

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia de Estruturas**  
**Curso de Especialização em Estruturas**

Ricardo Dias Campos Filho

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE UM  
EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL SEM O USO DE SOFTWARES E COM  
O USO DO QIALVENARIA.**

Belo Horizonte

2025

Ricardo Dias Campos Filho

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE UM  
EDIFÍCIO EM ALVENARIA ESTRUTURAL SEM O USO DE SOFTWARES E COM  
O USO DO QIALVENARIA.**

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

Orientador: Roberto Márcio da Silva

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

### ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **vinte dias** do mês de **janeiro 2025**, às 20h, o estudante **Ricardo Dias Campos Filho**, matrícula 2023670440, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise Comparativa do Cálculo e Dimensionamento de um Edifício em Alvenaria Estrutural sem o uso de Softwares e com o uso do QiAlvenaria**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

**Nota:** ( 85 )

**Orientador(a):** Prof. Roberto Márcio da Silva

**Nota:** ( 85 )

**Examinador(a):** Rafael Diniz Viana de Brito



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Marcio da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 07/02/2025, às 17:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Diniz Viana de Brito, Usuário Externo**, em 11/02/2025, às 09:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3889066** e o código CRC **1A14B61B**.

### INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

## RESUMO

O presente trabalho apresenta uma análise comparativa entre os métodos de dimensionamento manual e computacional aplicados a projetos de alvenaria estrutural, utilizando o software QiAlvenaria. O estudo busca evidenciar as vantagens do uso de ferramentas computacionais na elaboração de projetos estruturais, como maior precisão nos cálculos, agilidade na execução e otimização dos processos. Para fins de análise, foi realizado o dimensionamento das paredes estruturais do primeiro pavimento, que concentra os esforços mais significativos. A metodologia empregada envolveu a revisão bibliográfica e a aplicação prática dos dois métodos, permitindo a comparação detalhada dos resultados obtidos. Os achados confirmam que o QiAlvenaria proporciona ganhos substanciais em produtividade e confiabilidade, desde que os critérios de entrada de dados sejam rigorosamente seguidos pelo projetista. O software mostrou-se eficiente ao integrar diferentes etapas do projeto, garantindo economia de tempo e materiais, além de facilitar a aplicação de normas técnicas. Os resultados destacam a relevância das tecnologias computacionais para o setor da construção civil, especialmente em sistemas construtivos como a alvenaria estrutural. Assim, o uso de ferramentas como o QiAlvenaria contribui significativamente para a modernização e competitividade do setor, estabelecendo-se como uma solução indispensável para engenheiros que buscam conciliar eficiência e sustentabilidade em seus projetos.

**Palavras-chave:** Alvenaria Estrutural; Qi Alvenaria; dimensionamento estrutural.

## **ABSTRACT**

This paper presents a comparative analysis between manual and computational design methods applied to structural masonry projects using QiAlvenaria software. The study highlights the advantages of using computational tools in structural project development, such as greater calculation accuracy, execution agility, and process optimization. For analysis purposes, the structural walls of the first floor, which bear the most significant loads, were dimensioned. The methodology included a literature review and the practical application of both methods, allowing a detailed comparison of the results obtained. Findings confirm that QiAlvenaria provides substantial gains in productivity and reliability, provided that input data criteria are rigorously followed by the designer. The software proved efficient in integrating different project stages, ensuring time and material savings while facilitating the application of technical standards. The results underline the relevance of computational technologies for the civil construction sector, especially in constructive systems such as structural masonry. Thus, the use of tools like QiAlvenaria significantly contributes to the modernization and competitiveness of the sector, establishing itself as an indispensable solution for engineers seeking to combine efficiency and sustainability in their projects.

**Key-words:** Structural Masonry; Qi Alvenaria; structural design.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Planta arquitetônica do pavimento tipo .....	17
Figura 2 - Corte esquemática da edificação .....	18
Figura 3 - Paginação da fiada ímpar .....	19
Figura 4 - Reações das lajes. ....	23
Figura 5 - Reações das lajes da escada .....	24
Figura 6 - Identificação dos lintéis.....	25
Figura 7 - Demonstração de cálculo da altura do lintel.....	26
Figura 8 - Subdivisão manual das paredes e determinação dos grupos .....	28
Figura 9 - Atuação do vento e distribuição para os painéis de contraventamento.....	33
Figura 10 - Coeficiente de arrasto $C_a$ para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.....	35
Figura 11 - Pórticos e paredes com abas da direção X.....	39
Figura 12 - Pórticos e paredes com abas da direção Y.....	40
Figura 13 - Lançamento dos pórticos e paredes com abas na direção X no <i>Ftool</i> . ....	41
Figura 14 - Lançamento dos pórticos e paredes com abas na direção Y no <i>Ftool</i> . ....	45
Figura 15 - Pórticos da direção X no <i>Ftool</i> para cálculo do parâmetro $\alpha$ .....	49
Figura 16 - Pórticos da direção Y no <i>Ftool</i> para cálculo do parâmetro $\alpha$ .....	50
Figura 17 - Pontos de reforço da alvenaria com armação de tração. ....	61
Figura 18 - Criando uma nova edificação no Qibuilder.....	62
Figura 19 - Seleção do modulo alvenaria.....	63
Figura 20 - Entrada dos dados gerais da edificação .....	63
Figura 21 - Seleção dos blocos.....	64
Figura 22 - Entrada dos dados de identificação e altura dos pavimentos.....	64
Figura 23 - Seleção do modelo de organização dos arquivos do projeto .....	65
Figura 24 - Entrada grafica Qibuilder .....	66
Figura 25 - Detalhamento das paredes.....	66
Figura 26 - Exportando projeto de alvenaria para o Eberick.....	67
Figura 27 - Pavimento de transição Eberick.....	67
Figura 28 - Dados para o cálculo do vento.....	68
Figura 29 - Forças devido ao vento.....	69
Figura 30 - Ações do projeto e os respectivos coeficientes.....	70
Figura 31 - Configuração das combinações do projeto .....	70
Figura 32 - Propriedades e carregamentos lajes.....	71
Figura 33 - Configurações do modelo Eberick .....	72
Figura 34 - Aba do processamento global.....	73

Figura 35 - Análise estática linear do Eberick .....	76
Figura 36 - Paredes de contraventamento da direção X .....	77
Figura 37 - Paredes de contraventamento da direção Y .....	77
Figura 38 - Tela de dimensionamento das alvenarias .....	78
Figura 39 - Pontos de grouteamento e armação .....	79
Figura 40 - Pontos de grouteamento e armação na escada.....	79
Figura 41 - Relatório dados para consulta das tensões de cisalhamento.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Reações dos linteis nas paredes de alvenaria estrutural.....	27
Tabela 2 - somatório dos esforços verticais nas paredes.....	30
Tabela 3 - Esforços verticais nos grupos .....	31
Tabela 4 - Resumo de esforços nos grupos de um pavimento.....	32
Tabela 5 - Tensões verticais acumuladas nas paredes do primeiro pavimento.....	32
Tabela 6 - Coeficiente de arrasto das direções X e Y. ....	35
Tabela 7 - Esforços do vento nas direções X e Y em cada pavimento.....	36
Tabela 8 - Esforços horizontais nas direções X e Y por pavimento.....	37
Tabela 9 - Comprimento dos trechos flexíveis dos linteis.....	38
Tabela 10 - Esforços horizontais na direção X do primeiro pavimento. ....	43
Tabela 11 - Tensões nas paredes da direção X no primeiro pavimento .....	44
Tabela 12 - Esforços horizontais na direção Y do primeiro pavimento. ....	46
Tabela 13 - Tensões nas paredes da direção Y no primeiro pavimento .....	47
Tabela 14 - Cálculo do parâmetro $\alpha$ da estrutura .....	50
Tabela 15 - Cálculo do parâmetro $\gamma_z$ da estrutura na direção X .....	52
Tabela 16 - Cálculo do parâmetro $\gamma_z$ da estrutura na direção Y.....	52
Tabela 17 - Tensões atuantes nas paredes resistentes da direção X .....	54
Tabela 18 - Tensões atuantes nas paredes resistentes da direção Y .....	55
Tabela 19 - Determinação do bloco para as paredes na direção X.....	56
Tabela 20 - Determinação do bloco para as paredes na direção Y.....	57
Tabela 21 - Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção X .....	58
Tabela 22 - Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção Y .....	59
Tabela 23 - Cálculo da armação de tração. ....	61
Tabela 24 - Carregamentos considerados no processamento global.....	73
Tabela 25 - Combinações de carregamento consideradas no Eberick.....	74
Tabela 26 - Reações nas lajes eberick .....	75
Tabela 27 - Comparação das reações nas lajes. ....	81
Tabela 28 - Comparação do parâmetro gama Z .....	82

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1	TEMA .....	11
1.2	PROBLEMA .....	12
1.2.1	Objetivo geral .....	12
1.2.2	Objetivos específicos .....	12
1.3	JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2</b>	<b>CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>DEFINIÇÕES DO EDIFÍCIO PARA O DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL</b> .....	<b>17</b>
4.1	ARQUITETURA .....	17
4.2	CARACTERÍSTICAS DO EDIFÍCIO.....	17
4.3	MODULAÇÃO DA ESTRUTURA .....	18
4.4	NORMAS EM USO .....	19
4.5	SOFTWARE UTILIZADO .....	20
4.6	MODELO DE CÁLCULO ADOTADO .....	20
4.7	CARGAS ATUANTES NAS LAJES.....	21
<b>5</b>	<b>MODELO 1: DIMENSIONAMENTO MANUAL DO EDIFÍCIO</b> .....	<b>22</b>
5.1	REAÇÕES DAS LAJES NAS PAREDES ESTRUTURAIS DE CADA PAVIMENTO .....	22
5.2	REAÇÕES DOS LINTEIS NAS PAREDES ESTRUTURAIS DE CADA PAVIMENTO .....	24
5.3	DEFINIÇÃO DOS GRUPOS ISOLADOS DE PAREDES .....	27
5.4	ESFORÇOS VERTICAIS ATUANTES NOS GRUPOS ISOLADOS DE PAREDES .....	28
5.5	ESFORÇOS HORIZONTAIS ATUANTES NA ESTRUTURA.....	32
5.5.1	Esforços de vento .....	33
5.5.2	Desaprumo.....	36
5.6	TENSÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS NOS PÓRTICOS NAS DIREÇÕES X E Y .....	37
5.6.1	Determinação do vão dos linteis semiflexíveis.....	37
5.6.2	Tensões nas paredes na direção X (0° e 180°) do primeiro pavimento.....	41

5.6.3	Tensões nas paredes na direção Y (0° e 180°) do primeiro pavimento.....	44
5.7	ESTABILIDADE GLOBAL DA ESTRUTURA .....	47
5.7.1	Parâmetro alfa ( $\alpha$ ) .....	48
5.7.2	Parâmetro gama Z ( $\gamma_z$ ).....	51
5.8	DEFINIÇÃO DO BLOCO ADOTADO NO 1º PAVIMENTO .....	52
5.8.1	Verificação do cisalhamento e da tração atuante no primeiro pavimento.....	57
5.8.2	Armadura de tração necessária nas paredes do 1º pavimento .....	59
<b>6</b>	<b>MODELO 2: DIMENSIONAMENTO COMA UTILIZAÇÃO DO QIALVENARIA .....</b>	<b>62</b>
6.1	CRIAÇÃO DO EDIFÍCIO NO SOFTWARE QIBUILDER .....	62
6.2	ENTRADA GRÁFICA DO EDIFÍCIO .....	65
6.3	PROCESSAMENTO GLOBAL DA ESTRUTURA .....	66
6.4	RESULTADOS DO PROCESSAMENTO GLOBAL DA ESTRUTURA .....	75
6.4.1	Reações das lajes nas paredes estruturais.....	75
6.4.2	Estabilidade global da estrutura .....	76
6.4.3	Definição do bloco adotado no 1º pavimento .....	78
6.4.4	Verificação do cisalhamento e da tração atuantes no 1º pavimento .....	78
<b>7</b>	<b>ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS 1 E 2 .....</b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A alvenaria estrutural é reconhecida como um dos sistemas construtivos mais eficientes e sustentáveis, destacando-se pela economia de materiais, agilidade na execução e simplicidade no canteiro de obras. No Brasil, embora o uso desse sistema tenha crescido significativamente nas últimas décadas, seu emprego ainda é desafiado pela necessidade de maior difusão de boas práticas e de ferramentas que otimizem sua aplicação.

