

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

EDUARDO FRIEDRICH

**ANÁLISE ESTRUTURAL: EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR DE 12 PAVIMENTOS SUBMETIDA A
ALTERAÇÕES ARQUITETÔNICAS VIA BIM**

Porto Alegre
Fevereiro de 2024

EDUARDO FRIEDRICH

**ANÁLISE ESTRUTURAL: EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR DE 12 PAVIMENTOS SUBMETIDA A
ALTERAÇÕES ARQUITETÔNICAS VIA BIM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Alexandre Rodrigues Pacheco

Porto Alegre

Fevereiro de 2024

EDUARDO FRIEDRICH

**ANÁLISE ESTRUTURAL: EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
MULTIFAMILIAR DE 12 PAVIMENTOS SUBMETIDA A
ALTERAÇÕES ARQUITETÔNICAS VIA BIM**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)

Dr. pela *Pennsylvania State University*
Orientador

Profa. Paula Manica Lazzari (UFRGS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profa. Bruna Manica Lazzari (PUCRS)

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Lauri e Denise, à minha irmã Fernanda, por todo amor, apoio e incentivo desde o início deste curso.

Agradeço ao colega e amigo Mateus Leote Dutra, pela amizade e apoio durante todas as etapas dessa jornada.

Agradeço ao professor Alexandre Rodrigues Pacheco pela orientação e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à professora Paula Manica Lazzari pela licença do TQS Pleno 2024 que possibilitou a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores e colaboradores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo tempo e dedicação.

O importante é não parar de questionar; a curiosidade tem sua própria razão de existir.

Albert Einstein

RESUMO

Este trabalho consiste em uma análise estrutural de um edifício residencial multifamiliar de 12 pavimentos, analisando intervenções estruturais e arquitetônicas por meio do sistema *Building Information Modeling* (BIM). Foram desenvolvidas desde as plantas arquitetônicas até o dimensionamento da estrutura utilizando *softwares* específicos como Revit 2024 e TQS Pleno v24, ambos em licenças estudantis. Inicialmente pré-dimensionada e modelada no Revit, a estrutura foi importada para dentro do TQS onde foi dimensionada (Modelo 0). Posteriormente, a estrutura original foi modificada no Revit onde foram feitas duas versões modificadas (Modelos 1 e 2) a partir da concepção inicial, simulando alterações que podem ocorrer durante a etapa de projeto de uma edificação. As novas estruturas foram importadas novamente para o TQS onde foram dimensionadas e detalhadas. Por fim, foi feita uma análise comparativa dos elementos estruturais mais afetados pelas modificações, visando identificar possíveis erros e inconsistências do processo de importação e exportação de estruturas entre os dois *softwares* utilizados. Apesar da facilidade de realizar este intercâmbio entre os programas, alguns erros foram identificados no processo, sendo necessária a verificação manual de todos os elementos da estrutura e suas correções quando necessário. A importação de informações como paredes e acabamentos de piso foi feita de maneira incoerente com o modelo gerado no Revit, uma vez que o TQS interpretou tais informações como limites de bordo, criando assim uma laje para cada ambiente. Os impactos causados pelas alterações nas vigas foram significativos, dada a redistribuição de cargas nos pavimentos afetados. Os pilares, no entanto, sofreram poucas alterações na sua taxa de armadura, em decorrência da pequena variação de carga vertical nos três modelos.

Palavras-chave: BIM. Revit. TQS. Modificações. Concreto armado. Vigas. Pilares. Lajes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caracterização do edifício no Revit.....	12
Figura 2 - pavimento térreo	13
Figura 3 - pavimento tipo	13
Figura 4 - Interpretação do TQS para formatos IFC	15
Figura 5 - Modelo 3D arquitetônico gerado no TQS pela importação via IFC.....	15
Figura 6 - Áreas de influência dos pilares	17
Figura 7 - Lançamento das vigas.....	19
Figura 8 - Espessuras das lajes do edifício	20
Figura 9 - Opções de importação do plugin TQS no Revit	21
Figura 10 - Importação do modelo no TQS.....	21
Figura 11 - Erros na importação das lajes no TQS	22
Figura 12 - Janela de erros apresentada ao final da exportação do modelo no Revit.....	23
Figura 13 - Viga sem seção definida no TQS	24
Figura 14 - Viga com seção errada no TQS, lançada no Revit com 45 cm de altura	24
Figura 15 - Viga V34 lançada no sentido contrário às demais	25
Figura 16 - Parâmetros para cargas de vento no TQS	26
Figura 17 - Parâmetros para importação da estrutura no Revit	28
Figura 18 - Corte da primeira modificação gerado no Revit.....	29
Figura 19 - Modelo estrutural do nível 11 da primeira modificação no TQS	30
Figura 20 - Corte da segunda modificação gerado no Revit	31
Figura 21 - Modelo estrutural do nível 11 da segunda modificação no TQS.....	31
Figura 22 - Pilares analisados.....	33
Figura 23 - Vigas analisadas	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente γ_n para pilares e pilares-parede.....	14
Tabela 2 - Cargas de parede utilizadas	24
Tabela 3 - Cargas distribuídas utilizadas nas lajes.....	25
Tabela 4 - Taxa de armadura geométrica nos pilares P1 e P28.....	31
Tabela 5 - Taxa de armadura geométrica no pilar P20	31
Tabela 6 - Taxa de armadura geométrica nos pilares P21 e P26	31
Tabela 7 - Taxa de armadura geométrica no pilar P22	32
Tabela 8 - Taxa de armadura geométrica nos pilares P23 e P30	32
Tabela 9 - Taxa de armadura geométrica no pilar P24	33
Tabela 10 - Taxa de armadura geométrica nos pilares P25 e P37	33
Tabela 11 - Taxa de armadura geométrica nos pilares P27 e P46.....	34
Tabela 12 – Comparativo entre os três modelos para as vigas V18 e V35.....	34
Tabela 13 – Comparativo entre os três modelos para a viga V39	35
Tabela 14 – Comparativo entre os três modelos para a viga frontal do mezanino	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 DIRETRIZES DE PESQUISA.....	11
2.1 Objetivos.....	11
2.1.1 Objetivo principal	11
2.1.2 Objetivos secundários	11
2.2 Delimitações	11
2.3 Limitações.....	11
3 METODOLOGIA.....	12
3.1 Caracterização do edifício – Modelo 0.....	12
3.2 Delineamento e modificações de projeto.....	14
3.3 Formatos utilizados.....	14
3.3.1 Formatos RTQ e TQR.....	14
3.3.2 Formatos IFC.....	14
4 DESENVOLVIMENTO	16
4.1 Pré-dimensionamento da estrutura	16
4.1.1 Pilares	16
4.1.2 Vigas	18
4.1.3 Lajes	19
4.2 Importação no TQS via arquivo RTQ.....	20
4.2.1 Erros de importação/exportação	22
4.3 Combinações das ações	25
4.3.1 Vento.....	25
4.3.2 Paredes.....	26
4.3.3 Lajes	27

4.4	Importação da estrutura no Revit via arquivo TQR	27
4.5	Modificações arquitetônicas via Revit	28
4.5.1	Modelo 01	28
4.5.2	Modelo 02	30
5	COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS	32
5.1	Pilares	32
5.2	Vigas	37
5.2.1	Viga V18/V35	38
5.2.2	Viga V39	38
5.2.3	Viga frontal do mezanino	39
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42
	APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO	43
	APÊNDICE B – REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS	45

1 INTRODUÇÃO

O uso do concreto armado é intrínseco à profissão do engenheiro civil, com larga presença em diversas áreas de atuação. Sua capacidade de adaptação à maioria dos usos estruturais, aliado com a oferta de insumos resulta que utilizá-lo é indispensável para um projetista de estruturas. A elaboração de um projeto estrutural requer que uma série de etapas sejam executadas para que o dimensionamento seja seguro e otimizado em relação aos custos. Uma das primeiras etapas é a elaboração do projeto arquitetônico, fundamental para a análise e concepção inicial da estrutura. A partir dele, são lançados os pilares, vigas e lajes, elementos que posteriormente serão pré-dimensionados e compatibilizados com a arquitetura para validar as escolhas e manter o conceito arquitetônico com o mínimo de interferências. Em alguns casos, no entanto, é possível que mesmo com o projeto estrutural já finalizado, sejam solicitadas mudanças arquitetônicas que influenciem na concepção da estrutura. Alguns anos atrás, mudanças significativas na arquitetura implicavam em dias de trabalho para redimensionar possíveis elementos afetados.

Apesar do setor da construção civil, quando comparado aos demais setores da economia, permanece relativamente estagnado quanto ao emprego de novas tecnologias e técnicas de execução, o sistema *Building Information Modeling* (BIM) é uma das tecnologias que vieram para revolucionar a área de projetos. Uma de suas principais vantagens é integrar programas com diferentes propósitos. Nesse sentido, a plataforma facilita e agiliza a análise de impactos que uma alteração arquitetônica causa em outras disciplinas de projeto, como a estrutural.

Atualmente, alguns dos programas com interface BIM mais utilizados por projetistas são o Revit, da Autodesk Inc., e o TQS, da empresa TQS Informática LTDA. Apesar de ambos os programas serem voltados à construção civil, são empregados em etapas diferentes do projeto. O Revit é amplamente utilizado para modelagem arquitetônica por profissionais tanto de arquitetura quanto de engenharia civil. O TQS, por sua vez, desempenha a parte de cálculo de esforços, dimensionamento e detalhamento de armaduras. É comum, portanto, que profissionais de engenharia utilizem os programas em conjunto. Em vista disso, este trabalho visa analisar a dinâmica entre estes programas verificando as consequências em termos estruturais de modificações menores e maiores na arquitetura e na própria estrutura e os reflexos em termos de compatibilização e uso das ferramentas BIM.

2 DIRETRIZES DE PESQUISA

2.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram subdivididos em principal e secundários, de acordo com a importância para a análise e conclusão do estudo.

2.1.1 Objetivo principal

Primariamente, este trabalho visa analisar a integração dos programas Revit da Autodesk, e TQS da empresa TQS Informática LDTA com o sistema BIM, verificando as consequências de modificações arquitetônica-estruturais.

2.1.2 Objetivos secundários

Outros objetivos importantes a serem atingidos neste trabalho são:

- a) Verificar possíveis erros de compatibilização e suas consequências;
- b) comparar diferentes modelos estruturais, contemplando modificações arquitetônicas em termos de consumo de materiais.

2.2 Delimitações

Este trabalho se delimita à análise da integração entre os programas Revit e TQS durante etapas de importação/exportação da estrutura de um edifício de 12 pavimentos situado na zona urbana da cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul.

2.3 Limitações

As limitações do trabalho são:

- a) As escadas do edifício não foram dimensionadas;
- b) No modelo estrutural não foram consideradas as escadas, elevadores e reservatórios;
- c) Não houve dimensionamento dos elementos de fundação;
- d) A verificação de estrutura de nós fixos ou móveis não será realizada.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do edifício – Modelo 0

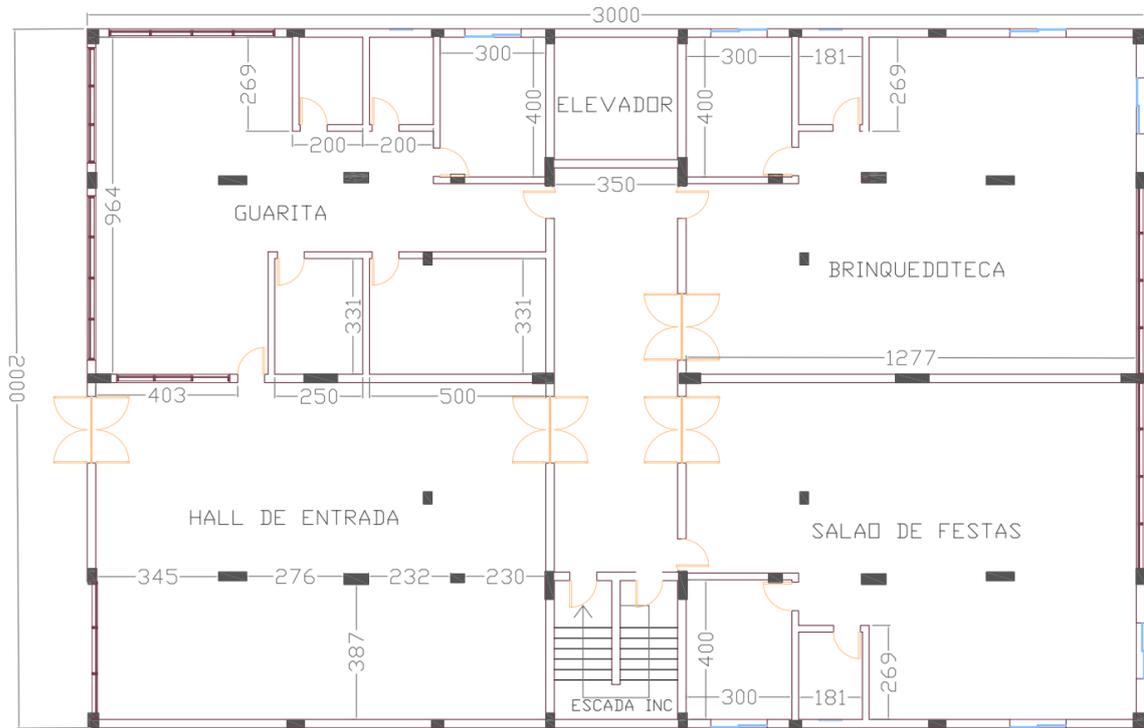
O edifício projetado para a realização deste trabalho possui função residencial, tendo em vista famílias de médio-alto padrão. É composto por 12 pavimentos, sendo 01 pavimento térreo, 10 pavimentos tipo e 01 pavimento de cobertura. O pavimento térreo, exibido na Figura 2, é composto por uma guarita, hall social, brinquedoteca e salão de festas. Os pavimentos tipo são compostos por 4 apartamentos idênticos, cada um possuindo 123,10 m² de área privativa, como mostra a Figura 3. O pavimento de cobertura foi projetado como uma laje impermeabilizada. Esta versão, ainda não modificada, é denominada Modelo 0. A área construída totaliza 7.200 m². A seguir é apresentada na Figura 1 a concepção arquitetônica do edifício:

