação real da estrutura pois apesar da grande demanda crescente do BIM no Brasil, a empresa (Autodesk) ainda apresenta muitas limitações de uso que geram uma enorme quantidade de itens a serem adequados dos padrões americanos para as normas regulamentadoras brasileiras.

Considerando isso, a primeira adequação de valores realizada é a adequação dos materiais empregados no empreendimento, no caso: o concreto e o aço. Essa configuração dos materiais é importante para a análise da compatibilidade de deslocamentos pois definirá o comportamento da estrutura quanto a sua deformação mediante a aplicação dos esforços que irão repousar sobre ela.

Os materiais utilizados foram configurados no software segundo valores de módulos de elasticidade e resistência estabelecidos pela NBR 6118: 2014. Para isso criou-se um novo material onde foram inseridas todas as informações fornecidas pela norma. As Figuras 6 e 7 apresentam as informações aplicadas para o concreto e o aço respectivamente.

No projeto considerou-se para fins de análise, um concreto de 25 MPa em todos os elementos estruturais, com todos os valores normalizados conforme apresenta a figura 6.

Figura 6 - Configuração do Software para os valores do concreto de 25 MPa.

The image shows the 'Definição de material' (Material Definition) dialog box in the Robot Structural software. The 'Concreto' (Concrete) tab is selected. The material name is 'C25' and the description is '25MPA'. The 'Elasticidade' (Elasticity) section includes: Módulo de Young, E: 28000,00 (MPa); Coeficiente de Poisson, v: 0,2; and Módulo de cisalhamento, G: 10000,00 (MPa). The 'Resistência' (Resistance) section shows 'Características' (Characteristic) resistance as 25,00 (MPa) for a 'Cilindrico' (Cylindrical) specimen. Other properties include: Peso específico (peso unitário): 24,53 (kN/m³); Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C); and Relação de amortecimento: 0,15.

Definição de material		
Aço Concreto Alumínio Madeira Outros		
Nome:	C25	Descrição: 25MPA
Elasticidade Módulo de Young, E: 28000,00 (MPa) Coeficiente de Poisson, v: 0,2 Módulo de cisalhamento, G: 10000,00 (MPa) Resistência Características 25,00 (MPa) Amostra: Cilindrico		
Peso específico (peso unitário): 24,53 (kN/m³) Coef. de expansão térmica: 0,000010 (1/°C) Relação de amortecimento: 0,15		

Fonte: Autoria Própria

Para o aço, foi considerado o mais usual no mercado: o aço CA 50, e todas as características foram classificadas também segundo a NBR 6118: 2014. Ademais, foram inseridas informações correspondentes as barras de aço mais usuais no mercado (6.3mm, 8mm, 10mm, 12,5mm, 16mm, 20mm, 25mm e 32mm).

Figura 7 - Configuração do Software para os valores do Aço CA50.

A captura de tela mostra a janela 'Definição de material' com a aba 'Aço' selecionada. O nome do material é 'AÇO' e a descrição é '6118 CA 50'. Os parâmetros de elasticidade são: Módulo de Young, E: 210000,00 (MPa); Coeficiente de Poisson, v: 0,3; Módulo de cisalhamento, G: 80800,00 (MPa). Os parâmetros de resistência são: Características: 500,00 (MPa); Fator de redução de cisalh.: 1,54; Resistência limite da tensão: 540,00 (MPa). Outros parâmetros incluem: Peso específico (peso unitário): 77,01 (kN/m³); Coef. de expansão térmica: 0,000011 (1/°C); Relação de amortecimento: 0,06. Há também uma opção 'Aço recozido' marcada com um checkbox.

Elasticidade		Resistência	
Módulo de Young, E:	210000,00 (MPa)	Características	500,00 (MPa)
Coeficiente de Poisson, v:	0,3	Fator de redução de cisalh.:	1,54
Módulo de cisalhamento, G:	80800,00 (MPa)	Resistência limite da tensão:	540,00 (MPa)

Nome: AÇO Descrição: 6118 CA 50
 Peso específico (peso unitário): 77,01 (kN/m³)
 Coef. de expansão térmica: 0,000011 (1/°C)
 Relação de amortecimento: 0,06
☒ Aço recozido

Fonte: Autoria Própria

Após a configuração dos materiais foi feita a caracterização dos materiais para cada elemento no projeto, definição de concreto nos pilares e vigas e da espessura e material das lajes.

4.3 Cargas na Estrutura

4.3.1 Cargas Permanentes

As cargas permanentes equivalentes ao peso próprio da estrutura são consideradas automaticamente pelo software a partir da caracterização dos materiais previamente estabelecidos, portanto a primeira análise do comportamento da estrutura pode-se realizar mediante unicamente o peso, fazendo com que se tenha todos os valores de reações nos apoios equivalentes ao peso.