Com os avanços tecnológicos, os softwares especializados surgiram como aliados indispensáveis na elaboração de projetos estruturais. Essas ferramentas oferecem aos engenheiros a possibilidade de automatizar processos, reduzir o tempo de execução e aumentar a precisão dos cálculos, garantindo soluções mais seguras e eficientes. O software QiAlvenaria, em particular, tem se destacado no mercado nacional por sua capacidade de integrar diferentes etapas do dimensionamento e detalhamento de projetos em alvenaria estrutural.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre os métodos de dimensionamento manual e computacional para um edifício em alvenaria estrutural, utilizando o software QiAlvenaria. A pesquisa busca avaliar as vantagens e limitações de cada abordagem, com foco na eficiência, na produtividade e na precisão dos resultados obtidos. Para tanto, serão analisados os elementos estruturais do primeiro pavimento, local onde se concentram os maiores esforços.

### **1.1 Tema**

A alvenaria estrutural tem sido amplamente utilizada na construção civil devido à sua economia, simplicidade construtiva e eficiência estrutural. Com o avanço das tecnologias computacionais, softwares especializados, como o QiAlvenaria, oferecem soluções para projetistas, prometendo maior agilidade, redução de erros e detalhamento otimizado. Este trabalho busca explorar o impacto dessas ferramentas na prática de engenharia estrutural, comparando resultados obtidos manualmente

com os gerados pelo software, além de discutir as limitações e vantagens de cada abordagem.

## **1.2 Problema**

Quais são as diferenças em termos de eficiência, precisão e viabilidade entre o dimensionamento manual e a modelagem no software QiAlvenaria para um edifício residencial de 10 pavimentos em alvenaria estrutural?

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é um estudo comparativo entre o dimensionamento manual de um edifício residencial e o dimensionamento com a utilização do software QiAlvenaria.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desse trabalho compreendem:

- Análise crítica do processo de lançamento estrutural no software QiAlvenaria, incluindo seus critérios e suas particularidades;
- Comparação do dimensionamento obtido entre o método computacional e o manual.

## **1.3 Justificativa**

A relevância do estudo comparativo entre o dimensionamento manual e o realizado por meio do software QiAlvenaria no contexto de edificações em alvenaria estrutural se fundamenta em diversas dimensões práticas e teóricas.

Do ponto de vista prático, a alvenaria estrutural é amplamente utilizada no Brasil devido ao seu custo-benefício, rapidez de execução e eficiência em projetos de

pequena e média complexidade. Contudo, ainda se observa uma lacuna significativa no que diz respeito à confiabilidade e à otimização das soluções de engenharia adotadas. O dimensionamento realizado manualmente, embora permita maior controle e compreensão do comportamento estrutural, demanda mais tempo e pode estar sujeito a erros humanos. Por outro lado, o uso de softwares específicos, como o QIAIvenaria, tem o potencial de reduzir o tempo de projeto e aumentar a precisão, mas depende de validação e compreensão de suas limitações.

Nesse sentido, investigar as diferenças entre os dois métodos de dimensionamento é fundamental para subsidiar os profissionais da área com informações que permitam uma tomada de decisão mais embasada. Além disso, o estudo contribuirá para a formação de engenheiros civis mais bem preparados para aliar o conhecimento teórico à prática cotidiana, promovendo soluções mais eficazes e seguras para o mercado da construção civil.

Do ponto de vista acadêmico, a pesquisa também se justifica pela necessidade de ampliar os horizontes intelectuais na área de estruturas, aprofundando a compreensão sobre os limites e possibilidades do uso de softwares em relação às abordagens tradicionais. Essa discussão torna-se particularmente relevante em um contexto em que a digitalização e a automação ganham espaço cada vez maior na indústria da construção.

Portanto, este estudo visa não apenas contribuir para o aprimoramento da prática profissional na engenharia civil, mas também fomentar debates acadêmicos sobre a relação entre tecnologia e prática tradicional, promovendo o desenvolvimento da área como um todo.

## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo amplamente utilizado, no qual os elementos estruturais, como paredes, são responsáveis por suportar as cargas verticais e horizontais da edificação. Historicamente, sua aplicação remonta às antigas civilizações egípcias e romanas, onde foi empregada na construção de monumentos e edifícios de grande porte. Com o avanço tecnológico, especialmente durante o século XX, a alvenaria estrutural tornou-se uma solução viável e competitiva em relação a outros sistemas construtivos, como o concreto armado e o aço (FERREIRA, 2019).

No Brasil, a alvenaria estrutural ganhou relevância nas décadas de 1960 e 1970, inicialmente voltada para habitações de interesse social e edifícios de pequeno porte. Estudos como os realizados por Lima (2020) destacaram a viabilidade econômica desse sistema, apontando vantagens como redução de custos e rapidez na execução. Entretanto, sua popularização foi acompanhada de desafios relacionados às patologias estruturais decorrentes de erros de projeto e execução inadequados.

Com o advento da computação, ferramentas como o QiAlvenaria foram desenvolvidas para otimizar o dimensionamento e o detalhamento de projetos em alvenaria estrutural. Estudos comparativos, como os realizados por Cangussu (2024) e Alvares (2019), demonstram que o uso de softwares não apenas aumenta a precisão dos resultados, mas também reduz o tempo de elaboração dos projetos. Esses avanços permitiram uma abordagem mais sistemática, eliminando etapas manuais suscetíveis a erros e proporcionando soluções mais eficientes e seguras.

Alvares (2019) ressalta que a utilização de programas computacionais como o TQS ou QiAlvenaria oferece maior agilidade e confiabilidade na elaboração de projetos estruturais, além de possibilitar o ajuste dinâmico de parâmetros com base em diferentes cenários. Cangussu (2024), em seu estudo comparativo, destacou que os resultados obtidos com o uso de softwares apresentam vantagens significativas em termos de economia de materiais e maior precisão nos cálculos, desde que as entradas de dados sejam bem definidas pelo projetista.

Outros estudos, como os de Oliveira et al. (2021), aprofundam a análise sobre o impacto da adoção de softwares no mercado nacional, mostrando que a integração de ferramentas computacionais ao planejamento estrutural permite não apenas maior produtividade, mas também a redução de desperdícios. A implementação dessas tecnologias tem sido um marco para o setor, aproximando a engenharia civil brasileira de padrões internacionais de qualidade e eficiência.

A contínua atualização e desenvolvimento de ferramentas computacionais também contribuem para o aprimoramento da metodologia de projeto. Conforme Rodrigues e Silva (2022), a aplicação de critérios normativos em softwares modernos tem promovido maior padronização e segurança em edificações de alvenaria estrutural, consolidando o sistema como uma alternativa confiável e sustentável.

Portanto, a adoção de ferramentas computacionais no dimensionamento de alvenaria estrutural representa um marco para a engenharia civil brasileira, consolidando um sistema construtivo eficiente, competitivo e alinhado às demandas contemporâneas por produtividade e sustentabilidade.

### 3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa do cálculo e dimensionamento de um edifício residencial sem a utilização de softwares (modelo 1) e com a utilização do Qialvenaria (modelo 2).

Para a comparação entre os modelos em estudo, foram analisados os seguintes parâmetros:

- reação das lajes nas paredes de alvenaria;
- estabilidade global da estrutura;
- definição do bloco de concreto no primeiro pavimento;
- necessidade de armação de cisalhamento e de tração.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi dividida nas seguintes etapas:

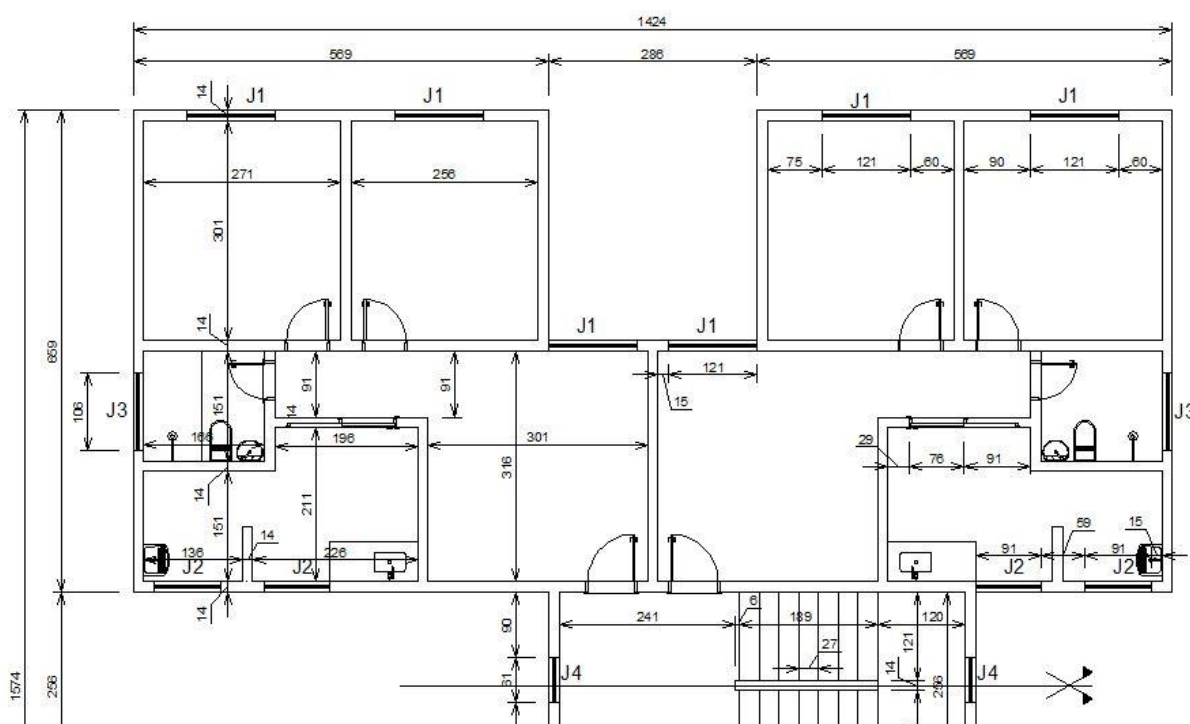
- definição das características do edifício;
- definição da modulação da estrutura (fiadas ímpar e par);
- dimensionamento do edifício sem a utilização de softwares;
- dimensionamento do edifício com a utilização do Qialvenaria;
- análise comparativa dos resultados apresentados nos dois modelos.

## 4 DEFINIÇÕES DO EDIFÍCIO PARA O DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

### 4.1 Arquitetura

A edificação a ser analisada apresenta simetria no eixo horizontal, composta de quatro apartamentos por andar, sendo esses constituídos por: sala, cozinha, área de serviço, dois quartos, circulação e um banheiro. Com área do pavimento tipo de 184,65 m<sup>2</sup>. A Figura 1 apresenta a planta arquitetônica do pavimento tipo.