Figura 1 - Caracterização do edifício no Revit



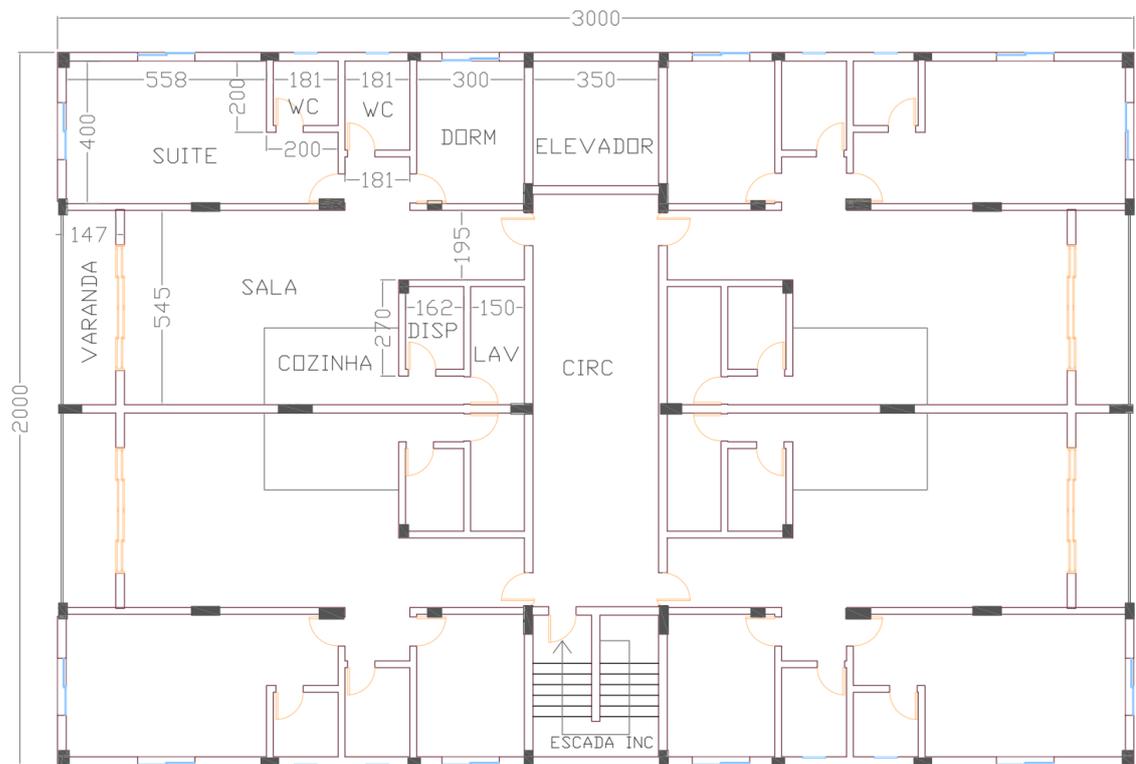
Fonte: (elaborada pelo autor)

Figura 2 - pavimento térreo



Fonte: (elaborada pelo autor)

Figura 3 - pavimento tipo



Fonte: (elaborado pelo autor)

3.2 Delineamento e modificações de projeto

Inicialmente, foram elaboradas no Revit as plantas arquitetônicas e estruturais dos pavimentos térreo, tipo e cobertura. Posteriormente, foi feito o pré-dimensionamento dos elementos estruturais e sua modelagem neste primeiro *software*. A fim de analisar a dinâmica entre os *softwares* mencionados, a estrutura foi exportada do Revit para o TQS para dimensionar a estrutura do edifício caracterizado na seção 2.4. Com a estrutura inicial dimensionada, foi feita a sua exportação do TQS para o Revit novamente. A fim dar continuidade à análise e simular uma situação comum nas etapas de projeto de edificações, foram feitas 02 alterações no projeto que visam alterar tanto a arquitetura quanto a estrutura da edificação. Ambas as modificações, denominadas Modelos 01 e 02, foram feitas no Revit e posteriormente exportadas para o TQS com a finalidade de analisar como os programas interpretam essas alterações e seus impactos no dimensionamento da estrutura.

3.3 Formatos utilizados

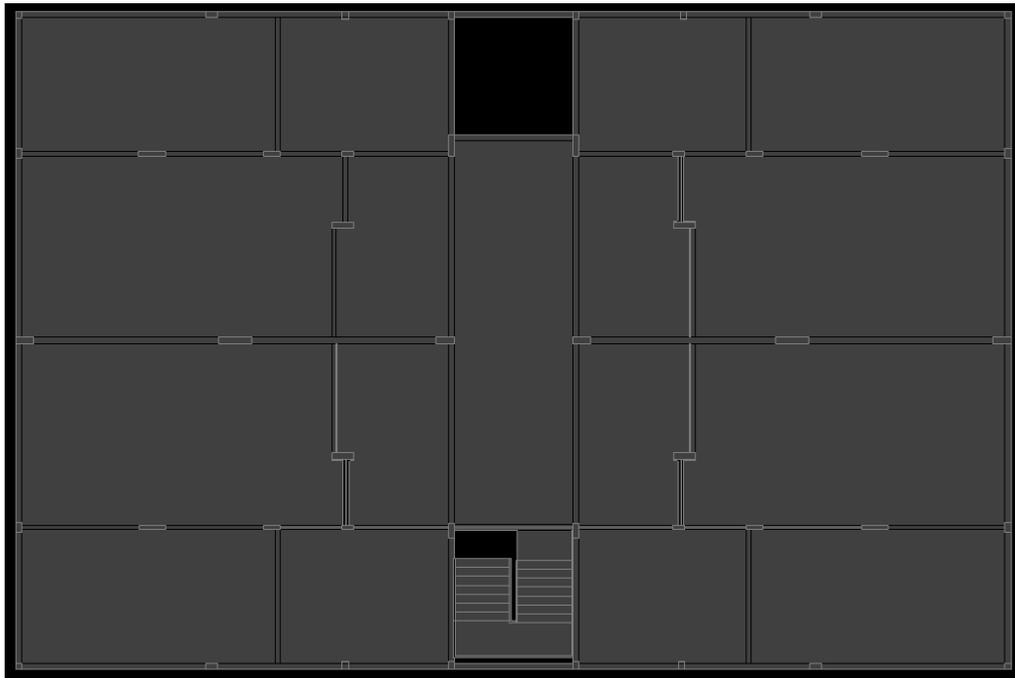
3.3.1 Formatos RTQ e TQR

Este formato é gerado através de um *plugin* desenvolvido pela TQS em conjunto com a Autodesk, instalado diretamente no Revit. Esta ferramenta pode ser baixada gratuitamente no site da TQS. Apesar de ainda estar em fase de desenvolvimento e da possibilidade de apresentar erros durante o processo de exportação do modelo, apresentou-se como a forma mais eficaz de transferência dos modelos entre os dois *softwares*, quando comparado às variações do formato IFC.

3.3.2 Formatos IFC

Foram feitas tentativas de importação da estrutura do Revit para o TQS utilizando os formatos IFC 4 e IFC 2x3 2.0, amplamente difundidos no sistema BIM. Infelizmente, o TQS não reconheceu as informações contidas nestes arquivos como elementos estruturais, gerando somente um modelo arquitetônico 3D. A figura 4 apresenta o modelo estrutural criado pelo TQS na importação de um arquivo IFC, onde é possível perceber a ausência de seções de pilares, vigas e espessuras de laje. Uma vez que a ideia deste trabalho é a importação da estrutura entre os *softwares*, este formato não foi utilizado para o restante do trabalho. As Figuras 4 e 5 mostram a interpretação do TQS para importação em formatos IFC, sendo possível notar a ausência de seções de pilares, vigas e espessuras de lajes, se tratando apenas de um desenho arquitetônico.

Figura 4 - Interpretação do TQS para formatos IFC



Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 5 - Modelo 3D arquitetônico gerado no TQS pela importação via IFC



Fonte: (elaborado pelo autor)

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Pré-dimensionamento da estrutura

A estrutura do edifício é formada por pilares, vigas e lajes em concreto armado, utilizando concreto de resistência característica igual a 40 MPa, aço com 600 MPa para barras de aço com diâmetro inferior a 6,3 mm e 500 MPa para barras com diâmetro igual ou superior a 6,3 mm. Os pavimentos possuem pé direito de 3,10 metros. A apresentação do pré-dimensionamento da estrutura é feita a seguir para cada tipo estrutural: pilares, vigas e lajes.

4.1.1 Pilares

Para a estimativa inicial da área de seção dos pilares, foi necessário conhecer a carga vertical estimada em cada um dos pilares, obtida através da equação 1. Inicialmente, foram definidas as áreas de influência dos pilares nos pavimentos, apresentadas na figura 6. Tendo em vista que se trata de um edifício residencial, a carga média por área considerada foi de 10 kN/m². A Tabela 1 apresenta os coeficientes γ_n adotados nesta etapa.

$$N_{k,est} = \gamma_n * N_k \quad (1)$$

Onde:

N_k é a estimativa de carga vertical no pilar, obtida pela área de influência de cada pilar multiplicada pelo número de pavimentos;

γ_n é o coeficiente adicional, obtido através da tabela 13.1 da NBR 6118:2023.

Tabela 1 - Coeficiente γ_n para pilares e pilares-parede

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

onde

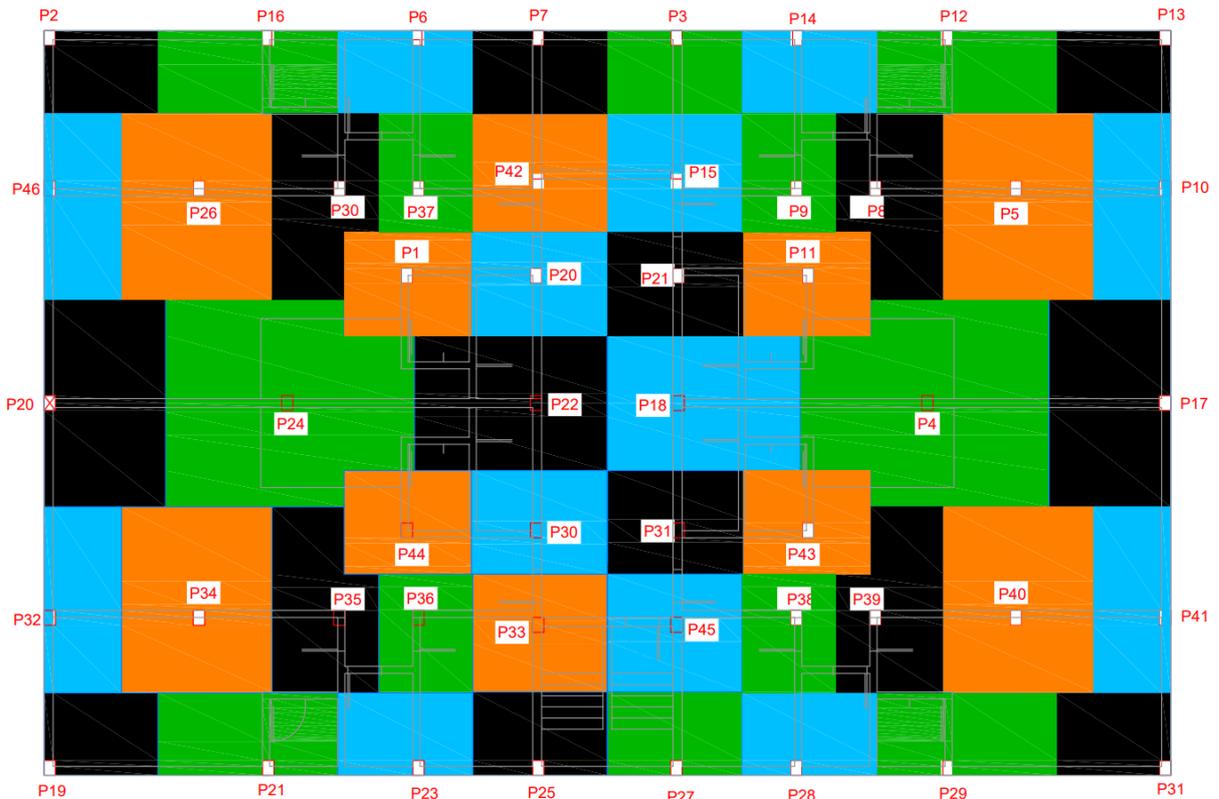
$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b;$$

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento.