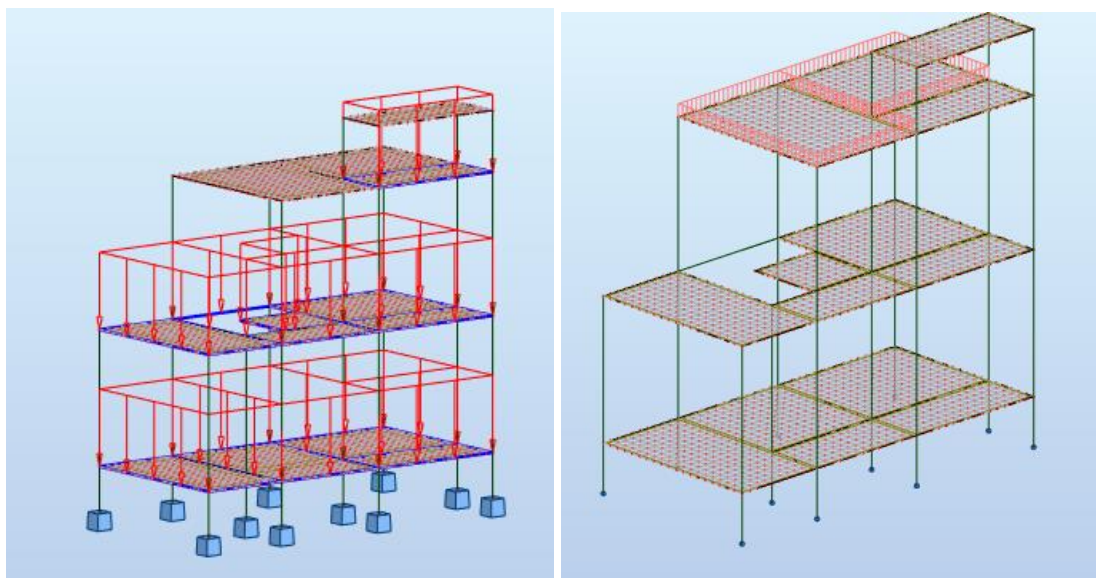
Esse processo é realizado de maneira muito rápida e eficiente pois torna o cálculo muito menos dispendioso de atenção e menos suscetível a falhas já que é feito de maneira automatizada.

O software compreende as cargas permanentes como cargas mortas, o que significa que refere-se a todas as cargas que irão morrer com a estrutura. Como o software considera unicamente as cargas equivalentes ao peso da estrutura, é necessário que sejam inseridas as cargas permanentes equivalentes às demais cargas que estão presentes em toda a vida útil da edificação. Neste caso, foram consideradas as cargas equivalentes ao telhado, caixa d'água, paredes e revestimento de piso.

Para as cargas equivalentes às paredes, considerou-se o valor de 600 kN/m^3 acima de todas as vigas onde estariam sobrepostas às paredes através da função “definição de carga sobre barras”. A Figura 8 demonstra (à esquerda) a definição da carga de parede sobre a estrutura.

Para as cargas de telhado, considerou-se a carga de superfície de 100 kN/m^2 , mediante a consideração de que a tesoura está apoiada sobre o piso, onde de metro em metro tenha-se o apoio de uma tesoura. A representação da definição dessa carga está representada na Figura 8 (à direita).

Figura 8 - Definição de Carga das Paredes e do Telhado.