Figura 1 - Planta arquitetônica do pavimento tipo



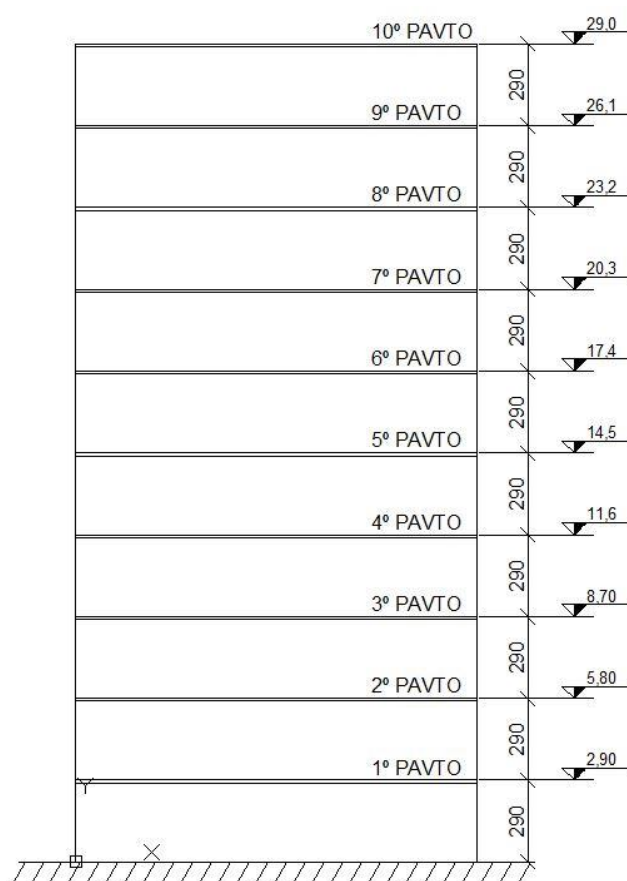
Fonte: elaborado pelo autor.

### 4.2 Características do edifício

O estudo em questão refere-se a um edifício residencial de alvenaria estrutural com dez pavimentos típicos, apresentando um pé-direito livre de 2,80 m (Figura 2), localizado em um terreno plano na cidade de Belo Horizonte – MG. O projeto adota lajes içadas em concreto armado com espessura de 10 cm, bem como blocos de concreto vazados da família “29” (com dimensões de 14x19x29, 14x19x14 e

14x19x44). Como o foco deste trabalho é exclusivamente a comparação entre os resultados obtidos nos dois modelos para o dimensionamento das paredes no primeiro pavimento, a presença de pilotis foi desconsiderada.

Figura 2 - Corte esquemática da edificação

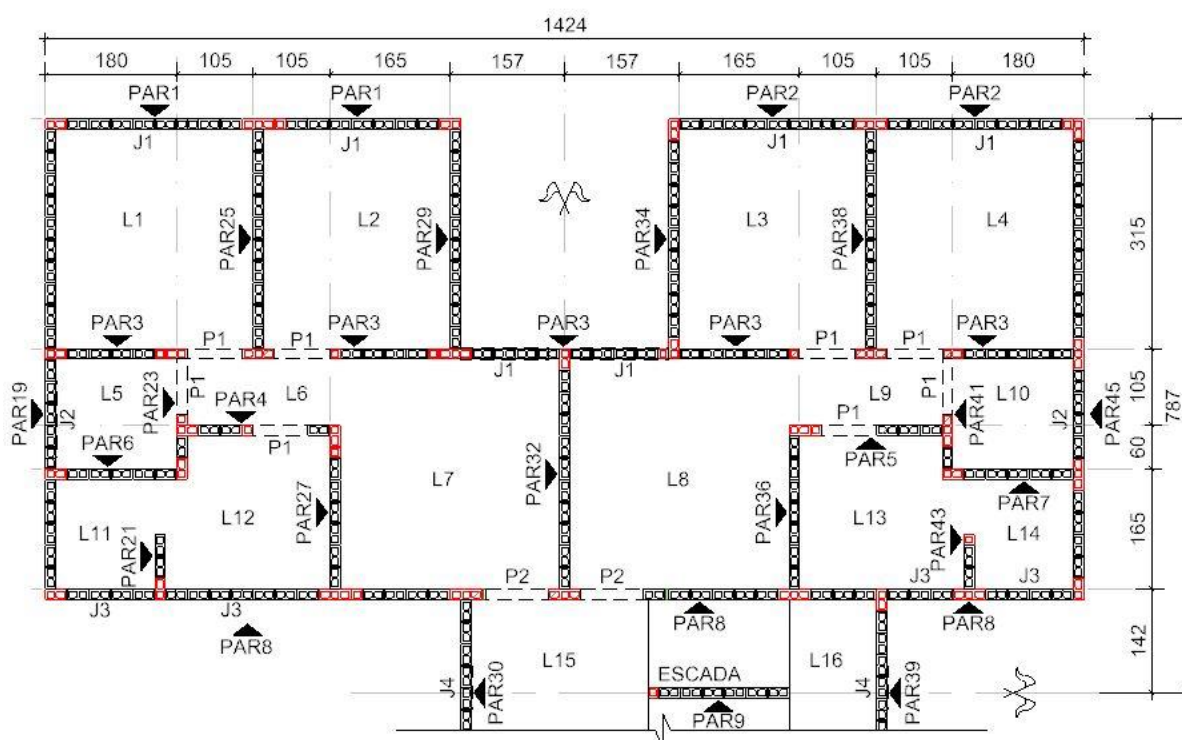


Fonte: elaborado pelo autor.

### 4.3 Modulação da estrutura

O processo de modulação da estrutura, em ambos os modelos, é manual. Sendo que no processo manual é necessário definir a modulação das fiadas, pares e ímpares, já no Qialvenaria a fiada ímpar é definida automaticamente após o lançamento da fiada par.

Figura 3 - Paginação da fiada ímpar.



Fonte: elaborado pelo autor.

Considerando a simetria da edificação, a fim de, melhorar a visualização foi apresentado somente metade da estrutura.

#### 4.4 Normas em uso

Para a análise, cálculo, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais deste edifício, foram seguidas as prescrições indicadas pelas seguintes normas:

- ABNT NBR 6136:2014 – Blocos de Concreto;
- ABNT NBR 16868-1:2020 – Alvenaria estrutural - parte 1: projeto
- ABNT NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimentos;

- ABNT NBR 6123:2023 – Forças devidas ao vento em edificações - Procedimentos;
- ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimentos;
- ABNT NBR 6118:2023 – Projetos de estruturas de concreto.

#### **4.5 Software utilizado**

Para o lançamento da estrutura do modelo 2 do edifício em análise, foi utilizado o *software* Alto Qi Builder Alvenaria atualização 2024-12 e para o dimensionamento e análise estrutural foi utilizado o *software* Alto Qi Eberick atualização 2024-12 v.15.303.

#### **4.6 Modelo de cálculo adotado**

O dimensionamento das paredes no modelo 1 utilizou dois sistemas: o sistema de grupos de paredes isoladas para determinação dos esforços verticais e o sistema de paredes com abas e aberturas para determinação dos esforços horizontais, considerando que os carregamentos de vento transferem os esforços resultantes para um modelo de pórtico plano. No cálculo manual, é necessário dividir os grupos isolados de paredes (conjuntos interligados separados por aberturas) e determinar as paredes de contraventamento, responsáveis por resistir aos esforços horizontais nas direções X e Y. Já no modelo 2 com o uso dos softwares QiAlvenaria e Eberick, considera o modelo grelhas mais pórticos, a análise efetuada no programa AltoQi Eberick considera um painel de lajes como um diafragma rígido. As lajes de cada pavimento são analisadas por analogia de grelha ligadas a apoios elásticos com capacidade de suporte vertical proporcional a rigidez das paredes de alvenaria estrutural. As reações nestes apoios são transferidas para o topo das paredes de alvenaria. Além das cargas verticais, também podem ser aplicadas ações horizontais de vento e desaprumo. A partir dos resultados de cada pavimento analisado separadamente, as cargas são espraçadas a 45° para a base da parede, limitando-se o espraçamento nas aberturas de portas e janelas, e assim sucessivamente nas paredes dos pavimentos de alvenaria abaixo, até que as cargas cheguem no

pavimento de transição ou térreo. O software delimita as paredes de contraventamento em cada direção, considerando as aberturas, e calcula o comprimento dos flanges conforme o item 10.1.3 da ABNT NBT 16868:2020. O Eberick não considera os linteis ou as aberturas na distribuição dos esforços horizontais, esses são distribuídos conforme a rigidez de cada painel de contraventamento.

#### **4.7 Cargas atuantes nas lajes**

Para ambos os modelos foram consideradas lajes pré-moldadas, içadas e simplesmente apoiadas nas paredes de alvenaria. Conforme orientações da NBR 6120 (2023) foram considerados os seguintes carregamentos:

Carga nas lajes típicas:

- Peso próprio da laje com espessura de 10 cm (PP) = 2,50 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga permanente ( $C_p$ ) = 1,00 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga acidental ( $C_a$ ) = 1,50 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga total na laje ( $C_t$ ) = 5,00 kN/m<sup>2</sup>.

Cargas nas lajes de escada e circulação de uso comum:

- Peso próprio da laje com espessura de 15 cm (PP) = 3,75 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga permanente ( $C_p$ ) = 1,00 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga acidental ( $C_a$ ) = 3,00 kN/m<sup>2</sup>;
- Carga total na laje ( $C_t$ ) = 7,75 kN/m<sup>2</sup>.

## 5 MODELO 1: DIMENSIONAMENTO MANUAL DO EDIFÍCIO

### 5.1 Reações das lajes nas paredes estruturais de cada pavimento

Conforme descrito no item 14.7.6.1 da NBR 6118, as reações de cada apoio são correspondentes as cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados através das charneiras plásticas, sendo que essas reações podem ser, de maneira aproximada, consideradas uniformemente distribuídas sobre os elementos estruturais que lhes servem de apoio. Quando a análise plástica não for efetuada, as charneiras podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, com ângulos de 45° entre dois apoios de mesmo tipo, 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado apoiado e 90° a partir de apoio quando a borda vizinha for livre. Considerando a utilização de escada jacaré pré-moldadas e lajes içadas, as relações são dadas por:

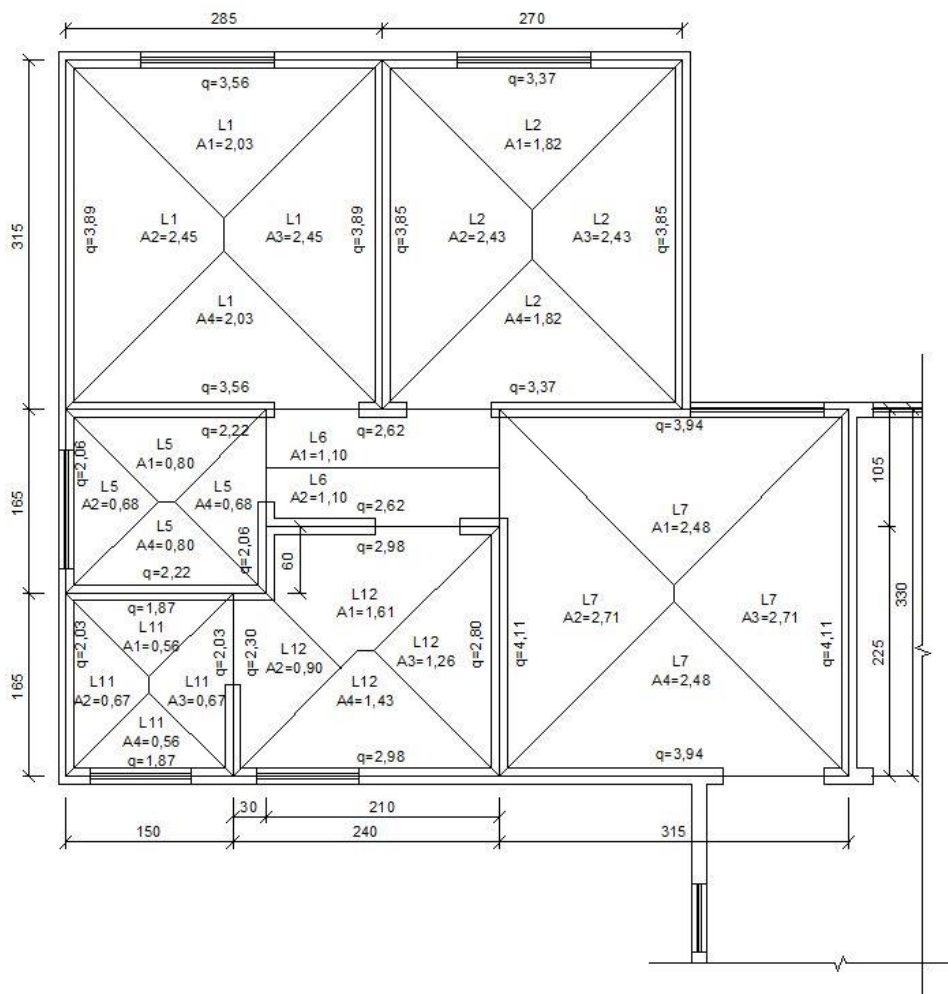
$$R = \frac{C_t \cdot A}{l}$$

Onde:

- R é a reação de apoio (kN/m);
- $C_t$  é a carga total distribuída na laje (kN/m<sup>2</sup>);
- A é a área de influência da laje para cada apoio (m<sup>2</sup>);
- l é o comprimento de apoio (m);

A Figura 4 apresenta a geometria, charneiras e área de influência de cada laje para o cálculo das reações. Apesar do edifício apresentar uma pequena assimetria vertical e não ser duplamente simétrico, para fins de simplificação dos cálculos a edificação foi considerada duplamente simétrica.