Fonte: (ABNT NBR 6118:2023)

Figura 6 - Áreas de influência dos pilares



Fonte: (elaborada pelo autor)

Para estimar a área de seção bruta do pilar, foi utilizada a equação 2. A fim de compatibilizar a menor dimensão do pilar com a largura do bloco de alvenaria utilizado nas paredes, sempre que possível as menores dimensões das seções dos pilares foram padronizadas em 14 cm e 19 cm. Em alguns casos, para evitar situações de pilar-parede que demandam análises adicionais para evitar falha por flexão, essas dimensões foram aumentadas.

$$A_c = \frac{N_{k,est}}{0,5 * f_{ck}} \quad (2)$$

Onde:

A_c é a área bruta da seção de concreto;

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto.

Com o objetivo de verificar se as seções estavam adequadas, foi calculado para cada pilar o adimensional de força normal v , obtido através da equação 3. Para valores de v menores que 0,30 seria possível diminuir a seção e, para valores de v maiores que 1,30 seria necessário

aumentá-la. Ambos os coeficientes de ponderação das cargas γ_f e de minoração da resistência do concreto γ_c foram adotados como 1,4.

$$v = \frac{N_d}{A_c * f_{cd}} \quad (3)$$

onde:

$$N_d = N_{k,est} * \gamma_f \quad (4)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (5)$$

A fim de otimizar a estrutura, os pilares P20, P21, P30 e P31 foram removidos na versão final do Modelo 0. Para compensar a remoção destes pilares e solucionar erros apresentados pelo TQS durante o dimensionamento, os pilares tiveram suas seções majoradas. As seções finais e as resultantes do processo de pré-dimensionamento são exibidas no Apêndice A.

4.1.2 Vigas

Assim como nos pilares, a largura das vigas foi padronizada em 14 cm e 19 cm com o objetivo de compatibilizá-las com os blocos cerâmicos que compõe as paredes. As alturas seguiram os critérios expostos abaixo:

- a) Vigas biapoiadas ou tramos externos de vigas contínuas:

$$h = \frac{l}{10} \quad (6)$$

onde:

h é a altura da viga;

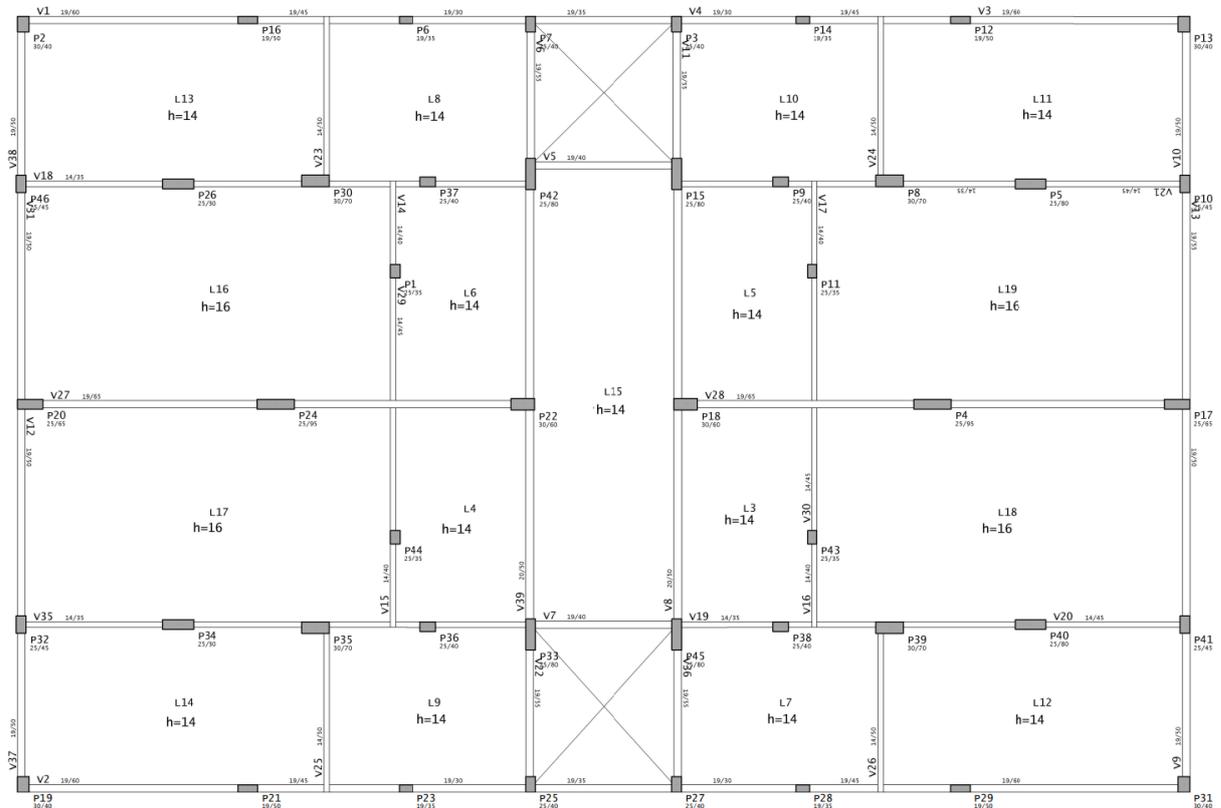
l é o comprimento do vão.

- b) Vigas contínuas:

$$h = \frac{l}{12} \quad (7)$$

O resumo com as seções das vigas é exibido no apêndice A.

Figura 7 - Lançamento das vigas



Fonte: (elaborada pelo autor)

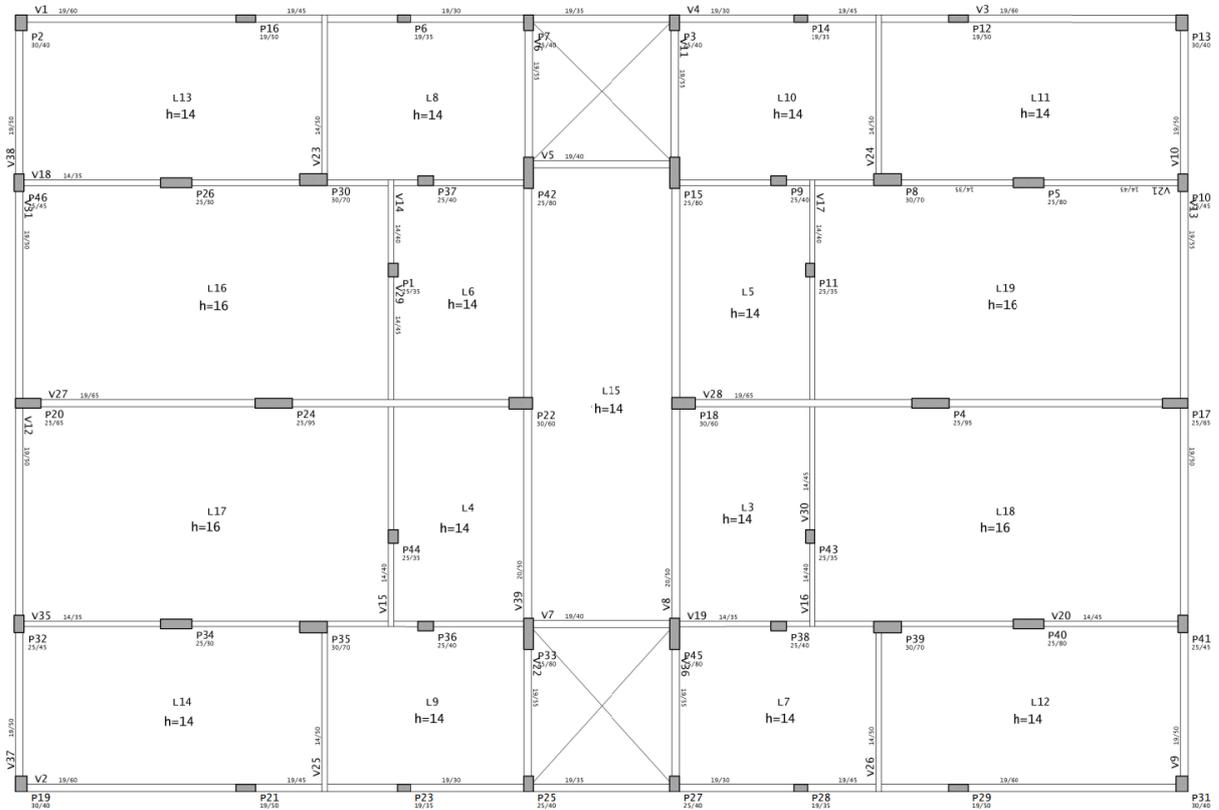
4.1.3 Lajes

As recomendações de espessura mínima para lajes, segundo o item 13.2.4.1 da NBR 6118:2023 são:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com pretensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

Visando atender a norma, mas proporcionando maior conforto acústico para a edificação, as espessuras das lajes foram definidas em 14 cm e 16 cm, conforme figura a seguir:

Figura 8 - Espessuras das lajes do edifício

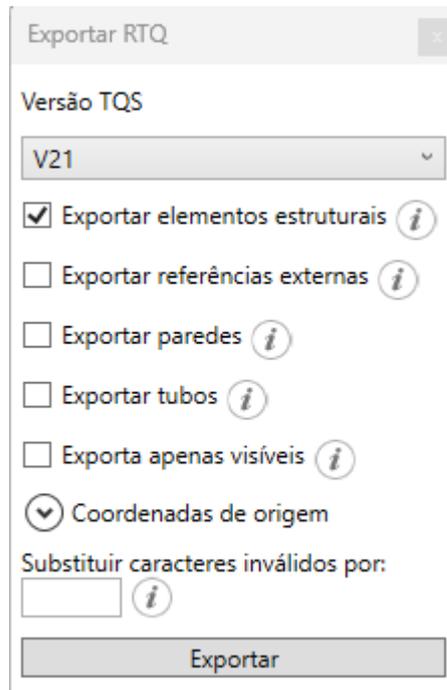


Fonte: (elaborada pelo autor)

4.2 Importação no TQS via arquivo RTQ

Primeiramente, foi necessário baixar e instalar o plugin a partir do site da TQS, selecionando a versão correta do Revit. Feito isso, para importar o arquivo RTQ, bastou acessar a aba TQS no Revit, clicar em “Exportar RTQ”, selecionar a versão do TQS e os elementos a serem exportados, como mostra a Figura 9.

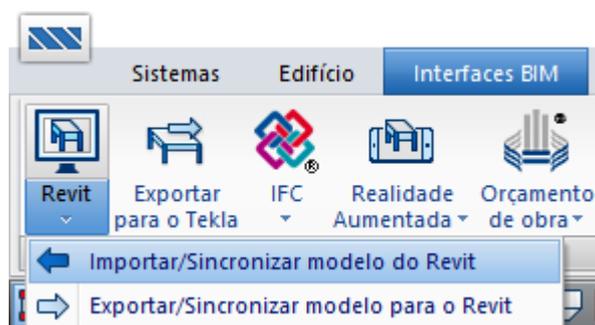
Figura 9 - Opções de importação do plugin TQS no Revit



Fonte: (elaborada pelo autor)

Para importar o modelo no TQS, foi preciso acessar a aba “Interfaces BIM”, selecionar a opção “Revit” e “Importar/Sincronizar modelo do Revit”.