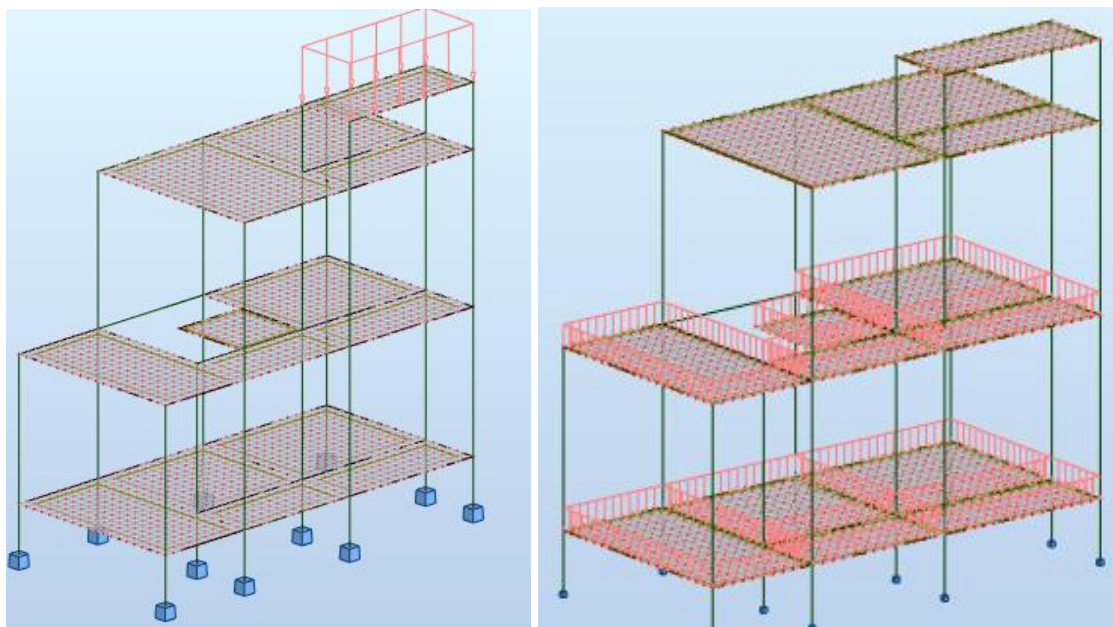


Fonte: Autoria Própria

Para definição da carga da caixa d'água considerou-se um volume de 4 m^3 equivalente a 40 kN/m^2 aplicado sob a superfície da laje, cuja definição está apresentada na Figura 9 (à

esquerda). E por fim, considerou-se o revestimento do piso de $0,85 \text{ kN/m}^2$ aplicados acima das lajes de pisos. Na figura 9 (à direita) observa-se essa definição.

Figura 9 - Definição de Cargas da Caixa D'água e do Revestimento do Piso.



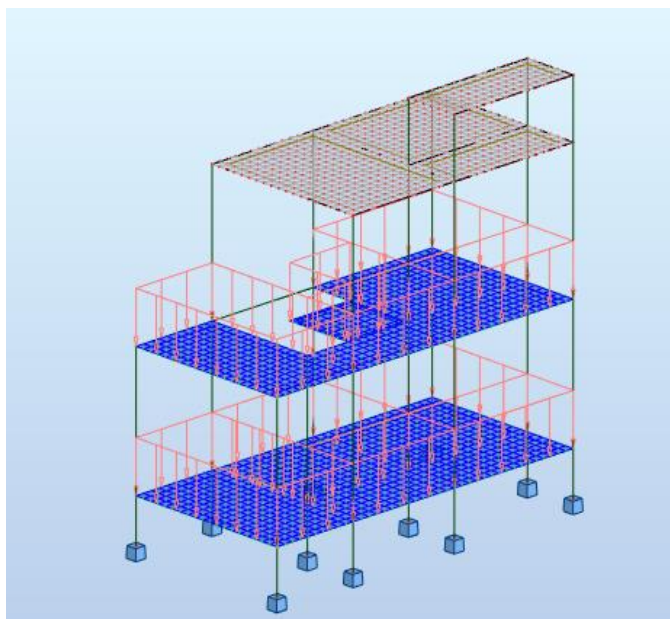
Fonte: Autoria Própria

4.3.2 Cargas Variáveis

O software Autodesk Robot Structural compreende cargas variáveis todas aquelas que variam no decorrer da vida útil da edificação, considerando-as cargas vivas, já que podem ou não estar presentes durante toda a vida da edificação.

Neste sentido, como carga variável para fins de análise, considerou-se apenas a sobrecarga de 2 kN/m^2 , segundo valor estabelecido pela NBR 6120: 2019 aplicada sobre os pisos onde haverá variação da carga de pessoas, móveis e etc. A Figura 10 mostra a definição da aplicação da sobrecarga.

Figura 10 - Definição da Sobrecarga.



Fonte: Autoria Própria

4.4 Efeitos das Cargas aplicadas na Estrutura

4.4.1 Reações de Apoio

Diante da aplicação das cargas permanentes e variáveis, podem-se calcular as reações de apoio para cada uma das extremidades das fundações e analisar individualmente cada uma das cargas solicitantes. A partir dessa análise individual é possível verificar se as fundações pré-estabelecidas serão capazes de suportar as cargas que sobre ela vão repousar, dependendo exclusivamente do dimensionamento e da qualidade e transmissibilidade de cargas no solo.

Para isso, se não fosse a utilização de BIM, seria necessário realizar a análise para cada viga, pilar e laje, lançando-se as cargas uma a uma para que finalmente fossem somadas as cargas totais e calculados os momentos e esforços resultantes. Esse cálculo pode ser executado através de processos manuais ou com o auxílio de softwares de análise mais simples como é o caso do Ftool, onde pode ser analisado cada elemento estrutural isoladamente para cada esforço requerido. Além disso, esse processo torna os cálculos muito mais longos, inviáveis e susceptíveis a erros devido a grande quantidade de interação humana nos processos de inserção das cargas e análise de elementos isoladamente.

Tendo em vista que todas as cargas foram lançadas na edificação, torna-se necessária a realização da combinação das cargas e aplicação dos fatores de segurança para as cargas mortas ou permanentes e para carga viva ou sobrecarga, sempre considerando uma majoração das

cargas em prol da segurança da edificação. O Quadro 3 demonstra a ordem dos casos utilizados e seus respectivos fatores de segurança aplicados.