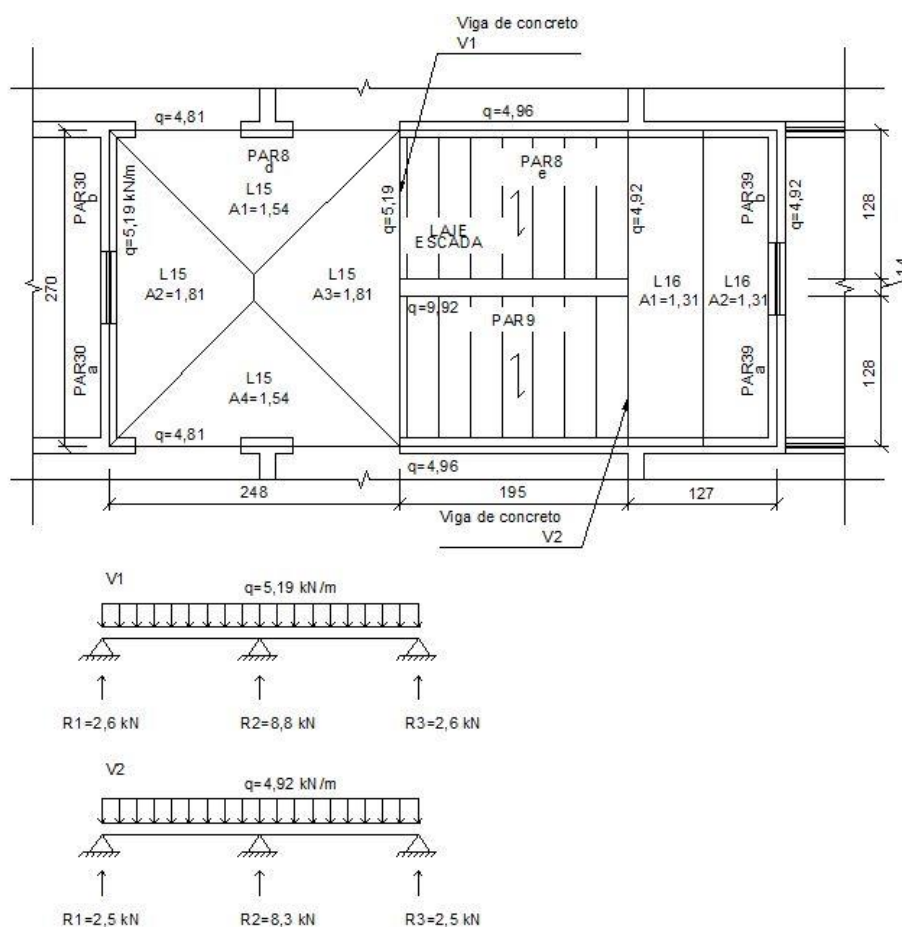
Figura 4 - Reações das lajes.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 5 apresenta o cálculo das lajes da área de circulação e da escada tipo jacaré que se apoia nas paredes laterais.

Figura 5 - Reações das lajes da escada.

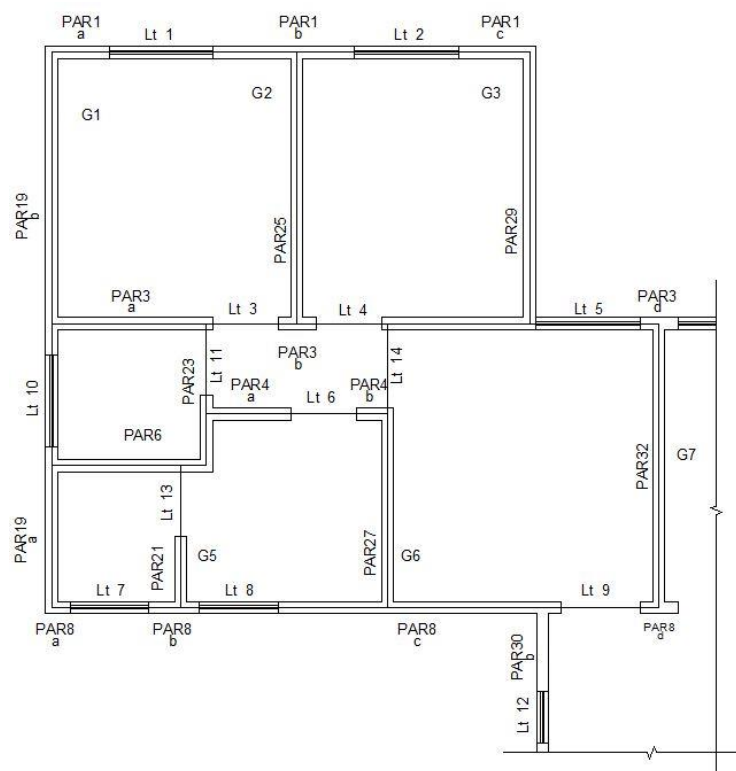


Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.2 Reações dos lintéis nas paredes estruturais de cada pavimento

Os lintéis são elementos estruturais horizontais utilizados na alvenaria estrutural para suportar cargas aplicadas acima de aberturas, como portas e janelas. Sua função é transferir essas cargas para as paredes adjacentes, garantindo a estabilidade e a segurança da estrutura. Os lintéis geralmente são projetados para resistir a esforços de flexão e cisalhamento causados pelas cargas atuantes. A Figura 6 apresenta e nomeia os lintéis do projeto em estudo.

Figura 6 - Identificação dos linteis.



Fonte: elaborado pelo autor.

As paredes têm 14 cm de espessura, compostas por bloco vazado de concreto, considerado que terá um revestimento externo/interno de 1 cm, conforme tabela 2 da NBR 6120 (2019), foi considerado a um peso próprio da alvenaria de 2,3 kN/m<sup>2</sup>, portanto o peso próprio dos linteis ( $PP_{lint}$ ) é dado por:

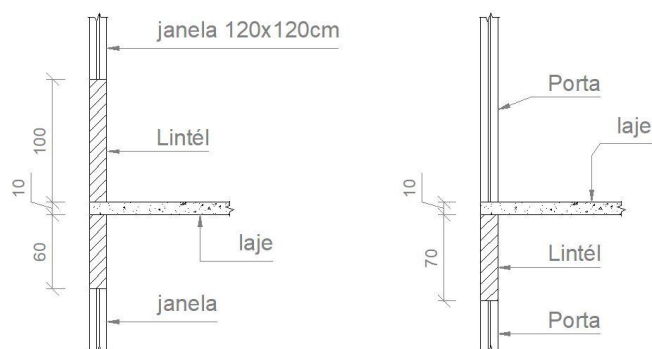
$$PP_{lint} = h \cdot 2,3$$

Onde:

- $PP_{lint}$  = Peso próprio do lintel (kN);
- $h$  = altura do lintel (m).

A Figura 7 exemplifica como deve ser calculada a altura do lintel.

Figura 7 - Demonstração de cálculo da altura do lintel.



Fonte: elaborado pelo autor.

Os linteis são considerados como vigas bi-apoiadas, suas reações de apoio são calculadas na tabela 2 utilizando a seguinte fórmula:

$$R_{lint} = \frac{(R_{laje} + PP_{lint}) \cdot l_{lint}}{2}$$

Onde:

- $R_{lint}$  = reação dos linteis (kN);
- $R_{laje}$  = reação das lajes nos linteis (kN/m);
- $PP_{lint}$  = peso próprio dos linteis (kN/m);
- $l_{lint}$  = comprimento dos linteis (m).

Tabela 1 - Reações dos lintéis nas paredes de alvenaria estrutural

Lintéis	h (m)	PP <sub>lint</sub> (kN/m)	Comp. (m)	R <sub>laje</sub> (kN/m)		C <sub>t</sub> (kN/m)	R <sub>lint</sub> (kN)
Lt 1	1,60	3,68	1,20	R1 <sub>L1</sub>	3,56	7,24	4,34
Lt 2	1,60	3,68	1,20	R1 <sub>L2</sub>	3,37	7,05	4,23
Lt 3	0,70	1,61	0,76	R4 <sub>L1</sub>	3,56	7,79	2,96
				R1 <sub>L6</sub>	2,62		
Lt 4	0,70	1,61	0,76	R4 <sub>L2</sub>	3,37	7,60	2,89
				R1 <sub>L6</sub>	2,62		
Lt 5	1,60	3,68	1,20	R1 <sub>L7</sub>	3,94	7,92	4,57
Lt 6	0,70	1,61	0,76	R2 <sub>L6</sub>	2,62	7,21	2,74
				R1 <sub>L12</sub>	2,98		
Lt 7	1,60	3,68	0,90	R4 <sub>L11</sub>	1,87	5,55	2,50
Lt 8	1,60	3,68	0,90	R4 <sub>L12</sub>	2,98	6,66	3,00
Lt 9	0,70	1,61	0,90	R4 <sub>L7</sub>	3,94	10,36	4,66
				R1 <sub>L15</sub>	4,81		
Lt 10	2,10	4,83	1,05	R2 <sub>L5</sub>	2,06	6,89	3,62
Lt 11	0,70	1,61	0,76	R4 <sub>L5</sub>	2,06	3,67	1,39
Lt 12	1,60	3,68	0,60	R2 <sub>L15</sub>	5,19	8,87	2,66
Lt 13	0,00 <sup>1</sup>	0,00	0,90	R3 <sub>L11</sub>	2,03	4,33	1,64
				R2 <sub>L12</sub>	2,30		
Lt 14	0,00 <sup>1</sup>	0,00	0,90	R2 <sub>L7</sub>	4,11	4,11	1,85

Fonte: elaborado pelo autor.