Figura 10 - Importação do modelo no TQS



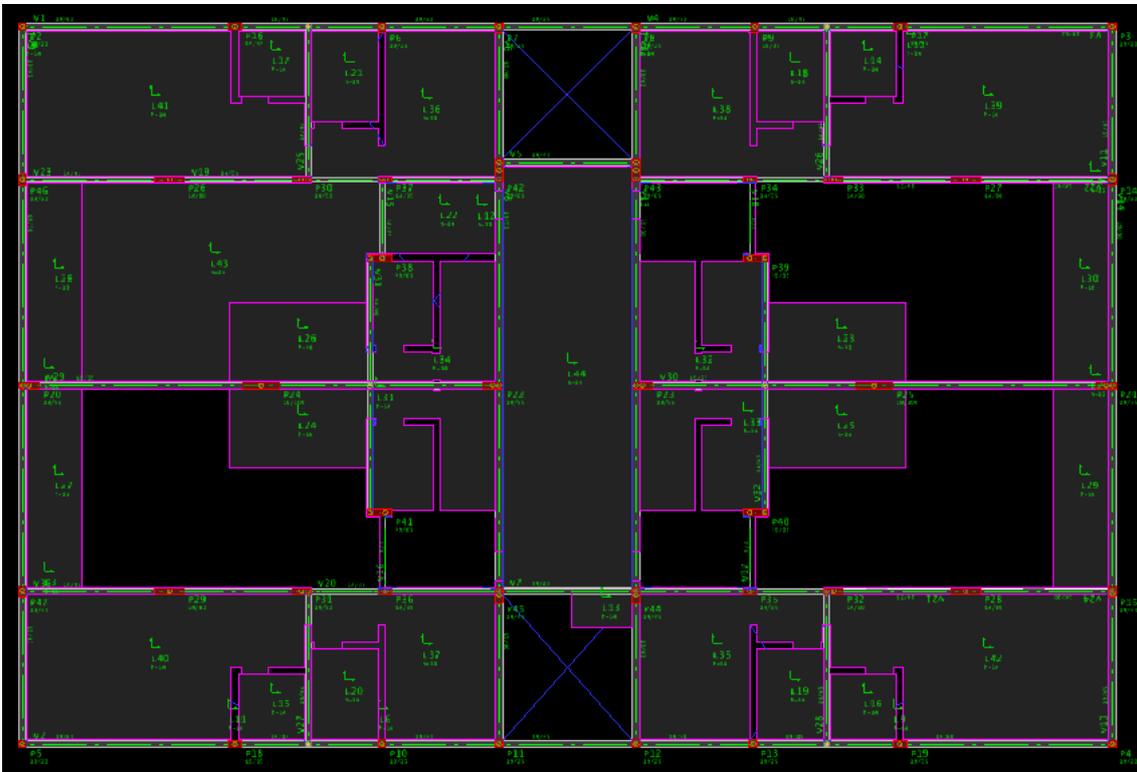
Fonte: (elaborada pelo autor)

Inicialmente, as versões dos softwares utilizados foram a versão de estudante do Revit 2024 e, para o TQS, a Unipro 2021. Apesar do plugin ser compatível com esta versão do TQS, ocorreram alguns erros durante a importação do modelo, como se verá a seguir.

4.2.1 Erros de importação/exportação

Como mostrado na figura 9, o plugin oferece algumas opções de importação, dentre elas a exportação de paredes. Na prática, entretanto, mesmo selecionando apenas os elementos estruturais, as paredes e diferentes acabamentos de piso são exportados para o modelo. O TQS, erroneamente, interpreta paredes e transições de piso como fechamentos de bordo, gerando assim uma laje para cada ambiente, apesar do lançamento estar correto no Revit. As imagens abaixo mostram, respectivamente, a importação do modelo no TQS e a estrutura lançada no Revit. Para corrigir esse erro, foi necessário eliminar todos os elementos não estruturais do modelo no Revit, como pisos, paredes e esquadrias antes de fazer a exportação.

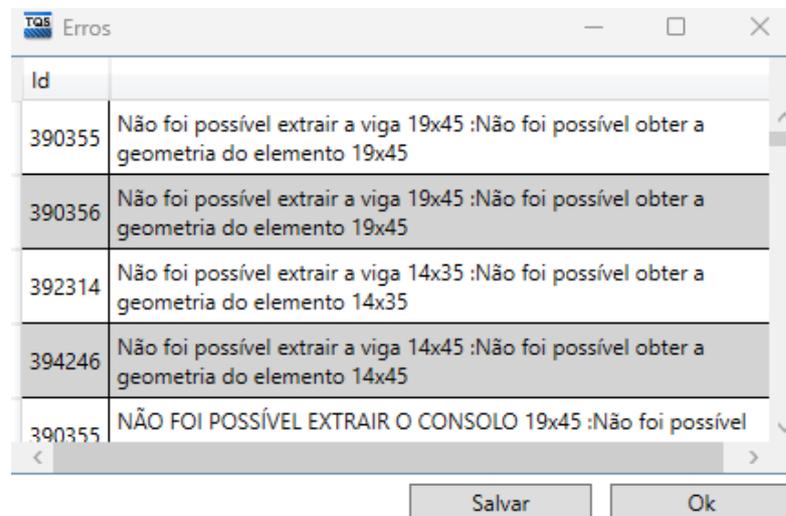
Figura 11 - Erros na importação das lajes no TQS



Fonte: (elaborada pelo autor)

Apesar de solucionar os erros referentes às lajes e fechamentos de bordo, a exclusão de elementos não estruturais não tornou o processo de exportação livre de erros. Ao final da geração do arquivo RTQ, foi exibida uma janela de erro que pode ser vista na figura 12. Na prática, isso resultou em algumas vigas sendo importadas com a seção transversal incorreta, ou até mesmo sem seção, como mostram as figuras 13 e 14, respectivamente.

Figura 12 - Janela de erros apresentada ao final da exportação do modelo no Revit



Fonte: (elaborada pelo autor)

Figura 13 - Viga sem seção definida no TQS



Fonte: (elaborada pelo autor)

Figura 14 - Viga com seção errada no TQS, lançada no Revit com 45 cm de altura

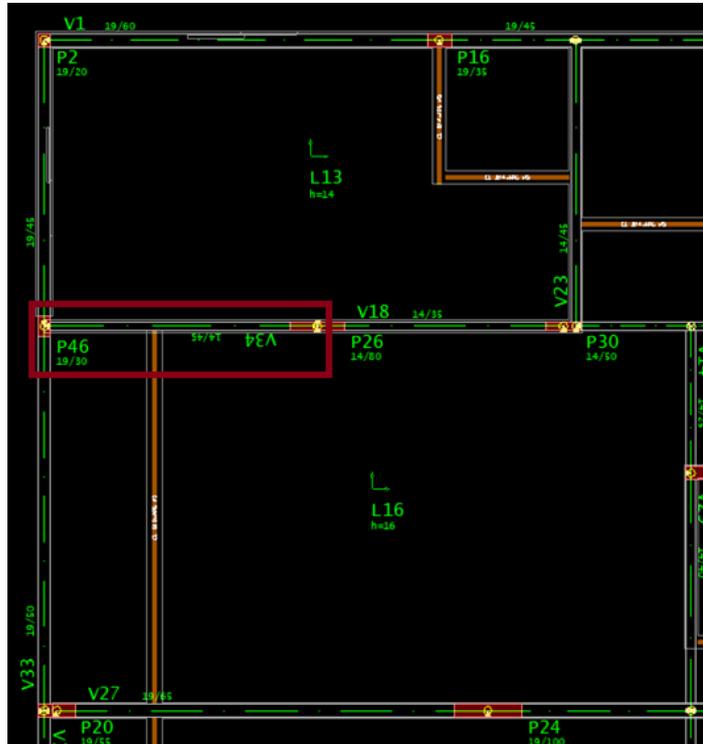


Fonte: (elaborada pelo autor)

Ao usar a ferramenta de consistência da planta do TQS para os pavimentos tipo, foi exibido o erro de “Geometria Inválida” para as lajes L13 e L16. Como é possível perceber pela figura 15, as informações da viga V34 encontram-se invertidas quando comparada às demais. Isso se dá em função do lançamento dela ter sido feito da direita para a esquerda, enquanto as outras foram

lançadas da esquerda para a direita. A solução para este erro foi refazer o seu lançamento da esquerda para a direita.

Figura 15 - Viga V34 lançada no sentido contrário às demais



Fonte: (elaborada pelo autor)

4.3 Combinações das ações

4.3.1 Vento

Utilizando como base a ABNT NBR 6123:2023, a velocidade básica do vento considerada para a cidade de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, foi de 45 m/s. Considerando que a edificação em questão fosse construída num terreno plano num bairro residencial da cidade, foi considerado $S1=1,00$ e a categoria de rugosidade como classe III. Uma vez que a maior dimensão horizontal da planta é 30 metros, a classe da edificação foi definida como B. O fator estatístico para edificações residenciais é de 1,00. Os coeficientes de arrasto do empreendimento foram calculados pelo próprio TQS. Foram adotadas as combinações ELU com valores característicos presentes no TQS, adotando $\gamma_f=1,4$. A Figura 16 apresenta os parâmetros considerados para o cálculo das ações devido ao vento.

Figura 16 - Parâmetros para cargas de vento no TQS

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.25	Não	0
2	270	1.25	Não	0
3	0	1.04	Não	0
4	180	1.04	Não	0

Fonte: (elaborada pelo autor)

4.3.2 Paredes

As cargas de parede foram calculadas seguindo a norma NBR 6120:2019, considerando alvenarias de vedação compostas por blocos cerâmicos vazados de 14 e 19 centímetros, ambos em conjunto com 2,5 centímetros de argamassa em cada face da parede. Uma vez que a norma fornece os valores de carga para no máximo 2 cm de argamassa em cada face, foi feita uma extrapolação linear a fim de se chegar nos valores aproximados para as espessuras de 2,5 cm, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Cargas de parede utilizadas

Título	Descrição	Permanente (tf/m ²)	Variável (tf/m ²)
B14+ARG	ALVENARIA DE BLOCO 14CM + 5CM ARG	0,2141	0
B19+ARG	ALVENARIA DE BLOCO 19CM + 5CM ARG	0,2855	0

Fonte: (elaborada pelo autor)

O lançamento destas cargas no TQS foi feito utilizando a opção de cargas distribuídas linearmente, para uma altura de parede padronizada em 2,70 metros em todas as vigas e lajes.

4.3.3 Lajes

As cargas distribuídas em laje foram lançadas utilizando uma combinação pré-existente no TQS chamada “APART7”, a qual considera um enchimento de 7 cm em toda a laje do apartamento. A escolha dessa combinação visa dimensionar as lajes a favor da segurança, tendo em vista a possibilidade do uso de contrapiso de argamassa e revestimento cerâmico em todas as lajes. No pavimento cobertura a combinação escolhida foi a “COBERT1”, por considerar uma laje descoberta e impermeabilizada.

Tabela 3 - Cargas distribuídas utilizadas nas lajes

Título	Descrição	Permanente (tf/m ²)	Variável (tf/m ²)
APART1	SALA/COZINHA/DORMITORIO	0,1	0,15
APART7	APARTAMENTO COM ENCHIMENTO DE 7 cm	0,15	0,15
BAILE1	SALAO DE BAILE/GINASTICA	0,1	0,5
BARRILET	BARRILETE	0,05	0,1
CASAMAQ	CASA DE MAQUINAS	0,5	0,1
COBERT1	TERRAÇO DESCOBERTO (Impermeabilizado)	0,15	0,1

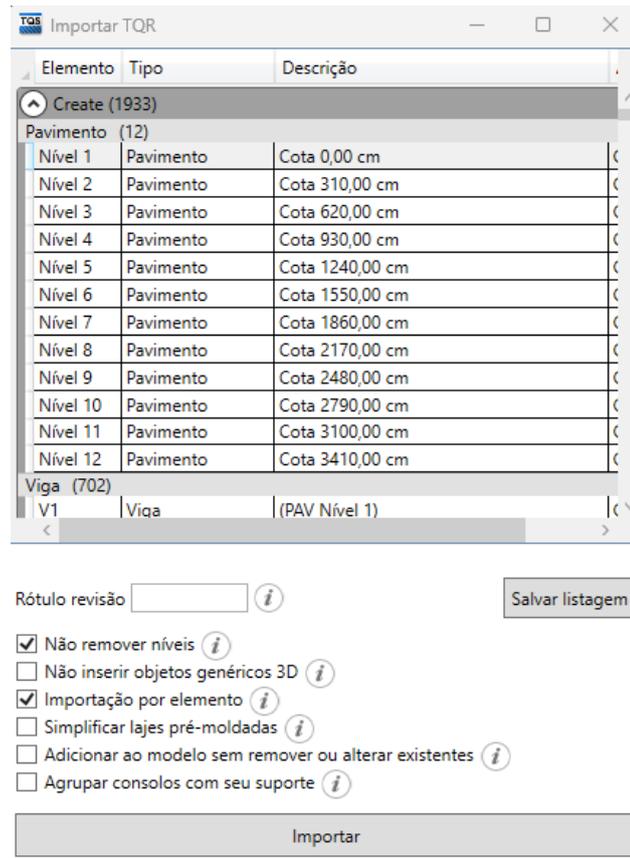
Fonte: (elaborada pelo autor)

4.4 Importação da estrutura no Revit via arquivo TQR

A fim de simular uma alteração de projeto já com a estrutura original dimensionada, a partir do TQS foi gerado um arquivo TQR que, dentro do Revit, pôde ser importado para que a estrutura fosse integrada com a arquitetura e possibilitasse as alterações arquitetônicas desejadas. A versão Unipro do TQS 2021 oferecia esta opção somente para o Revit 2020, a qual a Autodesk já não oferecia mais para *download* em seu site. Para dar continuidade ao trabalho, foi necessário utilizar uma versão do TQS mais recente, neste caso a versão 2024 Pleno. Ao contrário do processo exposto na seção 3.2, neste procedimento não foram identificados erros que precisassem ser resolvidos no programa de destino. A estrutura foi importada para dentro do Revit, gerando as famílias próprias do TQS para os elementos estruturais, sendo todos eles

gerados com as dimensões corretas. Para facilitar as modificações no Revit, durante a importação foram selecionadas as opções “Não remover níveis” e “Importação por elemento”, sendo esta última responsável por importar cada elemento de forma independente, o que facilita sua manipulação no *software*.