Quadro 3: Fatores de segurança aplicados.

Fator	Caso	Nome do Caso
1.40	1	DL1 (peso da estrutura)
1.40	2	Peso Parede
1.40	3	Telhado
1.10	4	Sobrecarga
1.40	5	Revestimento
1.40	6	Caixa d'água

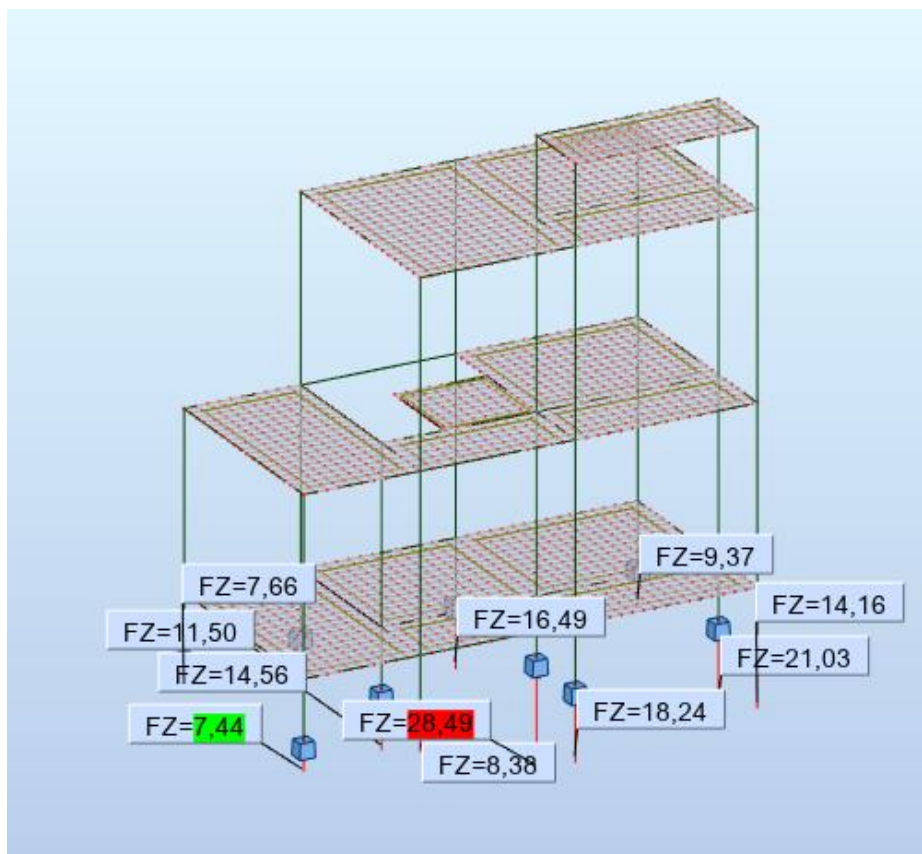
Fonte: Autoria Própria

A combinação de cargas foi dada majoração das cargas permanentes e variáveis, cuja formulação utilizada está descrita na Equação 1.

$$Comb = (1,2,3,5,6) * 1,4 + (4) * 1,1 \quad (1)$$

Dada a combinação de todas as cargas que repousam sobre a estrutura, tem-se o resultado das reações de apoio para cada uma das cargas atuantes, no entanto, entre elas a mais importante consideração é a da combinação dos esforços, já que representa fielmente as cargas que vão atuar na estrutura real. A Figura 11, apresenta o resultado das reações de apoio para cada uma das fundações.

Figura 11 - Reações de apoio para a combinação de cargas



Fonte: Autoria Própria

As reações nos apoios demonstram a capacidade que as fundações precisam possuir para que sejam capazes de resistir às cargas da estrutura. Para a análise, a carga mínima exigida das fundações seria de 7,44 tf e a máxima de 28,49 tf. Tendo essa informação o dimensionamento das fundações é uma etapa muito mais precisa e consistente, pois relacionam a capacidade de resistência do solo diretamente com as dimensões mínimas que as fundações necessitam ter para que sejam capazes de distribuir ao solo as cargas atuantes.