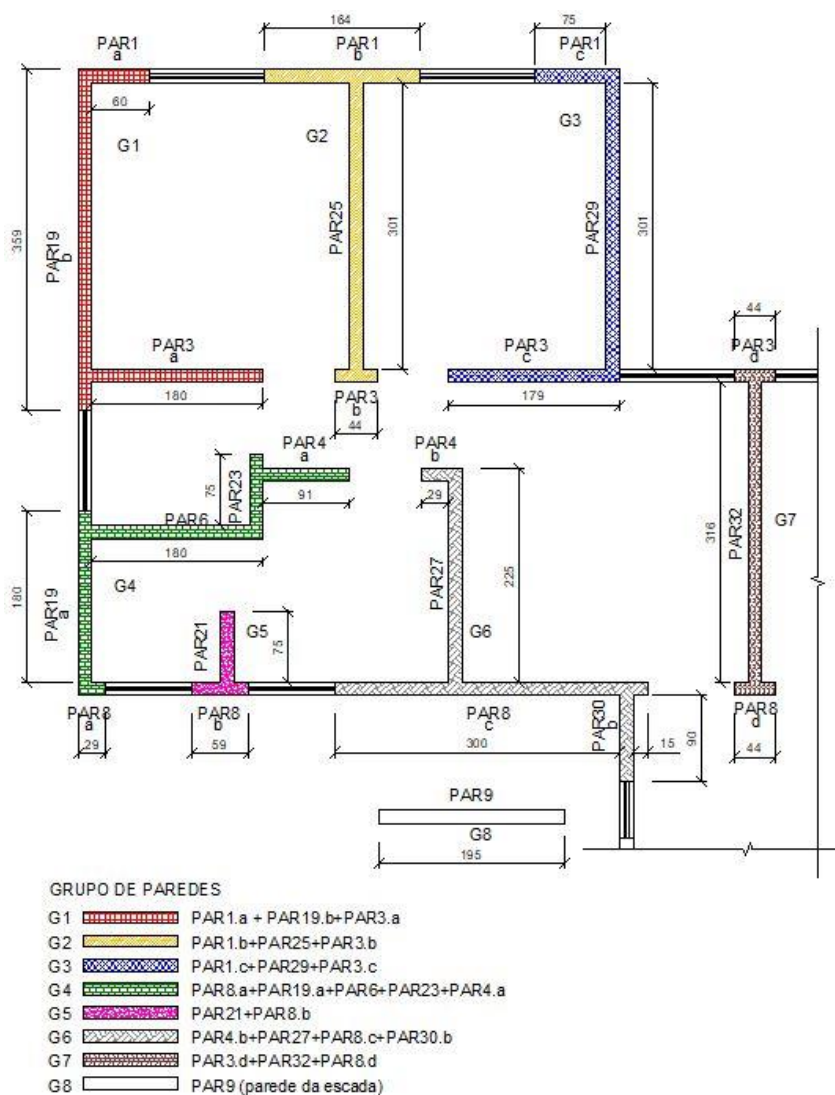
### 5.3 Definição dos grupos isolados de paredes

Conforme modelo de cálculo adotado, item 4.5, os grupos isolados de paredes se referem a um conjunto de paredes estruturais que trabalham de forma solidária para resistir às cargas verticais. As forças de interação entre as paredes do grupo garantem uma distribuição uniforme das cargas entre elas, aumentando a eficiência estrutural. O limite desses grupos é definido por aberturas, como portas e janelas, e o carregamento é distribuído proporcionalmente ao comprimento total das paredes do

<sup>1</sup> Viga de concreto 14x30 cm

grupo. Isso posto foi realizada a subdivisão dos grupos de paredes conforme Figura 8. Como o edifício em estudo é simétrico nas quatro direções, foi representado apenas uma parte da estrutura, formando oito grupos isolados de paredes que se repetem de acordo com a simetria.

Figura 8 - Subdivisão manual das paredes e determinação dos grupos



Fonte: elaborado pelo autor.

#### 5.4 Esforços verticais atuantes nos grupos isolados de paredes

Os esforços verticais que atuam nos grupos isolados de paredes resultam da soma entre o peso próprio das paredes, das reações de apoio das lajes e da reação dos linteis. Nesse cálculo, as reações de apoio dos linteis ( $R_{\text{lint}}$ ) são distribuídas de

forma linear ao longo dos comprimentos das paredes ( $l_{pr}$ ) sobre as quais se apoiam, sendo expressas por:

$$R_{lint,dist} = \frac{R_{lint}}{l_{pr}}$$

Considerando o uso de blocos de concreto vazados, revestidos com uma camada de 1 cm em cada face, conforme especificado na Tabela 2 da NBR 6120 (2019), foi adotado um peso próprio da alvenaria igual a 2,3 kN/m<sup>2</sup>. Para um pé direito de 280 cm tem-se:

$$PP_{pr} = 2,3 \cdot 2,80 = 6,44 \text{ kN/m}$$

Para determinar as tensões normais resultantes das cargas verticais, inicialmente foram calculadas as reações totais ( $R_{pr}$ ) nas paredes, considerando o somatório do peso próprio das paredes e as reações provenientes das lajes e linteis (Tabela 2). Em seguida, foram definidas as cargas verticais totais ( $C_{g,tot}$ ) e as cargas distribuídas ( $C_{g,dist}$ ) nos grupos, com base nas cargas verticais ( $C_{pr}$ ), obtidas pela multiplicação dos comprimentos pelas reações das paredes (Tabela 3). Posteriormente, realizou-se um resumo dos esforços nos grupos de paredes para um pavimento específico (Tabela 4). Por fim, foram apresentadas as tensões acumuladas nos grupos de paredes do primeiro pavimento (Tabela 5).

Tabela 2 - somatório dos esforços verticais nas paredes

PAREDE	$l_{pr}$ [m]	$PP_{pr}$ [kN/m]	$R_{laje}$ [kN/m]		Lintel	$R_{lint}$ [kN]	$R_{lint,dist}$ [kN/m]	$R_{pr}$ [kN/m]
PAR 1 A	0,60	6,44	R1L1	3,56	Lt 1	4,34	7,23	17,23
PAR 19 B	3,01	6,44	R2L2	3,89	-	-	-	10,33
PAR 19 B	0,30	6,44	R2L5	2,06	Lt 10	3,62	12,07	20,57
PAR 3 A	1,94	6,44	R4L1+R1L5	5,78	Lt 3	2,96	1,53	13,75
PAR 1 B	0,90	6,44	R1L1	3,56	Lt 1	4,34	4,82	14,82
PAR 1 B	0,60	6,44	R1L2	3,37	Lt 2	4,23	7,05	16,86
PAR 25	3,29	6,44	R3L1+R2L2	7,74	-	-	-	14,18
PAR 3 B	0,15	6,44	R4L1+R1L6	6,18	Lt 3	2,96	19,73	32,35
PAR 3 B	0,15	6,44	R4L2+R1L6	5,99	Lt 4	2,89	19,27	31,70
PAR 1 C	0,75	6,44	R1L2	3,37	Lt 2	4,23	5,64	15,45
PAR 29	3,29	6,44	R3L2	3,85	-	-	-	10,29
PAR 3 C	1,65	6,44	R4L2+R1L7	7,31	Lt 4 + Lt 5 + Lt 14	9,31	5,64	19,39
PAR 4 A	0,91	6,44	R2L6+R1L12	5,60	Lt 6	2,74	3,01	15,05
PAR 23	0,15	6,44	R3L5	2,06	Lt 11	1,39	9,27	17,77
PAR 23	0,60	6,44	R3L3+R1L12	5,04	-	-	-	11,48
PAR 6	1,50	6,44	R4L5+R1L11	4,09	Lt 13	1,64	1,09	11,62
PAR 6	0,30	6,44	R4L5+R2L12	4,52	-	-	-	10,96
PAR 19 A	1,72	6,44	R2L11	2,03	-	-	-	8,47
PAR 19 A	0,22	6,44	R2L5	2,06	Lt 10	3,62	16,45	24,95
PAR 8 A	0,15	6,44	R4L11	1,87	Lt 7	2,50	16,67	24,98
PAR 21	0,89	6,44	R3L11+R2L12	4,33	Lt 13	1,64	1,84	12,61
PAR 8 B	0,30	6,44	R4L11	1,87	Lt 7	2,50	8,33	16,64
PAR 8 B	0,15	6,44	R4L12	2,98	Lt 8	3,00	20,00	29,42
PAR 4 B	0,29	6,44	R2L6+R1L12	5,60	Lt 6	2,74	9,45	21,49
PAR 27	2,25	6,44	R3L12+R2L7	6,91	Lt 14	1,85	0,82	14,17
PAR 8 C	1,20	6,44	R4L12	2,98	Lt 8	3,00	2,50	11,92
PAR 8 C	1,80	6,44	R4L7	3,94	V1+V2	5,10	2,83	13,21
PAR 8 C	0,15	6,44	R4L7+R1L15	8,75	Lt 9	4,66	31,07	46,26
PAR 30 B	0,98	6,44	R2L15	5,19	Lt 12	2,66	2,73	14,36
PAR 3 D	0,44	6,44	R1L7	3,94	2xLt 5	9,14	20,77	31,15
PAR 32	3,16	6,44	2xR3L7	8,22	-	-	-	14,66
PAR 8 D	0,44	6,44	R1L15	4,81	2xLt 9	9,32	21,18	32,43
PAR 9	1,95	6,44	ESCADA	9,92	V1+V2	17,10	8,77	25,13

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Esforços verticais nos grupos

GRUPO	PAREDE	$l_{pr}$ [m]	$R_{pr}$ [kN/m]	$C_{pr}$ [kN]	$\sum l_{pr} = l_g$ [m]	$C_{g,tot}$ [kN]	$C_{g,dist}$ [kN/m]
1	PAR 1 A	0,60	17,23	10,34	5,85	74,27	12,70
	PAR 19 B	3,01	10,33	31,09			
	PAR 19 B	0,30	20,57	6,17			
	PAR 3 A	1,94	13,75	26,67			
2	PAR 1 B	0,90	14,82	13,34	5,09	79,72	15,66
	PAR 1 B	0,60	16,86	10,12			
	PAR 25	3,29	14,18	46,65			
	PAR 3 B	0,15	32,35	4,85			
	PAR 3 B	0,15	31,70	4,75			
3	PAR 1 C	0,75	15,45	11,59	5,69	77,44	13,61
	PAR 29	3,29	10,29	33,85			
	PAR 3 C	1,65	19,39	32,00			
4	PAR 4 A	0,91	15,05	13,70	5,55	67,78	12,21
	PAR 23	0,15	17,77	2,67			
	PAR 23	0,60	11,48	6,89			
	PAR 6	1,50	11,62	17,44			
	PAR 6	0,30	10,96	3,29			
	PAR 19 A	1,72	8,47	14,57			
	PAR 19 A	0,22	24,95	5,49			
	PAR 8 A	0,15	24,98	3,75			
5	PAR 21	0,89	12,61	11,23	1,34	20,63	15,40
	PAR 8 B	0,30	16,64	4,99			
	PAR 8 B	0,15	29,42	4,41			
6	PAR 4 B	0,29	21,49	6,23	6,67	97,14	14,58
	PAR 27	2,25	14,17	31,89			
	PAR 8 C	1,20	11,92	14,30			
	PAR 8 C	1,80	13,21	23,78			
	PAR 8 C	0,15	46,26	6,94			
	PAR 30 B	0,98	14,36	14,00			
7	PAR 3 D	0,44	31,15	13,71	4,04	74,30	18,39
	PAR 32	3,16	14,66	46,33			
	PAR 8 D	0,44	32,43	14,27			
8	PAR 9	1,95	25,13	49,00	1,95	9,00	25,13

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 4 - Resumo de esforços nos grupos de um pavimento

Grupo	Repetição	$l_g$ (m)	$C_{g,dist}$ (kN/m)	$C_{g,tot}$ (kN)	$C_{g,tot} \times$ Repetição (kN)	Peso Total Pavto (kN)	Tensão Normal (MPa)
1	4	5,85	12,70	74,27	297,08	1.865,52	0,09
2	4	5,09	15,66	79,72	318,86		0,11
3	4	5,69	13,61	77,44	309,76		0,10
4	4	5,55	12,21	67,78	271,11		0,09
5	4	1,34	15,40	20,63	82,53		0,11
6	4	6,67	14,58	97,14	388,58		0,10
7	2	4,04	18,39	74,30	148,61		0,13
8	1	1,95	25,13	49,00	49,00		0,18

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Tensões verticais acumuladas nas paredes do primeiro pavimento

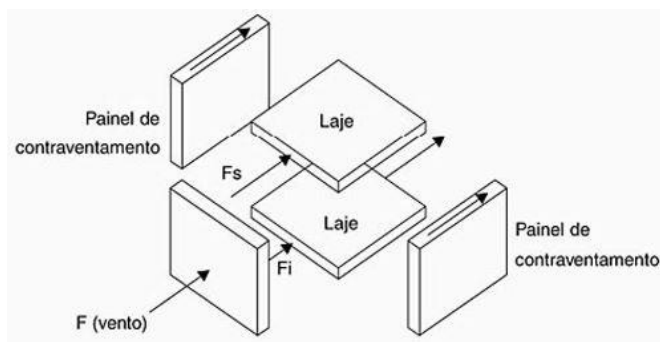
Grupo	$C_{g,tot}$ (kN)	Tensão normal (MPa)	Nº de Pavtos	$C_{g,1^\circ}$ pavto (kN)	Tensão 1º pavto (MPa)
1	74,27	0,09	10	742,70	0,91
2	79,72	0,11		797,16	1,12
3	77,44	0,10		774,39	0,97
4	67,78	0,09		677,77	0,87
5	20,63	0,11		206,31	1,10
6	97,14	0,10		971,45	1,04
7	74,30	0,13		743,03	1,31
8	49,00	0,18		490,02	1,79

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.5 Esforços horizontais atuantes na estrutura

As ações horizontais a serem consideradas são a ação dos ventos e o desaprumo. Foi considerado que o vento atua sobre as paredes que são normais à sua direção. Estas passam a ação às lajes dos pavimentos, que foram consideradas diafragmas rígidos, que as distribuem aos painéis de contraventamento, de acordo com a rigidez de cada um, conforme ilustrado na Figura 9. Para determinação dos esforços de vento foram seguidas as orientações da ABNT NBR 6123 (2023).