Figura 17 - Parâmetros para importação da estrutura no Revit



Fonte: (elaborada pelo autor)

4.5 Modificações arquitetônicas via Revit

4.5.1 Modelo 01

A primeira modificação feita na edificação tem o objetivo de introduzir mudanças de pouco impacto na estrutura da edificação. Foi considerado que 4 apartamentos, dois no 10º, e outros dois no 11º pavimento, seriam englobados de maneira a serem transformados num duplex. Assim, a modificação feita (Modelo 01) consistiu na remoção de duas lajes, formando uma

espécie de mezanino com a laje criada no 11º pavimento, que seria acessado por meio de escada (não dimensionada). As Figuras 18 e 19 mostram as modificações feitas.

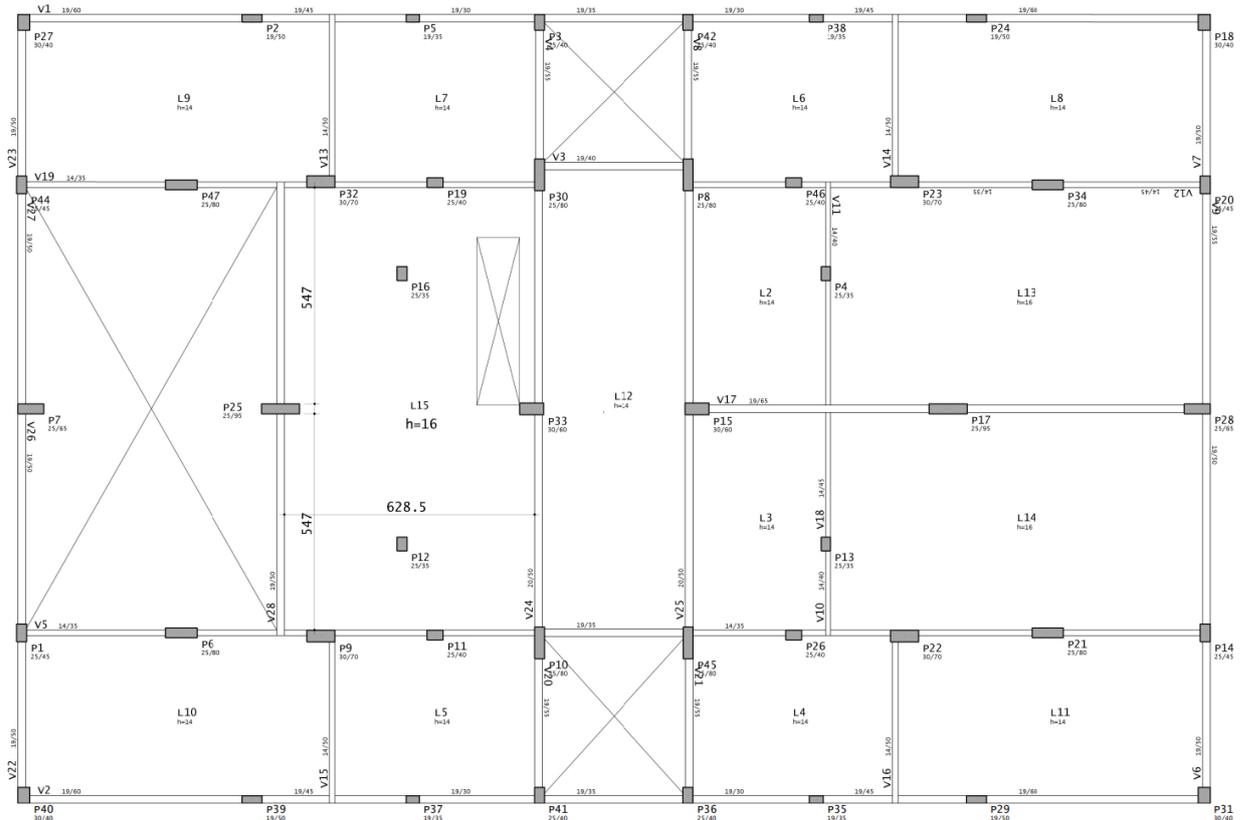
Figura 18 - Corte da primeira modificação gerado no Revit



Fonte: (elaborada pelo autor)

As lajes das salas e dispensas foram substituídas por uma única laje L15 do mezanino. Para suportar essa laje, foi adicionada uma viga V28 no seu bordo lateral, apoiada no pilar P25 e nas vigas V5 e V19. O modelo foi exportado para o TQS seguindo o procedimento descrito no item 3.2 deste trabalho. Desta vez, mesmo gerando uma janela de erros ao final da exportação dentro do Revit, não foram encontradas anomalias como as citadas na seção 3.2.1, provavelmente em função do uso de uma versão mais recente do TQS.

Figura 19 - Modelo estrutural do nível 11 da primeira modificação no TQS



Fonte: (elaborada pelo autor)

4.5.2 Modelo 02

A segunda modificação, por sua vez, visou modificar a estrutura de forma mais acentuada, trazendo uma situação com maior potencial de afetar os elementos estruturais remanescentes originais (Modelo 0). Neste caso, também partindo da estrutura original, foram feitas alterações semelhantes às da primeira modificação, porém removendo todos os elementos estruturais visíveis a uma pessoa situada no mezanino do 11º pavimento, ou seja, atingindo, além da laje, também pilares e vigas.

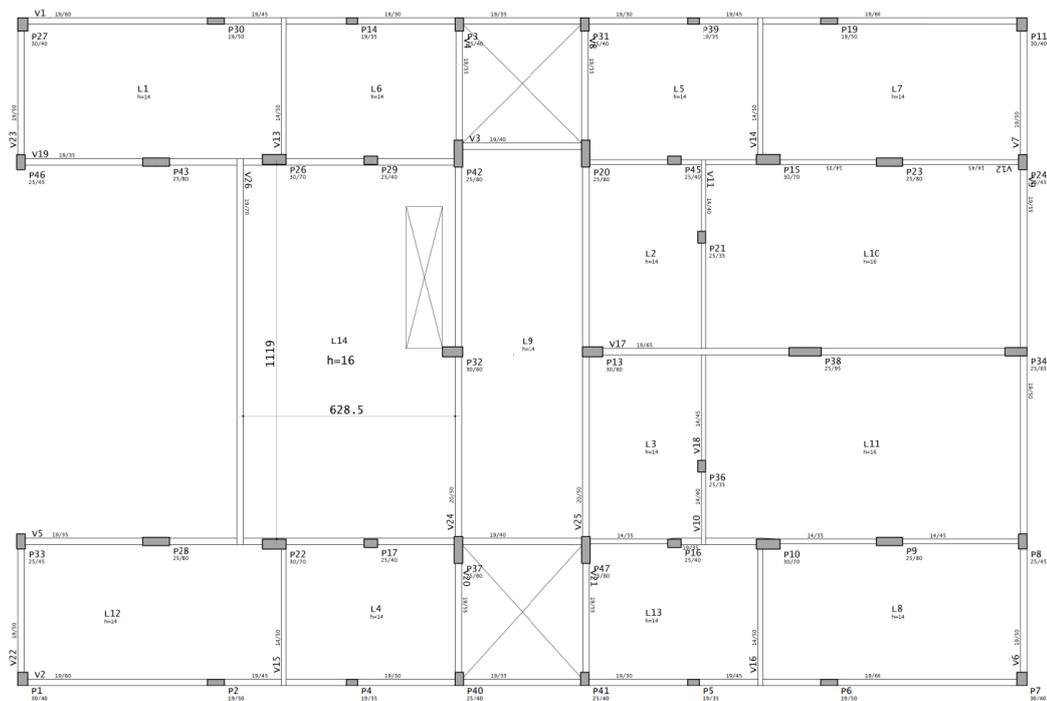
Figura 20 - Corte da segunda modificação gerado no Revit



Fonte: (elaborada pelo autor)

Os pilares P12, P18, P25 e P41 foram descontinuados nos pavimentos 10 e 11. Para suportar a laje do mezanino, as vigas V10, V11 e V21 deram lugar à viga V26, apoiada nas vigas V5 e V19. A fim de possibilitar que a pele de vidro da fachada fosse considerada do 10º pavimento até o 12º, foram também removidas as V30 e V31.

Figura 21 - Modelo estrutural do nível 11 da segunda modificação no TQS



Fonte: (elaborada pelo autor)

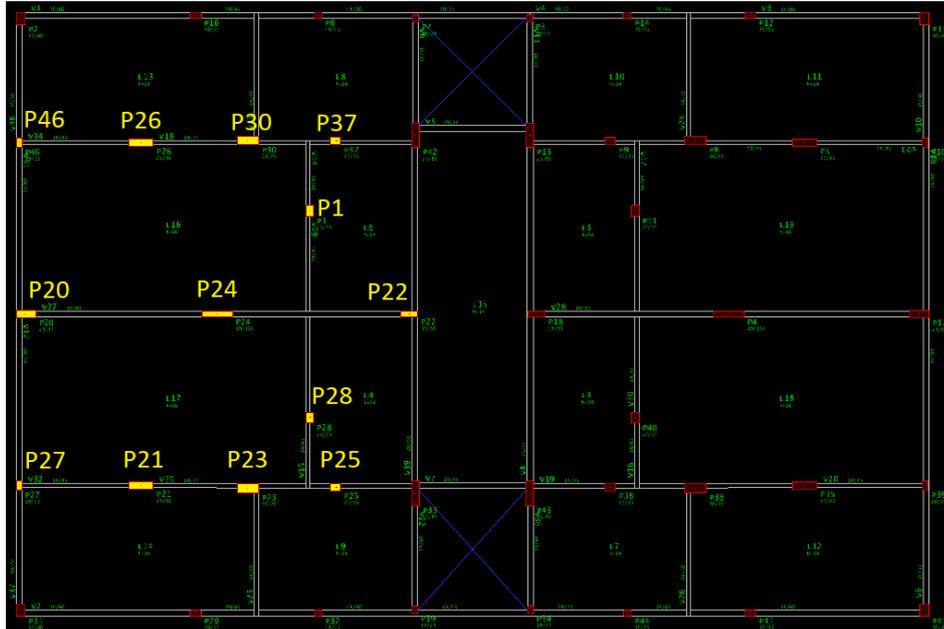
5 COMPARATIVO ENTRE OS MODELOS

A fim de verificar as consequências em termos estruturais das alterações e a dinâmica entre os programas TQS e Revit, foi estabelecido um comparativo entre as armaduras nos elementos mais afetados pelas mudanças arquitetônicas e estruturais propostas. Foi utilizado como base de comparação o nível 11, onde ocorrem as principais diferenças na distribuição de cargas entre as diferentes versões da estrutura, como pode ser visualizado no Apêndice B. Antes de realizar este comparativo, ambos os modelos estruturais foram verificados tanto no Estado Limite Último quanto no Estado Limite de Serviço.

5.1 Pilares

Na Figura 22 estão destacados em amarelo os pilares analisados neste comparativo. No Modelo 01, todos os pilares estão preservados, sendo apenas 2 lajes removidas, resultando em pouco impacto sobre a estrutura. No Modelo 02 os pilares P1, P20, P24, P22 e P28 foram descontinuados a partir do nível 10. Por se tratar de uma estrutura simétrica, alguns pilares foram agrupados nas tabelas 3 a 10, utilizadas para comparar as taxas geométricas de armadura nas seções dos pilares. É importante salientar que não houveram alterações nas seções dos pilares entre as diferentes versões da estrutura. Em ambos os modelos, todos os pilares apresentaram taxa de armadura inferior a 4% da área de concreto, visando garantir que na região de transpasse a taxa de armadura não ultrapasse 8% como solicitado no item 17.3.5.3.2 da NBR 6118:2023. Nas tabelas 4 a 10 são exibidas as taxas de armadura dos pilares para cada nível nos três modelos, as armaduras mínimas e as armaduras utilizadas.