4.4.2 Momento Fletor e Flambagem

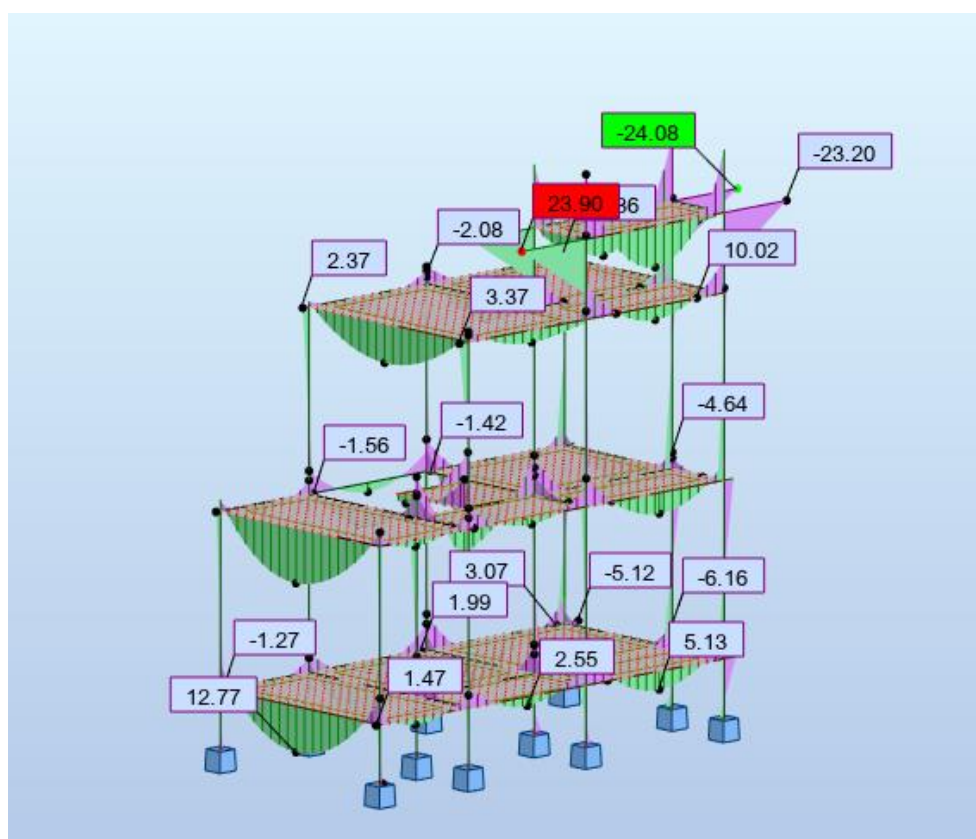
Após o lançamento das cargas através do Robot Structural é possível realizar o cálculo do momento fletor para toda a estrutura de uma única vez. Sendo assim, o processo de cálculo torna-se muito mais rápido do que através da utilização de metodologias mais simples (como o cálculo no Ftool). Uma vez que o software considera todas as cargas aplicadas sob a estrutura, a análise torna-se também muito mais precisa e consistente.

Como a estrutura completa pode ser analisada, é possível visualizar o fluxo de cargas e então dimensionar a estrutura exclusivamente mediante a necessidade de maior suporte,

fazendo com que as armaduras possam ser determinadas diante da necessidade de combater os maiores momentos identificados pela análise.

Sabendo-se que a maioria das cargas momento são consideradas pequenas, tem-se a necessidade de aplicação de armaduras mínimas (mediante cálculo), a não ser nos locais mais solicitados (como é o caso dos momentos máximo e mínimo) onde será necessária uma armadura positiva que combata o momento máximo de 23,9 tf.m e a necessidade da aplicação da armadura negativa para combater o momento de 24,08 tf.m como pode-se observar na Figura 12.