Figura 9 - Atuação do vento e distribuição para os painéis de contraventamento.



Fonte: Ramalho (2003).

Para o cálculo do desaprumo foi seguido as orientações do item 8.3.2.2 da ABNT NBR 16868-1 (2020).

### 5.5.1 Esforços de vento

Para determinar os esforços de vento nos pavimentos é necessário calcular a pressão dinâmica ( $q$ ), a área frontal efetiva ( $A_e$ ), e o coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) para as direções X ( $0^\circ$  e  $180^\circ$ ) e Y ( $90^\circ$  e  $270^\circ$ ).

Para o projeto em estudo, de acordo com a ABNT NBR 6123 (2023), foi considerado que o terreno é plano (categoria III) e o edifício é de classe B (possuí a maior dimensão vertical ou horizontal entre 20 e 50 m).

A pressão dinâmica é determinada com base na velocidade característica do vento, sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$q = 6,313 \cdot V_k^2$$

A velocidade do vento característica é expressa pela seguinte equação:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

Onde:

- $V_0 = 31$  m/s para uma edificação situada em Belo Horizonte/MG;

- $S_1 = 1,0$  para terreno plano;
- $S_2 = b \cdot F_r \cdot (z/10)^{p2}$ ;
- $S_3 = 1,0$  para edifício residencial.

Segundo a ABNT NBR 6123 (2023) a área frontal efetiva é a projeção ortogonal da edificação sobre o plano perpendicular à direção do vento. O edifício em estudo tem 14,24 m de comprimento na direção X por 15,74 m de comprimento na direção Y. Portanto a área frontal efetiva nas direções X e Y são:

$$A_{ex} = 2,90 \cdot 14,24 = 41,30 \text{ m}^2$$

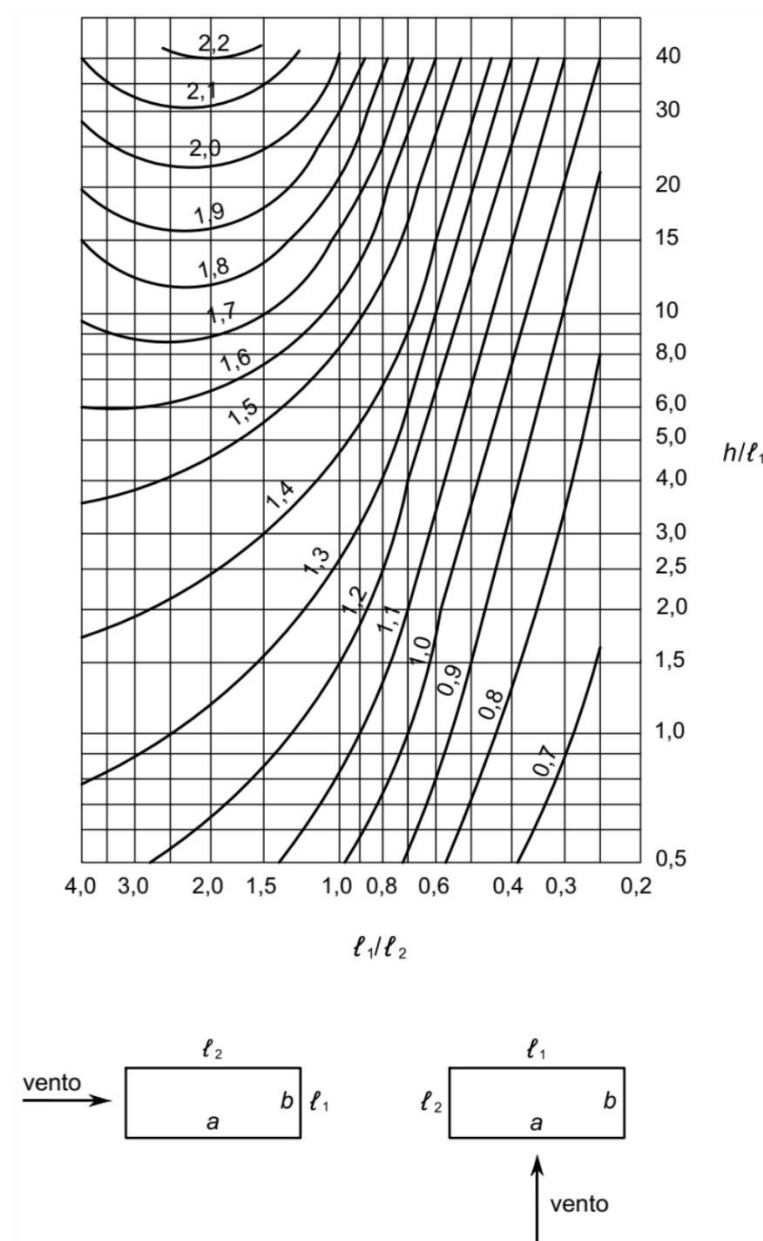
$$A_{ey} = 2,90 \cdot 15,74 = 45,65 \text{ m}^2$$

Conforme item 6.1.2 da NBR 6123:2023, o coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) nas direções X e Y foi definido conforme gráfico da Figura 10, em função das relações  $L_1/L_2$  e  $H/L_1$  para cada direção de atuação do vento (Tabela 6). Para o edifício em estudo foi considerado um vento de baixa turbulência.

---

<sup>2</sup> Ver página 15 da NBR 6123:2023, para categoria III e classe B, Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos,  $b=0,94$ ;  $p=0,105$ ; Tabela 2 – Fator de rajada,  $F_r = 0,98$ .

Figura 10 - Coeficiente de arrasto  $C_a$  para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência.



Fonte: NBR 6123:2023, página 29.

Tabela 6 - Coeficiente de arrasto das direções X e Y.

Direção	$L_1$	$L_2$	H	$L_1/L_2$	$H/L_1$	$C_a$
X	14,24	15,74	29,00	0,90	2,04	1,20
Y	15,74	14,24	29,00	1,10	1,84	1,25

Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 7 apresenta os resultados dos esforços do vento ( $F_a$ ) nas direções X e Y para cada pavimento, conforme descrito no item 4.3.3 da NBR 6123:2023. Os cálculos foram realizados com base na equação apresentada a seguir, desconsiderando o fator de vizinhança ( $f_v$ ).

$$F_a = q \cdot C_a \cdot A_e \cdot f_v$$

Tabela 7 - Esforços do vento nas direções X e Y em cada pavimento.

Pavto	H (m)	S <sub>2</sub>	V <sub>k</sub> (m/s)	q (N/m <sup>2</sup> )	F <sub>ax</sub> (kN)	F <sub>ay</sub> (kN)
1°	2,90	0,81	25,08	385,47	19,10	21,99
2°	5,80	0,87	26,97	445,87	22,10	25,44
3°	8,70	0,91	28,14	485,50	24,06	27,70
4°	11,60	0,94	29,01	515,74	25,56	29,43
5°	14,50	0,96	29,69	540,48	26,78	30,84
6°	17,40	0,98	30,27	561,57	27,83	32,04
7°	20,30	0,99	30,76	580,05	28,74	33,10
8°	23,20	1,01	31,20	596,55	29,56	34,04
9°	26,10	1,02	31,58	611,49	30,30	34,89
10°	29,00	1,03	31,94	625,17	30,98	35,67

Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.5.2 Desaprumo

De acordo com o item 8.3.2.2 da ABNT NBR 16868-1 (2020), é indispensável considerar o desaprumo global em edificações com múltiplos pavimentos. A determinação da força horizontal resultante do desaprumo ( $F_d$ ) é feita a partir do ângulo associado ( $\phi$ ) e do peso total do pavimento ( $\Delta P$ ), sendo utilizada a equação:

$$F_d = \Delta P \cdot \theta$$

O peso total do pavimento foi calculado na Tabela 4 (1.865,52 kN), enquanto o ângulo de desaprumo foi obtido utilizando uma fórmula que relaciona a altura total do edifício (H).

$$\theta = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{29}} = 0,00186 \text{ rad}$$

$$F_d = 1.865,52 \cdot 0,00186 = 3,46 \text{ kN}$$

A ação horizontal equivalente ao desaprumo, a ser aplicada em cada pavimento, foi somada a ação dos ventos. A Tabela 8 apresenta os esforços horizontais totais nas direções X e Y em cada pavimento.

Tabela 8 - Esforços horizontais nas direções X e Y por pavimento.

Pavto	H (m)	F <sub>ax</sub> (kN)	F <sub>ay</sub> (kN)	F <sub>d</sub> (kN)	Esforços Totais	
					F <sub>ax</sub> (kN)	F <sub>ay</sub> (kN)
1°	2,90	19,10	21,99	3,46	22,56	25,45
2°	5,80	22,10	25,44	3,46	25,56	28,90
3°	8,70	24,06	27,70	3,46	27,52	31,16
4°	11,60	25,56	29,43	3,46	29,02	32,89
5°	14,50	26,78	30,84	3,46	30,24	34,30
6°	17,40	27,83	32,04	3,46	31,29	35,50
7°	20,30	28,74	33,10	3,46	32,20	36,56
8°	23,20	29,56	34,04	3,46	33,02	37,50
9°	26,10	30,30	34,89	3,46	33,76	38,35
10°	29,00	30,98	35,67	3,46	34,44	39,13

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.6 Tensões verticais e horizontais nos pórticos nas direções X e Y

### 5.6.1 Determinação do vão dos lintéis semiflexíveis

De acordo com as recomendações da NBR 16868, os lintéis devem ser projetados como vigas bi-apoiadas, considerando os vãos correspondentes à distância entre os centros de gravidade das paredes adjacentes. O comprimento dos

trechos flexíveis do lintel ( $L_{lin}$ ) é definido como o vão livre entre os grupos de paredes acrescido de dois terços da altura do próprio lintel, enquanto os trechos rígidos correspondem ao restante do vão. Com base nessas diretrizes, foram estabelecidos os trechos flexíveis mínimos para cada lintel apresentados na Tabela 9.

$$L_{lin} = C_{lin} + h_{lin} \cdot \frac{2}{3}$$

Tabela 9 - Comprimento dos trechos flexíveis dos lintéis.