Figura 22 - Pilares analisados



Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 4 – Taxa de armadura geométrica nos pilares P1 e P28

PILARES P1 E P28 (25x35 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	Menor As utilizada [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
3,50	4,91	12	0,56	0,56	-
		11	0,56	0,56	-
		10	0,56	0,56	0,56
		9	0,56	0,56	0,56
		8	0,56	0,56	0,56
		7	0,56	0,56	0,56
		6	0,56	0,56	0,56
		5	0,56	0,56	0,56
		4	0,56	0,84	0,56
		3	0,84	0,84	0,56
		2	0,84	1,84	0,84

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 5 – Taxa de armadura geométrica no pilar P20

PILAR P20 (25x65 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
6,5	7,36	12	0,45	0,45	-
		11	0,45	0,45	-
		10	0,45	0,45	0,45

PILAR P20 (25x65 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
6,50	7,36	9	0,45	0,45	0,45
		8	0,45	0,45	0,45
		7	0,45	0,45	0,45
		6	0,45	0,60	0,45
		5	0,60	0,60	0,45
		4	0,60	0,76	0,60
		3	0,76	1,24	0,76
		2	0,91	2,32	1,24

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 6 – Taxa de armadura geométrica nos pilares P21 e P26

PILARES P21 E P26 (25x80 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
8,00	7,85	12	0,39	0,39	0,39
		11	0,39	0,39	0,39
		10	0,39	0,39	0,39
		9	0,39	0,39	0,39
		8	0,39	0,39	0,39
		7	0,39	0,39	0,39
		6	0,39	0,39	0,39
		5	0,39	0,39	0,39
		4	0,47	0,47	0,47
		3	0,47	0,47	0,47
		2	0,55	0,55	0,55

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 7 – Taxa de armadura geométrica no pilar P22

PILAR P22 (30x60 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
6,50	7,36	12	0,41	0,41	0,41
		11	0,41	0,41	0,41
		10	0,41	0,41	0,41
		9	0,41	0,41	0,41
		8	0,41	0,41	0,41
		7	0,41	0,55	0,55
		6	0,55	0,89	0,55
		5	0,55	0,89	0,68
		4	0,68	0,89	0,82

PILAR P22 (30x60 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
6,50	7,36	3	0,68	1,75	2,09
		2	1,34	2,73	2,79

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 8 – Taxa de armadura geométrica nos pilares P23 e P30

PILARES P23 E P30 (30x70 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	As [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
8,40	9,82	12	0,47	0,47	0,47
		11	0,47	0,47	0,47
		10	0,47	0,47	0,47
		9	0,47	0,47	0,47
		8	0,47	0,47	0,47
		7	0,47	0,47	0,47
		6	0,47	0,47	0,47
		5	0,47	0,47	0,47
		4	0,47	0,47	0,47
		3	0,47	0,47	0,47
		2	0,47	0,47	0,58

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 9 – Taxa de armadura geométrica no pilar P24

PILAR P24 (25x95 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	Menor As utilizada [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
9,50	9,82	12	0,41	0,41	-
		11	0,41	0,41	-
		10	0,41	0,41	0,41
		9	0,41	0,41	0,41
		8	0,41	0,41	0,41
		7	0,41	0,41	0,41
		6	0,52	0,52	0,41
		5	0,62	0,62	0,52
		4	0,62	0,62	0,52
		3	0,83	0,72	0,62
		2	2,12	1,85	0,72

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 10 – Taxa de armadura geométrica nos pilares P25 e P37

PILARES P25 E P37 (25x40 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	Menor As utilizada [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
4,00	4,71	12	0,47	0,47	0,47
		11	0,47	0,47	0,47
		10	0,47	0,47	0,47
		9	0,47	0,47	0,47
		8	0,47	0,47	0,47
		7	0,47	0,47	0,47
		6	0,47	0,47	0,47
		5	0,47	0,47	0,47
		4	0,47	0,47	0,47
		3	0,47	0,63	0,63
		2	0,63	0,63	0,63

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 11 – Taxa de armadura geométrica nos pilares P27 e P46

PILARES P27 E P46 (25x45 cm) - ρ [%]					
As,mín [cm ²]	Menor As utilizada [cm ²]	NÍVEL	Modelo 0	Modelo 1	Modelo 2
4,50	4,71	12	0,42	0,42	1,07
		11	0,42	0,42	0,42
		10	0,42	0,42	0,42
		9	0,42	0,42	0,42
		8	0,42	0,42	0,42
		7	0,42	0,42	0,42
		6	0,42	0,42	0,42
		5	0,42	0,65	0,65
		4	0,65	0,65	0,65
		3	0,65	0,65	0,65
		2	0,65	1,07	1,07

Fonte: (elaborada pelo autor)

Analisando as tabelas apresentadas acima, é possível perceber que não houve uma variação na taxa geométrica de armadura nas seções dos pilares no nível 11, o mais afetado pela redistribuição de cargas das modificações, como é evidenciado no Apêndice B. Isso é resultado do fato de que a carga vertical nesse pavimento não sofrer variações significativas, predominando a armadura mínima calculada pelo TQS. Nos níveis inferiores, no entanto, houveram variações na taxa ρ , em função do aumento de carga decorrente da redistribuição de esforços causada pelas alterações na estrutura.

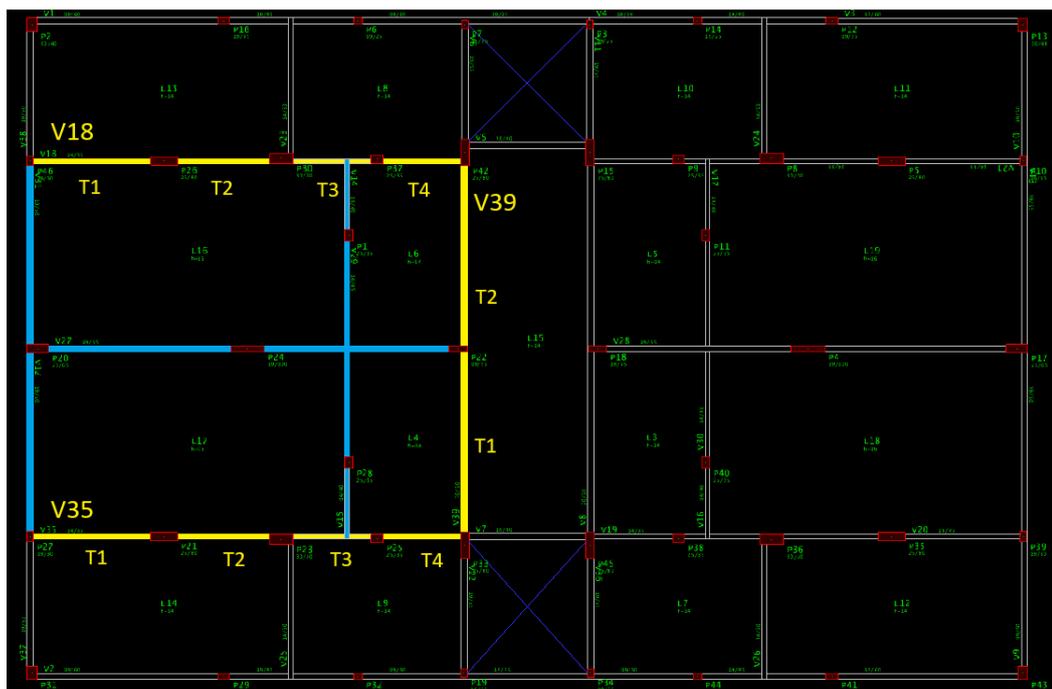
Os pilares P1 e P28 sofreram um aumento na taxa de armadura no Modelo 1 em função de absorverem mais esforços provenientes da laje L15 do mezanino, mais espessa quando comparada às lajes L4 e L6 do Modelo 0. No Modelo 2, entretanto, esses pilares não recebem cargas diretamente da laje do mezanino e sua taxa de armadura permanece a mesma do Modelo 0.

Dentre os pilares analisados, o P22 sofreu o maior aumento na sua taxa de armadura em decorrência das modificações, mas nos níveis inferiores. Esse efeito resulta do aumento da espessura da laje L15 do mezanino quando comparada às lajes L4 e L6 do Modelo 0, somado ao aumento de esforços transmitidos pela viga V39 que será exibido na seção 4.7.2.

5.2 Vigas

Perante as alterações feitas na estrutura, as vigas foram os elementos mais afetados pela redistribuição de cargas e esforços. Na Figura 23, estão destacadas em amarelo as vigas usadas para efeitos de comparação, uma vez que as outras vigas do edifício não sofreram alterações na sua seção e carga. A fim de acentuar os impactos das modificações e ser mais coerente com as premissas arquitetônicas, as vigas destacadas em azul foram removidas, como apresentado na seção 3.5.2.

Figura 23 - Vigas analisadas



Fonte: (elaborado pelo autor)

5.2.1 Viga V18/V35

Em todas as estruturas analisadas, esta viga recebe a carga de outra viga. No modelo 0 esta situação acontece no trecho 3 e nos modelos 1 e 2, no trecho 2. Nesta última alteração, ela recebe uma significativa mudança de seção. Isso se dá em função da viga V26, a qual se apoia na V18 e V35, precisar vencer um vão de mais de 11 metros e conseqüentemente exigir uma altura significativamente maior. A tabela a seguir apresenta o comparativo entre os três modelos em relação ao peso de aço calculado:

Tabela 12 – Comparativo entre os três modelos para as vigas V18 e V35

Modelo	Peso de aço [kgf]	Vão Trecho 1 [m]	Vão Trecho 2 [m]	Vão Trecho 3 [m]	Vão Trecho 4 [m]	Seção [cm]
0	74	3,48	2,76	2,32	2,30	19x35
1	64	3,48	2,76	2,32	2,30	19x35
2	84	3,48	2,76	2,32	2,30	19x35

Fonte: (elaborada pelo autor)

A tabela acima, gerada a partir de dados obtidos no TQS, evidencia que esta viga sofre um aumento no peso de aço das armaduras. Isso pode ser explicado em função da viga frontal do mezanino ser apoiada nela, a qual transmite cargas provenientes da laje do mezanino. Soma-se a isso a ausência da viga entre os pilares P20 e P24 que anteriormente suportava as cargas das lajes das salas de estar e dispensas.

5.2.2 Viga V39

A viga V39 também sofreu alterações em sua armadura após as modificações realizadas. Isso acontece em função da laje do mezanino possuir dimensões e peso consideravelmente maiores em relação às anteriores. É possível notar também uma diferença na armadura entre os trechos 1 e 2 desta viga, exibida no detalhamento presente no Apêndice B. Essa diferença pode ser explicada em função da abertura na laje para a execução da escada de acesso ao mezanino, localizada logo ao lado do trecho 2, fazendo com que a laje transfira menos carga à viga neste local.

Tabela 13 – Comparativo entre os três modelos para a viga V39

Modelo	Peso de aço [kgf]	Vão Trecho 1 [m]	Vão Trecho 2 [m]	Seção [cm]
0	112	5,37	5,37	20x50
1	122	5,37	5,37	20x50
2	124	5,37	5,37	20x50

Fonte: (elaborada pelo autor)

A partir da Tabela 12, é possível perceber que o aumento no peso de aço acompanha o grau de modificação da estrutura. Esse efeito acontece pelo fato da V39 suportar cargas de uma laje mais espessa e maior nos Modelos 1 e 2, visto que no Modelo 0 as lajes dos apartamentos possuíam espessura de 14 cm, além de contar com vigas intermediárias entre os pilares P24 e P22, e entre os P1 e P28.

5.2.3 Viga frontal do mezanino

Com o objetivo de proporcionar um espaço amplo neste ambiente provocando mudanças na disposição da estrutura neste pavimento, foi criada uma única laje para o mezanino. Neste processo, as vigas V14, V15, V27 e V29 foram removidas para dar lugar à viga V28, criada para suportar esta laje. Como mostrado anteriormente, na segunda modificação esta viga precisou vencer um vão de mais de 11 metros, sendo necessário aumentar significativamente a sua seção. Utilizando como método de pré-dimensionamento a fórmula citada na seção 3.1.2, esta viga teria aproximadamente 95 centímetros de altura, inviabilizando um pé direito aceitável no 10º pavimento. Para solucionar esse problema, admitiu-se uma altura de 70 centímetros, posteriormente validada pelo TQS.

Tabela 14 – Comparativo entre os três modelos para a viga frontal do mezanino

Modelo	Peso de aço [kgf]	Taxa de aço [kgf/m ³]	Vão Trecho 1 [m]	Vão Trecho 2 [m]	Seção [cm]
0	-	-	-	-	-
1	62	57,6	5,67	5,67	19x50
2	202	134,2	11,33	-	19x70

Fonte: (elaborada pelo autor)

A Tabela 13 evidencia que tanto o peso de aço quanto a taxa de aço dessa viga aumentam significativamente do Modelo 1 para o Modelo 2. Esse fenômeno decorre da ausência de um apoio central, antes exercido pelo pilar P24, aumentando consideravelmente o vão a ser vencido. A ausência dos pilares P1 e P28 que antes ajudavam a suportar a carga da laje do mezanino contribui para o aumento de esforços a serem suportados pela viga.

6 CONCLUSÃO

O objetivo de entender o funcionamento das etapas de um projeto e como a alteração em cada uma das disciplinas afeta as outras foi atingido. Durante o processo concepção inicial da estrutura, ficou clara a necessidade de fazer uma análise do projeto arquitetônico a fim de realizar o lançamento estrutural com eficiência, visando simplificar e otimizar os elementos. Foi possível experienciar e compreender a dinâmica entre os *softwares* Revit e TQS, bem como sua integração com o sistema BIM. Graças ao *plugin* disponibilizado pelos desenvolvedores, o intercâmbio das estruturas entre os programas foi feito de maneira fácil e rápida. Alguns pontos, entretanto, poderiam ser mais eficientes. Como evidenciado neste trabalho, o intercâmbio de propriedades não estruturais do modelo não foi feito de forma consistente. No processo de importação do Revit para o TQS, muitas vezes os acabamentos de piso e paredes foram interpretados como limites de bordo, criando assim uma laje para cada ambiente. Esses elementos poderiam ser interpretados como cargas lineares de parede e cargas distribuídas sobre lajes, tendo em vista que o Revit possui essas informações. A importação e exportação de elementos estruturais por vezes também se mostrou suscetível a erros, ocorrendo a interpretação errada de seções de vigas e pilares por parte do TQS, sendo necessária a verificação manual de todos os elementos ao final do processo.