Figura 12 - Momentos Resultantes da Aplicação das Cargas

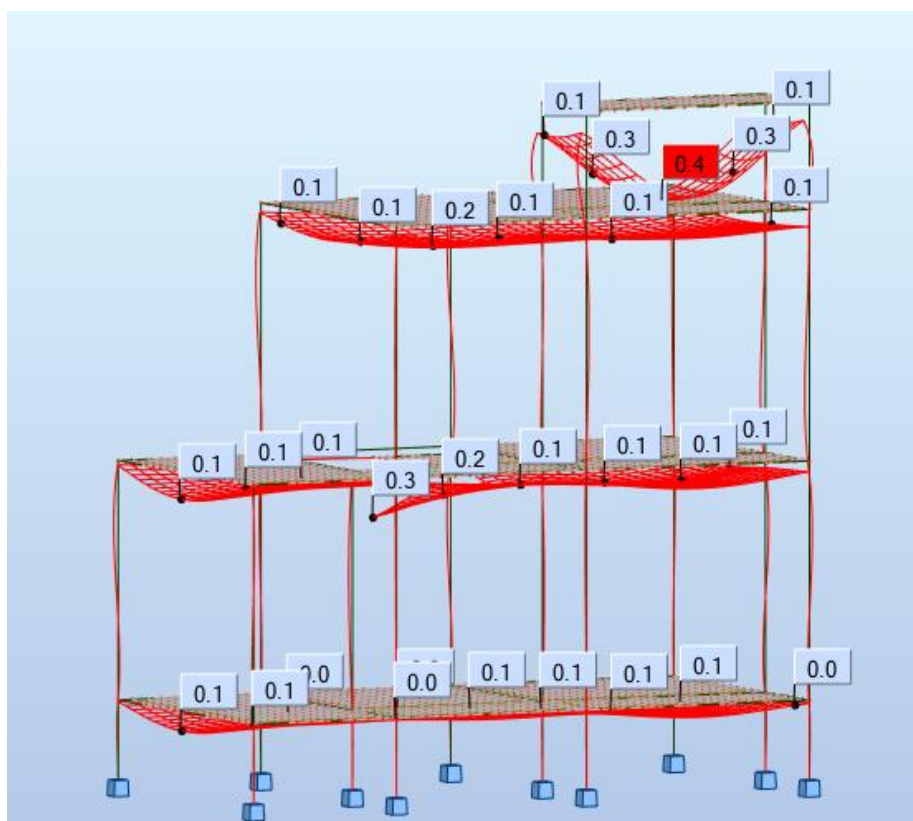


Fonte: Autoria Própria

Considerando-se a distribuição das cargas, evidencia-se e entende-se que esses sejam os locais mais solicitados na edificação, pois são eles os responsáveis pela maior capacidade de suporte de cargas na estrutura. Neste sentido, o software permite também a análise do comportamento da estrutura quanto a flambagem, o que auxilia muito no desenvolvimento de projetos estruturais (principalmente para projetistas sem muita experiência) pois permite compreender nitidamente quais as regiões do cálculo que precisam ser mais estruturadas. A Figura 13, apresenta através da cor vermelha, o comportamento da estrutura quanto à

flambagem, e demonstra claramente a necessidade de armaduras maiores para combater aos momentos e a flambagem no ponto de maior solicitação. Os valores apresentados na Figura 13, estão representados em tf, onde o maior destaca-se em vermelho, justamente na laje submetida às cargas de empuxo da caixa d'água.

Figura 13 - Comportamento da estrutura quanto à flambagem



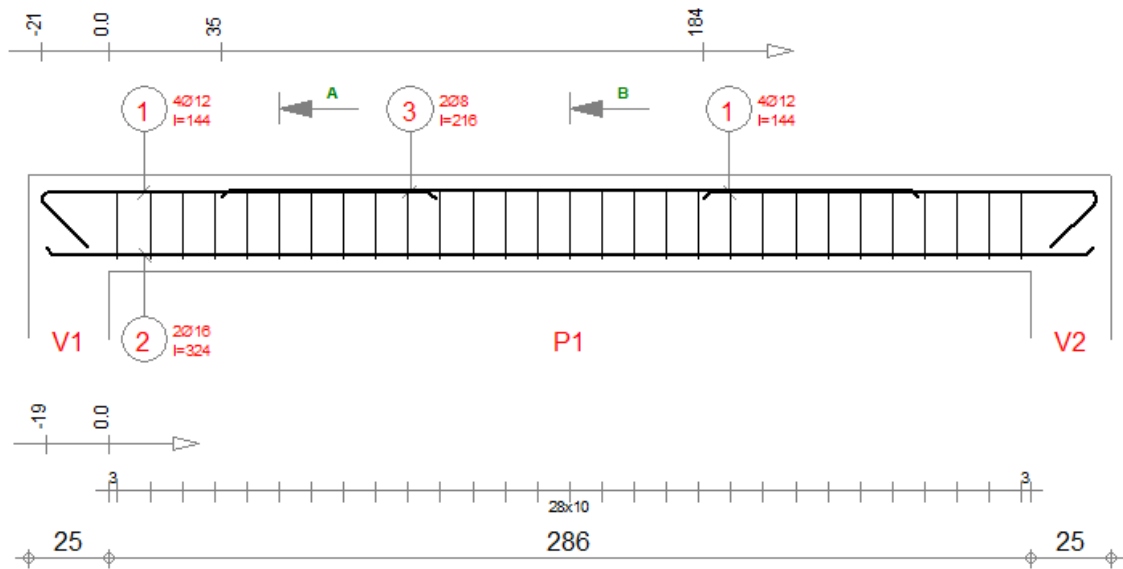
Fonte: Autoria Própria

Quando analisamos o comportamento da estrutura quanto a distribuição das cargas, ao momento fletor e flambagem, conseguimos todos os dados necessários ao dimensionamento das armaduras, o que por si só já torna o procedimento de cálculo muito mais simplificado. Além de proporcionar todas as análises de cálculo, o software ainda tem uma ferramenta de dimensionamento de armaduras automatizado, que configura e as cria (dentro dos padrões pré-estabelecidos mediante as normas regulamentadoras) diante das cargas atuantes na estrutura.