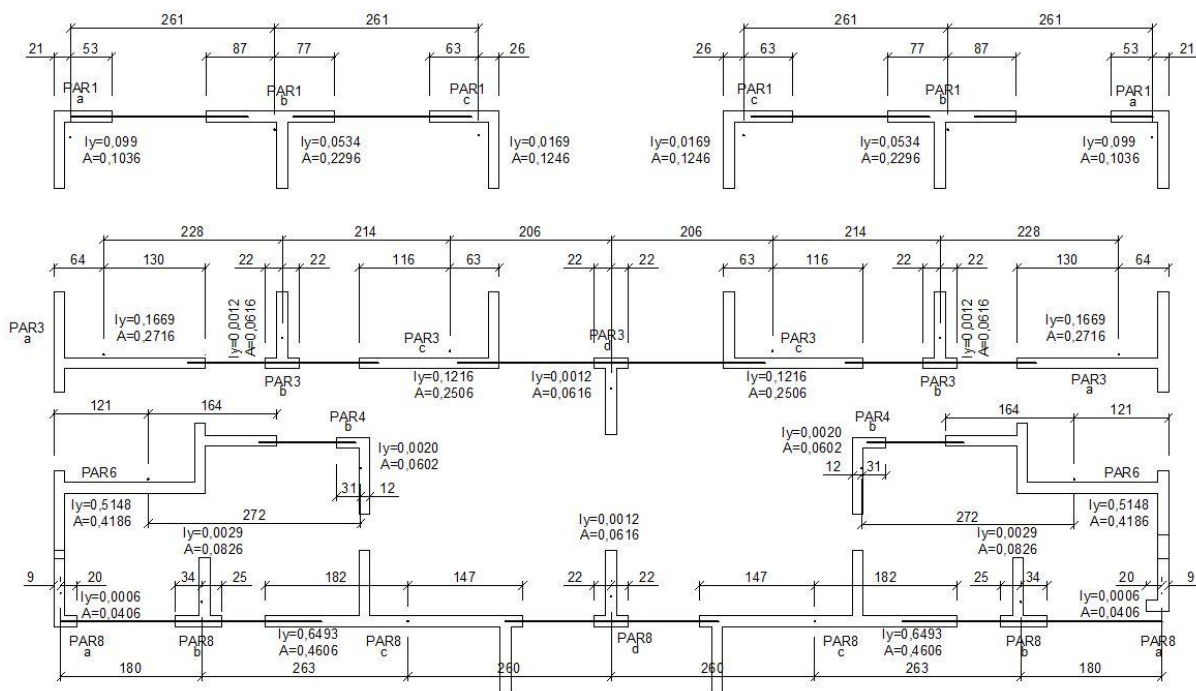
Lintel	Comprimento (cm)	Altura (cm)	$L_{lin}^3$ (cm)
Lt 1 = Lt 2 = Lt 5	120	160	227
Lt 10	105	210	245
Lt 7 = Lt 8	90	160	197
Lt 12	60	160	167
Lt 3 = Lt 4 = Lt 11 = Lt 6	76	70	123
Lt 9	90	70	137

Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 11 apresenta os pórticos e as paredes isoladas da estrutura, responsáveis por resistir aos esforços horizontais na direção X e a Figura 12 apresenta os pórticos e as paredes isoladas da estrutura responsáveis por resistir aos esforços horizontais na direção Y. As linhas que conectam as paredes indicam os trechos flexíveis mínimos dos lintéis, que, em conjunto, configuram os pórticos. A parede do grupo 8 foi desconsiderada no cálculo do contraventamento manual da direção X, uma vez que nessa direção ela tem contato apenas com a laje da circulação.

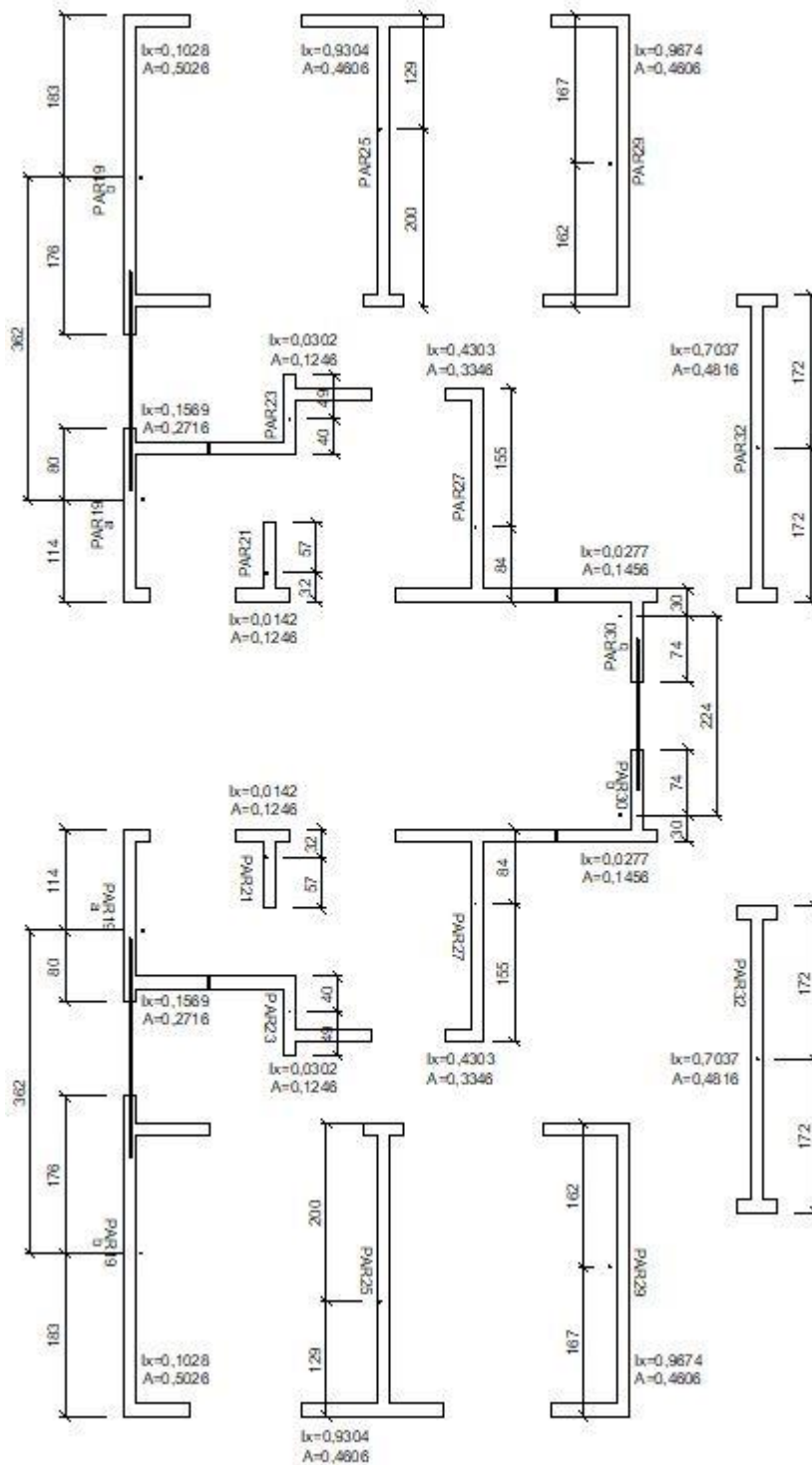
<sup>3</sup> Para fins de simplificação, o comprimento foi arredondado para o valor inteiro mais próximo.

Figura 11 - Pórticos e paredes com abas da direção X.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 - Pórticos e paredes com abas da direção Y.



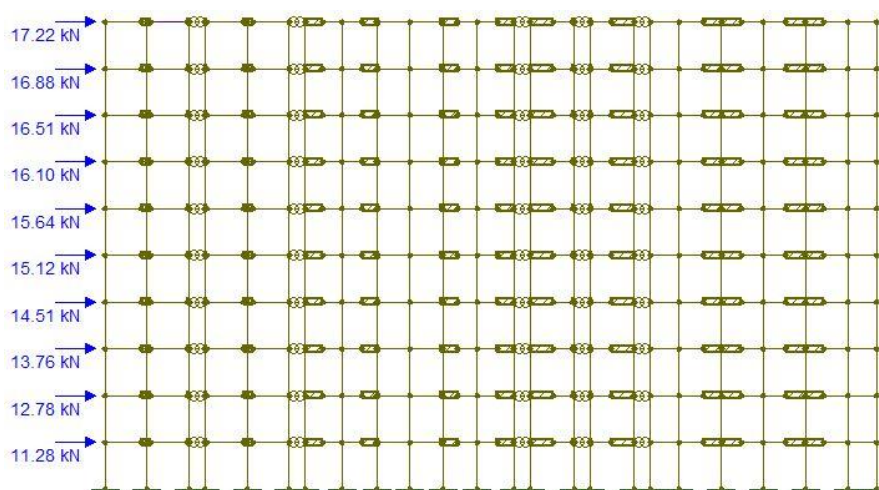
Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.6.2 Tensões nas paredes na direção X (0° e 180°) do primeiro pavimento

Para determinação das tensões devido aos esforços horizontais atuantes nas paredes do 1º pavimento, foi utilizado o modelo de pórtico plano no *software Ftool*.

A Figura 13 apresenta a entrada gráfica da estrutura no *Ftool*, onde se fez o lançamento das paredes da estrutura interligadas por barras que representam a laje e os linteis semiflexíveis. Devido a simetria foi modelado no software metade do edifício em estudo, portanto o carregamento introduzido é metade do atuante.

Figura 13 - Lançamento dos pórticos e paredes com abas na direção X no *Ftool*.



Fonte: elaborado pelo autor.

A Tabela 10 apresenta os valores dos esforços gerados pelas forças horizontais aplicadas na estrutura, calculados com o auxílio do *software Ftool*, considerando as propriedades geométricas e os materiais previamente definidos. Com base nesses resultados e nos dados da Tabela 5, que descreve as tensões verticais acumuladas nas paredes do primeiro pavimento, a Tabela 11 reúne as tensões normais nas paredes na direção X do primeiro pavimento, originadas pela interação entre os esforços horizontais e verticais que atuam na estrutura. Para o cálculo das tensões apresentadas na Tabela 11 foram utilizadas as seguintes equações:

Tensão de cisalhamento  $\tau$ :

$$\tau = \frac{V}{A_{Alma}}$$

Tensão associada ao esforço normal N:

$$N = \frac{N}{A_{total}}$$

Tensão associada ao Momento fletor:

$$\sigma_{dir/esq} = \frac{M}{W_{dir/esq}}$$

Tabela 10 - Esforços horizontais na direção X do primeiro pavimento.