As modificações realizadas via Revit visaram promover a redistribuição de cargas e esforços na estrutura. Isso pode ser evidenciado quando analisados os esforços e deslocamentos, sendo consideravelmente maiores nos modelos modificados. Os elementos estruturais mais impactados foram as vigas, em função da remoção de pilares e de vigas próximas que ajudavam a suportar a carga das lajes. Além disso, soma-se o fato de as vigas terem sido dimensionadas de forma mais eficiente, a fim de compatibilizá-las com os blocos cerâmicos das paredes e viabilizar o pé-direito pré-definido de 2,50 metros. Os pilares, por sua vez, sofreram menos impactos nas suas armaduras. Esse efeito decorre da variação pouco significativa da carga vertical nos pavimentos modificados. É possível que um dimensionamento mais eficiente dos pilares acarretasse mudanças mais acentuadas nas suas armaduras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

KIMURA, Alio Ernesto. **Cálculo de Pilares de Concreto Armado**: Introdução, Visão Geral & Exemplos, 2018.

CAMPOS FILHO, Américo. **Projeto de Pilares de Concreto Armado**, 2014.

APÊNDICE A – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos no processo de pré-dimensionamento dos elementos estruturais. São exibidas tabelas para pilares e vigas, conforme procedimentos citados na seção 3.1.

Tabela 1 – Pré-dimensionamento dos pilares

PILAR	Carga distribuída x 11 pvtos [kN/m ²]	Área de influência [m ²]	γ_n	Nk [kN]	Ac [cm ²]	ν	b,calc [cm]	a,calc [cm]	Seção adotada [cm]
P2	110	6,71	1,00	738,32	370	0,98	19	20	30x40
P16	110	10,61	1,00	1167,32	584	0,98	19	31	19x50
P6	110	7,98	1,00	878,13	440	0,98	19	24	19x35
P7	110	7,94	1,00	873,51	437	0,98	19	23	25x40
P3	110	7,94	1,00	873,51	437	0,98	19	23	25x40
P14	110	7,96	1,00	875,93	438	0,98	19	24	19x35
P12	110	10,61	1,00	1167,32	584	0,98	19	31	19x50
P13	110	6,71	1,00	738,32	370	0,98	19	20	30x40
P46	110	10,31	1,00	1134,32	568	0,98	19	30	25x45
P26	110	20,02	1,25	2202,53	1102	0,98	14	79	25x80
P30	110	12,57	1,25	1382,37	692	0,98	14	50	30x70
P37	110	7,98	1,25	877,25	439	0,98	14	32	25x40
P42	110	11,44	1,00	1257,96	629	0,98	19	34	25x80
P15	110	11,44	1,00	1257,96	629	0,98	19	34	25x80
P9	110	7,98	1,25	877,25	439	0,98	14	32	25x40
P8	110	12,57	1,25	1382,37	692	0,98	14	50	30x70
P50	110	20,02	1,25	2202,53	1102	0,98	14	79	25x80
P10	110	10,31	1,00	1134,32	568	0,98	19	30	25x45
P1	110	19,76	1,00	2173,60	1087	0,98	19	58	25x35
P11	110	9,43	1,25	1037,63	519	0,98	14	38	25x35
P20	110	18,03	1,00	1983,63	992	0,98	19	53	25x65
P24	110	33,18	1,00	3649,80	1825	0,98	19	97	25x95
P22	110	18,60	1,00	2045,78	1023	0,98	19	54	30x60
P18	110	18,60	1,00	2045,78	1023	0,98	19	54	30x60
P4	110	33,26	1,00	3658,27	1830	0,98	19	97	25x95
P17	110	18,03	1,00	1983,63	992	0,98	19	53	25x65
P44	110	9,43	1,25	1037,63	519	0,98	14	38	25x35
P43	110	9,43	1,25	1037,63	519	0,98	14	38	25x35
P32	110	10,31	1,00	1134,32	568	0,98	19	30	25x45
P34	110	20,02	1,25	2202,53	1102	0,98	14	79	25x80
P35	110	12,57	1,25	1382,37	692	0,98	14	50	30x70
P36	110	7,98	1,25	877,25	439	0,98	14	32	25x40
P33	110	11,44	1,00	1257,96	629	0,98	19	34	25x80
P45	110	11,44	1,00	1257,96	629	0,98	19	34	25x80

PILAR	Carga distribuída x 11 pvtos [kN/m ²]	Área de influência [m ²]	γ_n	Nk [kN]	Ac [cm ²]	ν	b,calc [cm]	a,calc [cm]	Seção adotada [cm]
P38	110	7,98	1,25	877,25	439	0,98	14	32	25x40
P39	110	12,57	1,25	1382,37	692	0,98	14	50	30x70
P40	110	20,02	1,25	2202,53	1102	0,98	14	79	25x80
P41	110	10,31	1,00	1134,32	568	0,98	19	30	25x45
P19	110	6,71	1,00	738,32	370	0,98	19	20	30x40
P21	110	10,61	1,00	1167,32	584	0,98	19	31	19x50
P23	110	7,98	1,00	878,13	440	0,98	19	24	19x35
P25	110	7,94	1,00	873,51	437	0,98	19	23	25x40
P27	110	7,94	1,00	873,51	437	0,98	19	23	25x40
P28	110	7,96	1,00	875,93	438	0,98	19	24	19x35
P29	110	10,61	1,00	1167,32	584	0,98	19	31	19x50
P31	110	6,71	1,00	738,32	370	0,98	19	20	30x40

Fonte: (elaborada pelo autor)

Tabela 2 – Pré-dimensionamento das vigas

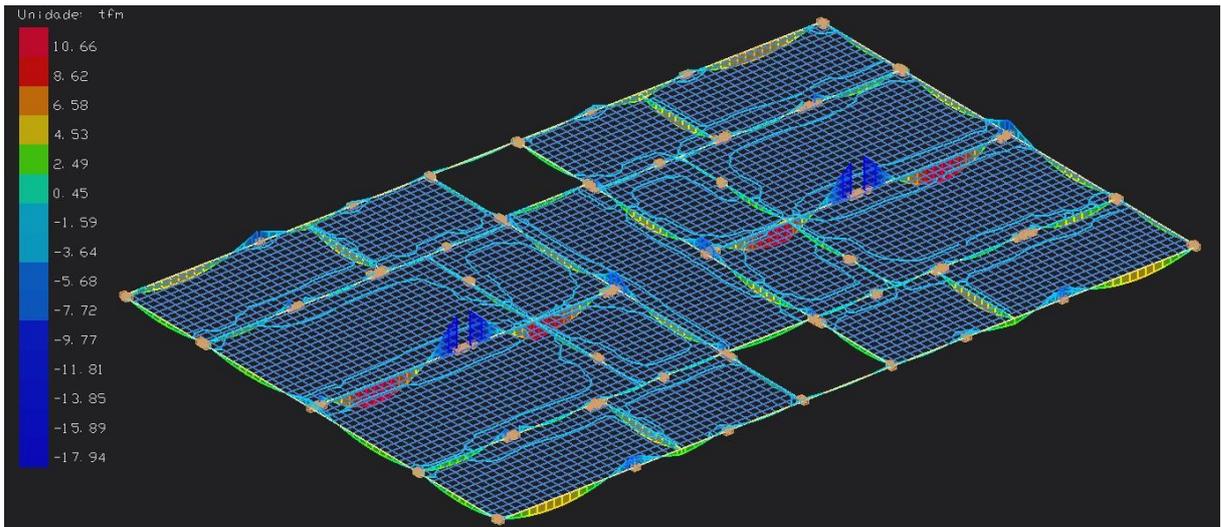
VIGA	TRAMO	TIPO	VÃO [m]	ALTURA [cm]	LARGURA [cm]
V1	P1-P2	CONTINUA EXTERNO	5,80	60	19
V1	P2-P3	CONTINUA INTERNO	4,00	35	19
V1	P3-P4	CONTINUA INTERNO	3,25	30	19
V1	P4-P5	CONTINUA INTERNO	3,68	35	19
V1	P5-P6	CONTINUA INTERNO	3,25	30	19
V1	P6-P7	CONTINUA INTERNO	5,80	50	19
V1	P7-P8	CONTINUA EXTERNO	5,80	60	19
V34	P9-P10	CONTINUA EXTERNO	4,01	45	14
V34	P10-P11	CONTINUA INTERNO	3,79	35	14
V34	P11-P12	CONTINUA INTERNO	2,11	35	14
V34	P12-P13	CONTINUA EXTERNO	3,19	35	14
V23	P11-P2/P3	BIAPOIADA	4,21	45	14
V29	P12-P19	BIAPOIADA	2,14	25	14
V29	P19-P24/P25	BIAPOIADA	3,53	40	14
V6	P42-P15	BIAPOIADA	3,74	40	19
V39	P42-P22	CONTINUA EXTERNO	3,89	40	19
V39	P22-P33	CONTINUA INTERNO	6,00	50	19
V39	P25-P37	CONTINUA INTERNO	6,00	50	19
V22	P33-P25	CONTINUA EXTERNO	3,92	40	19
V38	P2-P46	CONTINUA EXTERNO	4,11	45	19
V38	P46-P20	CONTINUA INTERNO	5,77	50	19
V27	P20-P24	BIAPOIADA	6,33	65	19
V27	P24-P22	BIAPOIADA	6,33	65	19

Fonte: (elaborada pelo autor)

APÊNDICE B – REPRESENTAÇÕES GRÁFICAS

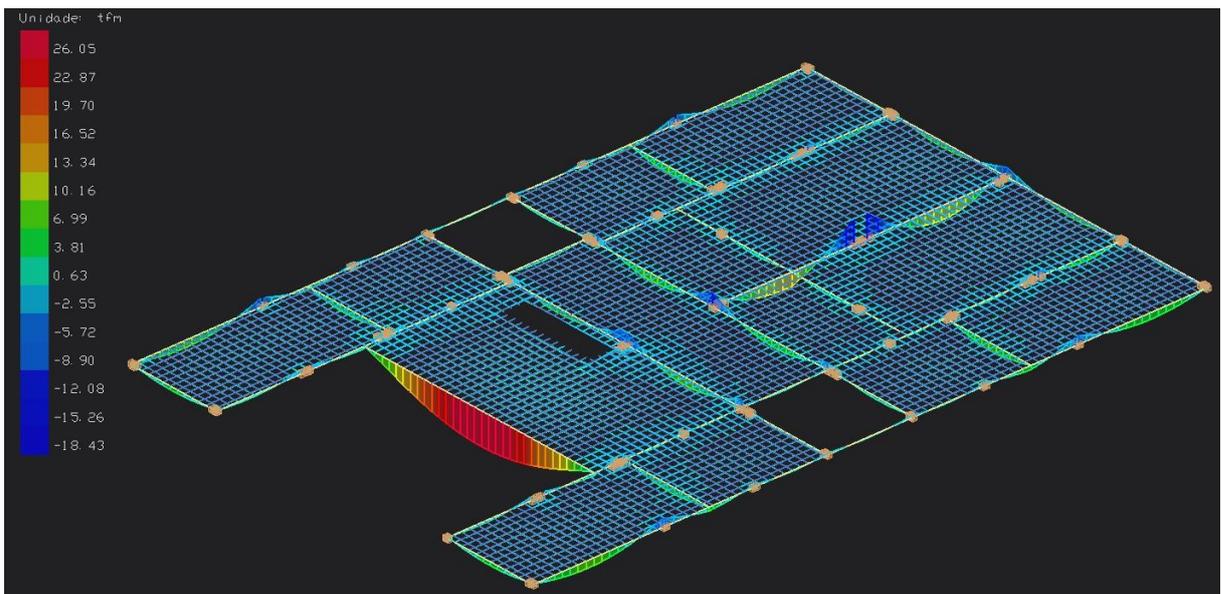
Nesta seção são exibidos os detalhamentos das vigas citadas nas seções 5.2, além das representações 3D obtidas no TQS que evidenciam a redistribuição de cargas e esforços no nível 11.