Para fins de análise, foi realizado pelo Robot Structural o dimensionamento das armaduras necessárias para a viga e pilar mais solicitados. Neste caso, a viga em questão está localizada na face lateral direita da caixa d'água, e o pilar na face frontal da lateral direita.

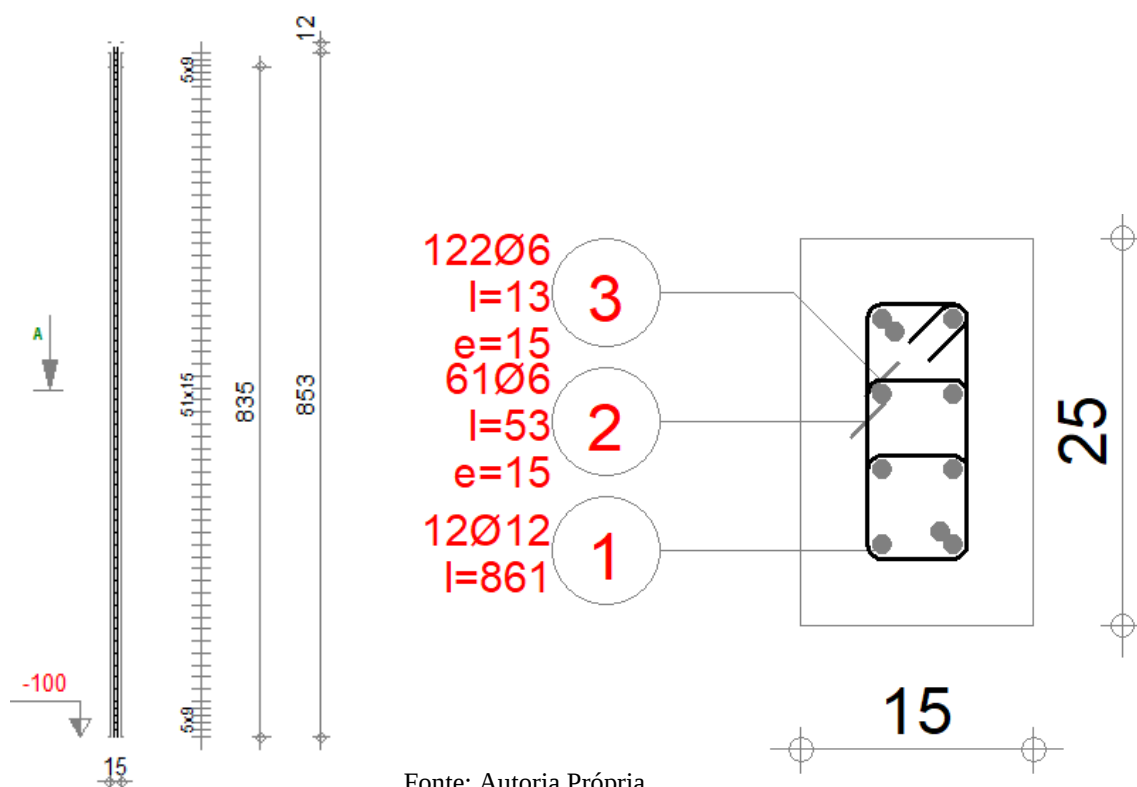
Uma das características mais relevantes do uso do Robot Structural é a praticidade com que ele gera não só o detalhamento técnico quanto a modelagem em 3D dos elementos estruturais, como pode ser demonstrado nas Figuras 14, 15 e 16.

Figura 14 - Detalhamento armaduras da viga mais solicitada



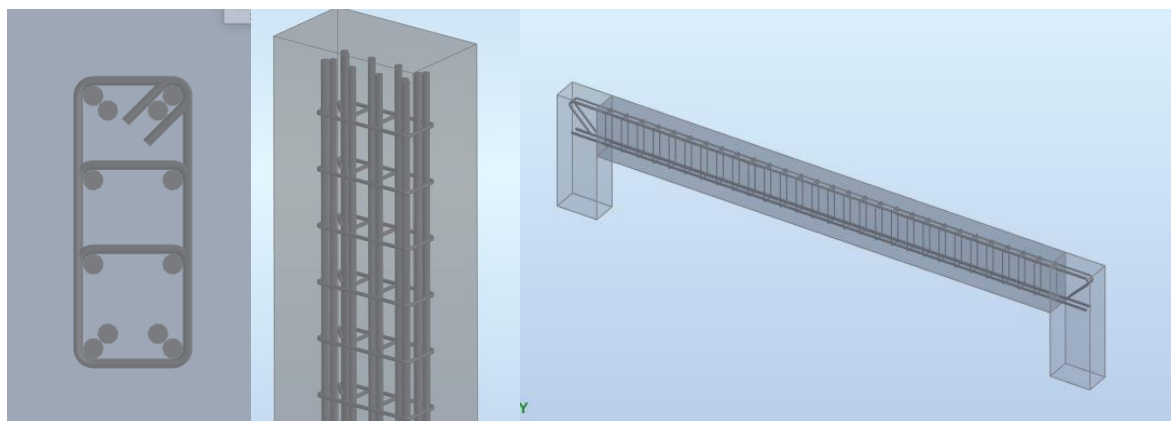
Fonte: Autoria Própria

Figura 15 - Detalhamento armaduras do pilar mais solicitado.



Fonte: Autoria Própria

Figura 16 - Detalhamentos em 3D das armaduras do pilar e viga mais solicitados.



Fonte: Autoria Própria

O Robot Structural, para gerar o detalhamento técnico e gráfico (3D) realizou diversos cálculos por meio de algoritmos que geram as informações visuais as quais as figuras acima ilustram. O tempo de realização destes cálculos por meio do software foi de ordem de segundos, relacionando valores quantitativos e qualitativos para assim gerar uma visualização detalhada dos elementos estruturais desejados, contendo a quantidade de barras e estribos, seus diâmetros (em mm), comprimentos (em cm) e o cobrimento, gerando assim elementos estruturais de concreto armado visualmente dimensionados e detalhados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se dizer que atualmente, com a complexidade dos projetos arquitetônicos e estruturais solicitados pelo mercado, a indústria da construção civil tem a cada dia ganhado mais adeptos do uso de tecnologias e softwares capazes de executar de maneira mais eficiente e rápida as funções do dia a dia dos engenheiros projetistas. Neste sentido, é inegável que a utilização da metodologia BIM vem assumindo um papel muito relevante no cenário dos projetos e análises estruturais. Isso porque é uma metodologia que impulsiona o aperfeiçoamento do uso de técnicas onde diversos profissionais possam trabalhar em conjunto, mas com suas respectivas especialidades.

Considerando-se também a crescente demanda que softwares como o Autodesk Revit e Robot Structural vem tendo no cenário brasileiro, a empresa desenvolvedora (Autodesk) precisa ainda se atualizar no mercado para adequação às necessidades dos usuários, visto que todas as configurações as normas regulamentadoras precisam ser realizadas de maneira manual pois os softwares apresentam apenas padronizações americanas.

Apesar disso, o uso do BIM para realização de análises e detalhamentos estruturais torna o processo de desenvolvimento de projetos muito menos demorado e com menor necessidade de trabalho manual, já que facilita os cálculos e detalhamentos, retornando resultados em questão de segundos e possibilitando a modificação e adequação da estrutura às necessidades de suporte da edificação a qualquer momento no desenvolvimento do projeto estrutural.

A possibilidade de dimensionamento dentro do próprio software de análise faz com que diversos erros advindos do detalhamento estrutural possam ser corrigidos, pois, ao analisar o comportamento da distribuição de cargas na estrutura, torna-se muito mais efetivo o dimensionamento adequado, do que nas metodologias tradicionais como a metodologia dos projetos auxiliados por computador (CAD) além do fato de que o próprio software retorna inconsistências e erros no decorrer de toda a análise, fazendo com que pequenas incompatibilidades não passem despercebidas ao projetista.

REFERÊNCIAS

AUTODESK. Modelagem de Informações de Edifícios. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/solutions/bim>>. Acesso em 08 ago. 2021.

AUTODESK. Robot Structural Analysis Professional. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>>. Acesso em 08 ago. 2021.

BELLUOMINI, Nayra. A evolução do CAD. Disponível em: <<https://blogs.autodesk.com/por-dentro-da-autodesk-brasil/2017/01/02/a-evolucao-do-cad/>>. Acesso em 08 ago. 2021.

CARDOSO, Andréia. MAIA, Bruno. SANTOS, Diogo. NEVES, João. MARTINS, Margarida. BIM: O que é?. Tese (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012/13.

JR. Francisco Gonçalves. BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia. Disponível em: <<https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

JUSTI, Alexander Rodrigues. Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 3, n. 1, pág. 140-152, 2008.

MARTHA, Luiz Fernando. Métodos básicos da análise de estruturas. Rio de Janeiro: Campus, 2010.

PAPADOPOULOS, Nicolas Alexandros et al. Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural. Sistemas & Gestão, v. 12, n. 1, p. 108-16, 2017.

PIZA, Isabella Faria. Roteiro de Modelagem Estrutural Utilizando a Tecnologia BIM, desde a Modelagem no Revit até a Análise Estrutural no Robot. 2017. 84 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campo mourão, 2017.

TARRAFA, Diogo Gonçalo Pinto. Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas. 2012. 69f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil na Especialidade de Mecânica Estrutural) – Faculdade de Ciências e Tecnologia: Universidade de Coimbra, Portugal, 2012.

LIMA, Claudia Campos Netto Alves de. Autodesk Revit Architecture 2015: Conceitos e aplicações. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014.