Figura 1 - Momento no eixo Y no nível 11, Modelo 0



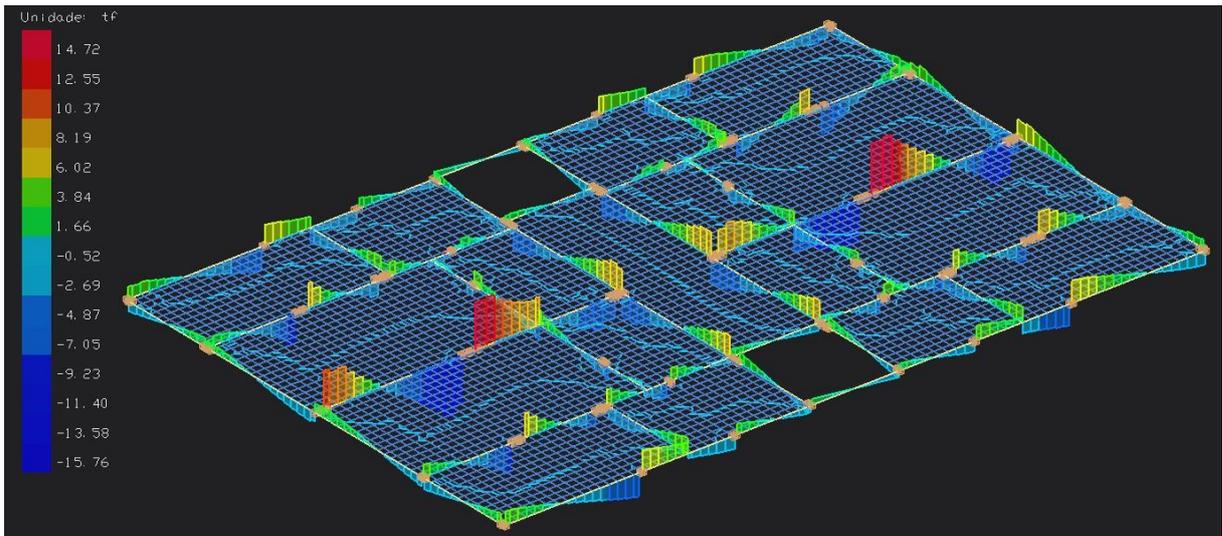
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 2 - Momento no eixo Y no nível 11, Modelo 2



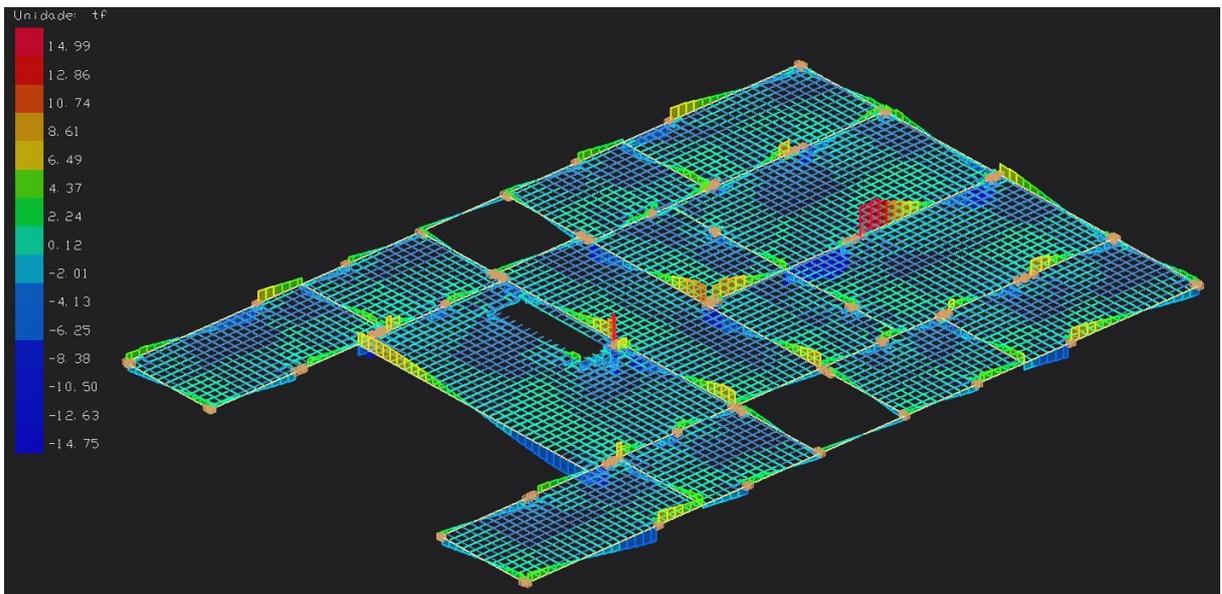
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 3 - Força no eixo Z no nível 11, Modelo 0



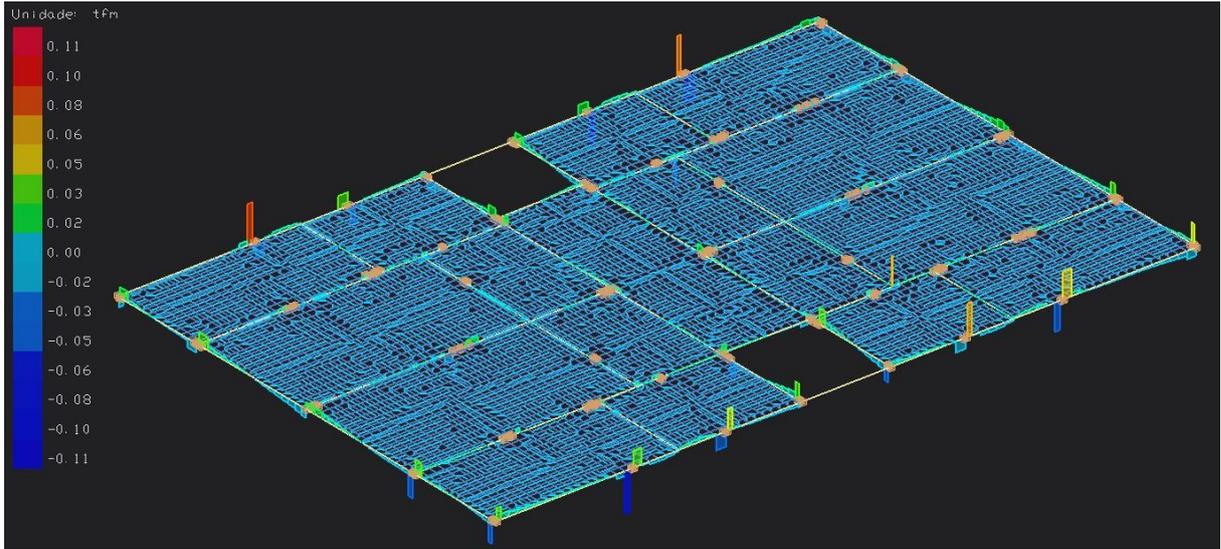
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 4 - Força no eixo Z no nível 11, Modelo 2



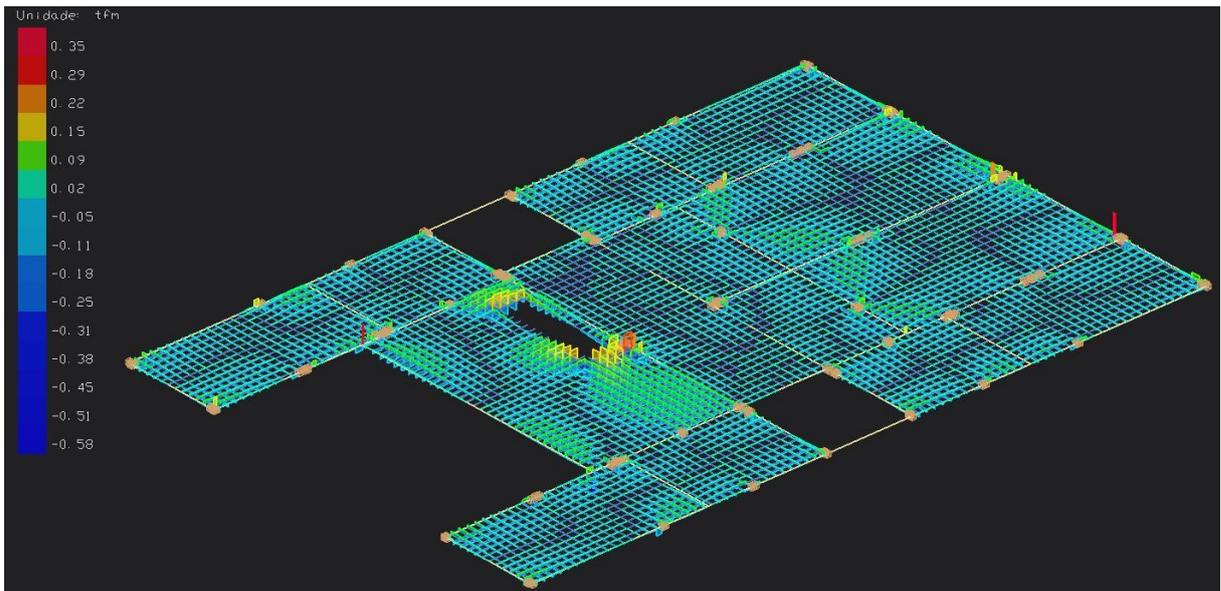
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 5 - Momento no eixo X no nível 11, Modelo 0



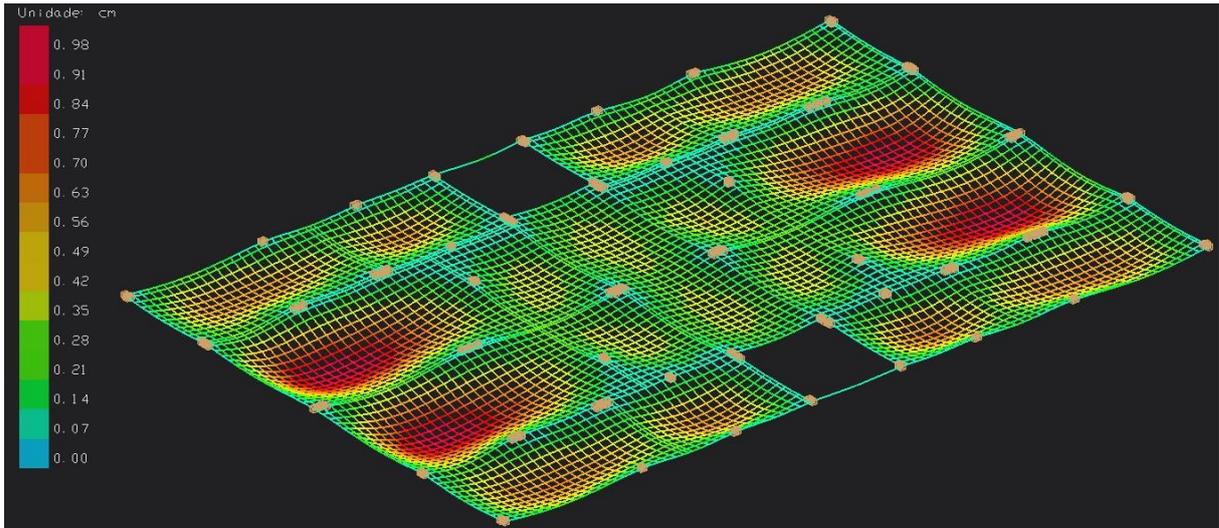
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 6 - Momento no eixo X no nível 11, Modelo 2



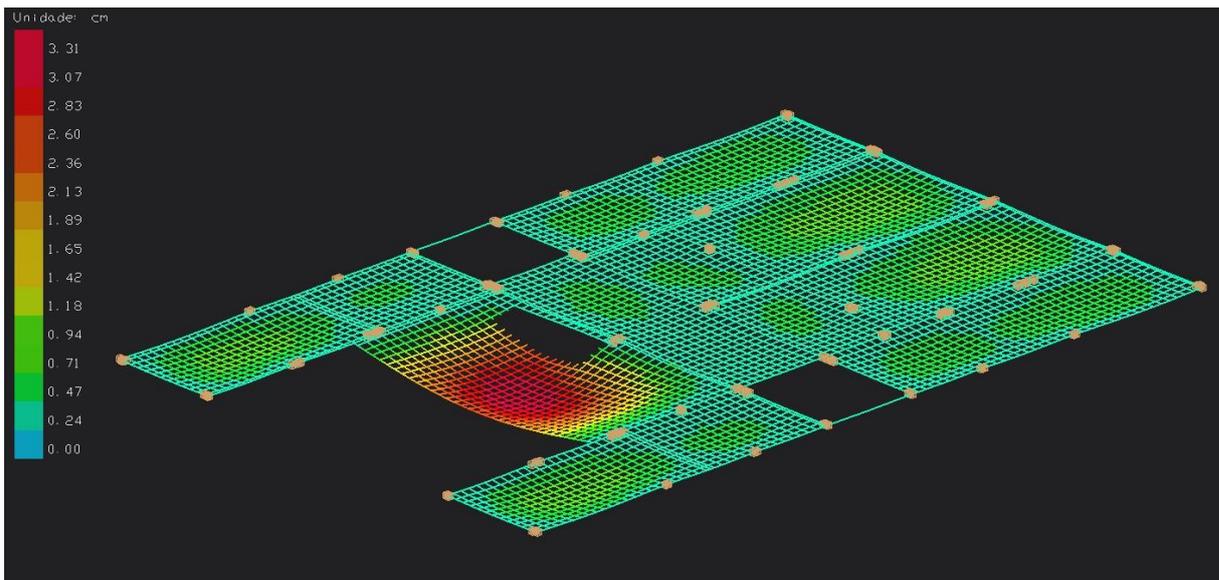
Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 7 - Deslocamentos no nível 11, Modelo 0



Fonte: (elaborado pelo autor)

Figura 8 - Deslocamentos no nível 11, Modelo 2



Fonte: (elaborado pelo autor)