PAREDE	PROPRIEDADES GEOMETRICAS					REAÇÕES DEVIDO A AÇÕES HORIZONTAIS		
	Área p/ Normal (m <sup>2</sup> )	Área p/ Cis. (m <sup>2</sup> )	I <sub>y-y</sub> (m <sup>4</sup> )	X <sub>esq</sub>	X <sub>dir</sub>	N (kN)	V (kN)	M (kN.m)
PAR1a - ESQ	0,2212	0,1036	0,0099	0,21	0,53	27,69	9,97	23,47
PAR1b - ESQ	0,3472	0,2296	0,0534	0,87	0,77	2,17	7,92	14,47
PAR1c - ESQ	0,2422	0,1246	0,0169	0,63	0,26	25,09	2,48	4,38
PAR1c - DIR	0,2422	0,1246	0,0169	0,26	0,63	23,94	2,39	4,29
PAR1b - DIR	0,3472	0,2296	0,0534	0,77	0,87	0,63	6,11	11,58
PAR1a - DIR	0,2212	0,1036	0,0099	0,53	0,21	24,78	5,65	14,97
PAR3a - ESQ	0,4312	0,2716	0,1669	0,64	1,30	65,61	12,17	27,75
PAR3b - ESQ	0,1792	0,0616	0,0012	0,22	0,22	10,64	0,23	0,33
PAR3c - ESQ	0,3682	0,2506	0,1216	1,16	0,63	0,63	12,37	23,42
PAR3d	0,1792	0,0616	0,0012	0,22	0,22	0,64	0,28	0,38
PAR3c - DIR	0,3682	0,2506	0,1216	0,63	1,16	1,44	10,52	20,39
PAR3b - DIR	0,1792	0,0160	0,0012	0,22	0,22	11,51	0,18	0,26
PAR3a - DIR	0,4312	0,2716	0,1669	1,30	0,64	61,95	7,58	19,26
PAR6 - ESQ	0,6426	0,4186	0,5148	1,21	1,64	18,86	12,91	48,78
PAR4b - ESQ	0,1778	0,0602	0,0020	0,31	0,12	18,64	0,15	0,29
PAR4b - DIR	0,1778	0,0602	0,0020	0,12	0,31	17,99	0,15	0,28
PAR6 - DIR	0,6426	0,4186	0,5148	1,64	1,21	18,49	10,64	44,21
PAR8a - ESQ	0,1582	0,0406	0,0006	0,09	0,20	22,03	0,09	0,13
PAR8b - ESQ	0,1879	0,0826	0,0029	0,34	0,25	28,35	0,40	0,59
PAR8C - ESQ	0,6958	0,4606	0,6493	1,82	1,47	47,39	23,17	66,53
PAR8d	0,1792	0,0616	0,0012	0,22	0,22	0,07	0,21	0,29
PAR8C - DIR	0,6958	0,4606	0,6493	1,47	1,82	47,55	23,70	67,14
PAR8b - DIR	0,1879	0,0826	0,0029	0,25	0,34	28,26	0,42	0,60
PAR8a - DIR	0,1582	0,0406	0,0006	0,20	0,09	21,90	0,10	0,13

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 11 - Tensões nas paredes da direção X no primeiro pavimento

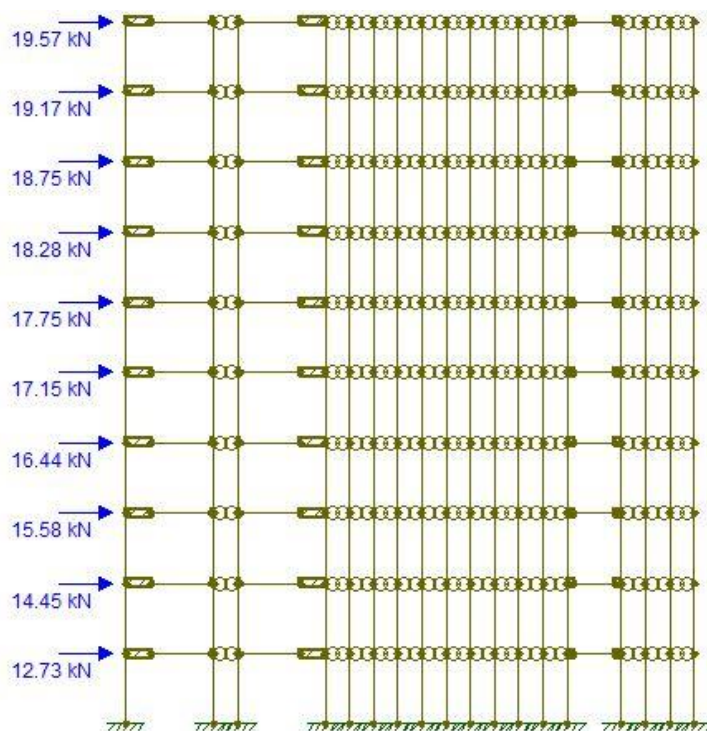
PAREDE	TENSÃO VERTICAL (MPa) GRUPOS ISOLADOS	RESUMO DE TENSÕES - ESFORÇOS HORIZONTAIS			
		$\tau$ (MPa)	N (MPa)	$\sigma_{\text{esq}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{dir}}$ (MPa)
PAR1a - ESQ	0,91	0,10	0,13	0,50	1,26
PAR1b - ESQ	1,12	0,03	0,01	0,24	0,21
PAR1c - ESQ	0,97	0,02	0,10	0,16	0,07
PAR1c - DIR	0,97	0,02	0,10	0,07	0,16
PAR1b - DIR	1,12	0,03	0,00	0,17	0,19
PAR1a - DIR	0,91	0,05	0,11	0,80	0,32
PAR3a - ESQ	0,91	0,04	0,15	0,11	0,22
PAR3b - ESQ	1,12	0,00	0,06	0,06	0,06
PAR3c - ESQ	0,97	0,05	0,00	0,22	0,12
PAR3d	1,31	0,00	0,00	0,07	0,07
PAR3c - DIR	0,97	0,04	0,00	0,11	0,19
PAR3b - DIR	1,12	0,01	0,06	0,05	0,05
PAR3a - DIR	0,91	0,03	0,14	0,15	0,07
PAR6 - ESQ	0,87	0,03	0,03	0,11	0,16
PAR4b - ESQ	1,04	0,00	0,10	0,05	0,02
PAR4b - DIR	1,04	0,00	0,10	0,02	0,04
PAR6 - DIR	0,87	0,03	0,03	0,14	0,10
PAR8a - ESQ	0,87	0,00	0,14	0,02	0,04
PAR8b - ESQ	1,10	0,00	0,15	0,07	0,05
PAR8C - ESQ	1,04	0,05	0,07	0,19	0,15
PAR8d	1,31	0,00	0,00	0,05	0,05
PAR8C - DIR	1,04	0,05	0,07	0,15	0,19
PAR8b - DIR	1,10	0,01	0,15	0,05	0,07
PAR8a - DIR	0,87	0,00	0,14	0,04	0,02

Fonte: elaborado pelo autor.

### 5.6.3 Tensões nas paredes na direção Y (0° e 180°) do primeiro pavimento

Para determinação das tensões na direção Y foi seguindo a mesma rotina de cálculo do item 5.6.2.

Figura 14 - Lançamento dos pórticos e paredes com abas na direção Y no Ftool.



Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 12 - Esforços horizontais na direção Y do primeiro pavimento.

PAREDE	PROPRIEDADES GEOMETRICAS					REAÇÕES DEVIDO A AÇÕES HORIZONTAIS		
	Área p/ Normal [m <sup>2</sup> ]	Área p/ Cis. [m <sup>2</sup> ]	I <sub>x-x</sub> (m <sup>4</sup> )	Y <sub>inf</sub>	Y <sub>sup</sub>	N (kN)	V (kN)	M (kN.m)
PAR19b - INF	0,7042	0,5026	0,1028	1,83	1,76	152,38	18,12	46,68
PAR19a - INF	0,4102	0,2716	0,1569	0,80	1,14	-151,77	13,73	53,23
PAR19a - SUP	0,4102	0,2716	0,1569	1,14	0,80	148,93	12,59	51,85
PAR19b - SUP	0,7042	0,5026	0,1028	1,76	1,83	-150,2	10,10	33,37
PAR25 - INF	0,7042	0,4606	0,9304	1,29	2,00	0,00	22,14	232,57
PAR23 - INF	0,3598	0,1246	0,0302	0,49	0,40	0,00	0,68	7,78
PAR21 - INF	0,1876	0,1246	0,0142	0,57	0,32	0,00	0,31	3,48
PAR21 - SUP	0,1876	0,1246	0,0142	0,32	0,57	0,00	0,29	3,45
PAR23 - SUP	0,3598	0,1246	0,0302	0,40	0,49	0,00	0,59	7,27
PAR25 - SUP	0,7042	0,4606	0,9304	2,00	1,29	0,00	17,24	222,08
PAR27 - INF	0,6104	0,3346	0,4303	1,55	0,84	0,00	7,76	102,19
PAR27 - SUP	0,6104	0,3346	0,4303	0,84	1,55	0,00	7,64	101,82
PAR29 - INF	0,6832	0,4606	0,9674	1,67	1,62	0,00	17,07	228,45
PAR30 - INF	0,2842	0,1456	0,0277	0,30	0,74	55,96	2,03	8,03
PAR30 - SUP	0,2842	0,1456	0,0277	0,74	0,30	-55,96	1,94	7,86
PAR29 - SUP	0,6832	0,4606	0,9674	1,62	1,67	0,00	15,53	223,62
PAR32 - INF	0,5656	0,4816	0,7037	1,72	1,72	0,00	11,10	162,27
PAR32 - SUP	0,5656	0,4816	0,7037	1,72	1,72	0,00	11,01	162,09

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Tensões nas paredes da direção Y no primeiro pavimento

PAREDE	TENSÃO VERTICAL (MPa) GRUPOS ISOLADOS	RESUMO DE TENSÕES			
		$\tau$ (MPa)	N (MPa)	$\sigma_{inf}$ (MPa)	$\sigma_{sup}$ (MPa)
PAR19b - INF	0,91	0,04	0,22	0,83	0,80
PAR19a - INF	0,87	0,05	0,37	0,27	0,39
PAR19a - SUP	0,87	0,05	0,36	0,38	0,26
PAR19b - SUP	0,91	0,02	0,21	0,57	0,59
PAR25 - INF	1,12	0,05	0,00	0,32	0,50
PAR23 - INF	0,87	0,01	0,00	0,13	0,10
PAR21 - INF	1,10	0,00	0,00	0,14	0,08
PAR21 - SUP	1,10	0,00	0,00	0,08	0,14
PAR23 - SUP	0,87	0,00	0,00	0,10	0,12
PAR25 - SUP	1,12	0,04	0,00	0,48	0,31
PAR27 - INF	1,04	0,02	0,00	0,37	0,20
PAR27 - SUP	1,04	0,02	0,00	0,20	0,37
PAR29 - INF	0,97	0,04	0,00	0,39	0,38
PAR30 - INF	1,04	0,01	0,20	0,09	0,21
PAR30 - SUP	1,04	0,01	0,20	0,21	0,09
PAR29 - SUP	0,97	0,03	0,00	0,37	0,39
PAR32 - INF	1,31	0,02	0,00	0,40	0,40
PAR32 - SUP	1,31	0,02	0,00	0,40	0,40

Fonte: elaborado pelo autor

## 5.7 Estabilidade global da estrutura

A análise da estabilidade global de uma estrutura envolve sua classificação quanto à deslocabilidade, com o objetivo de garantir que ela seja considerada indeslocável, ou seja, uma condição na qual os esforços de segunda ordem representem menos de 10% dos esforços de primeira ordem. Quando essa condição é atendida, os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados, simplificando o dimensionamento. Para essa classificação, foram empregados os métodos do parâmetro alfa ( $\alpha$ ), que avalia a rigidez global da estrutura, e do parâmetro gama z ( $\gamma_z$ ), que quantifica os efeitos adicionais de segunda ordem. Ambos os métodos seguem as recomendações da ABNT NBR 6118:2023 e permitem verificar a

estabilidade estrutural de forma eficiente, garantindo segurança e desempenho adequado sem a necessidade de análises mais complexas.

### 5.7.1 Parâmetro alfa ( $\alpha$ )

Conforme descrito no item 15.5.2 da NBR 6118:2023, o cálculo do parâmetro de instabilidade alfa ( $\alpha$ ) é segue a equação abaixo:

$$\alpha = H_{tot} \cdot \sqrt{\frac{N_k}{EI}}$$

Onde:

- $H_{tot}$  = altura total do edifício (m);
- $N_k$  = somatório das cargas verticais atuantes na estrutura (kN);
- $E$  = módulo de elasticidade do bloco de concreto (kN/m<sup>2</sup>);
- $I$  = inércia equivalente da estrutura (m<sup>4</sup>)

Para calcular a inércia equivalente, os pórticos nas direções X e Y foram modelados novamente no software *Ftool*. Nesta etapa, aplicou-se uma força horizontal de 1,00 kN no último pavimento (conforme mostrado nas Figuras 15 e 16). Em seguida, foram obtidos, a partir do *Ftool*, os deslocamentos resultantes da força aplicada, permitindo o cálculo das inércias equivalentes dos pórticos por meio da utilização da fórmula:

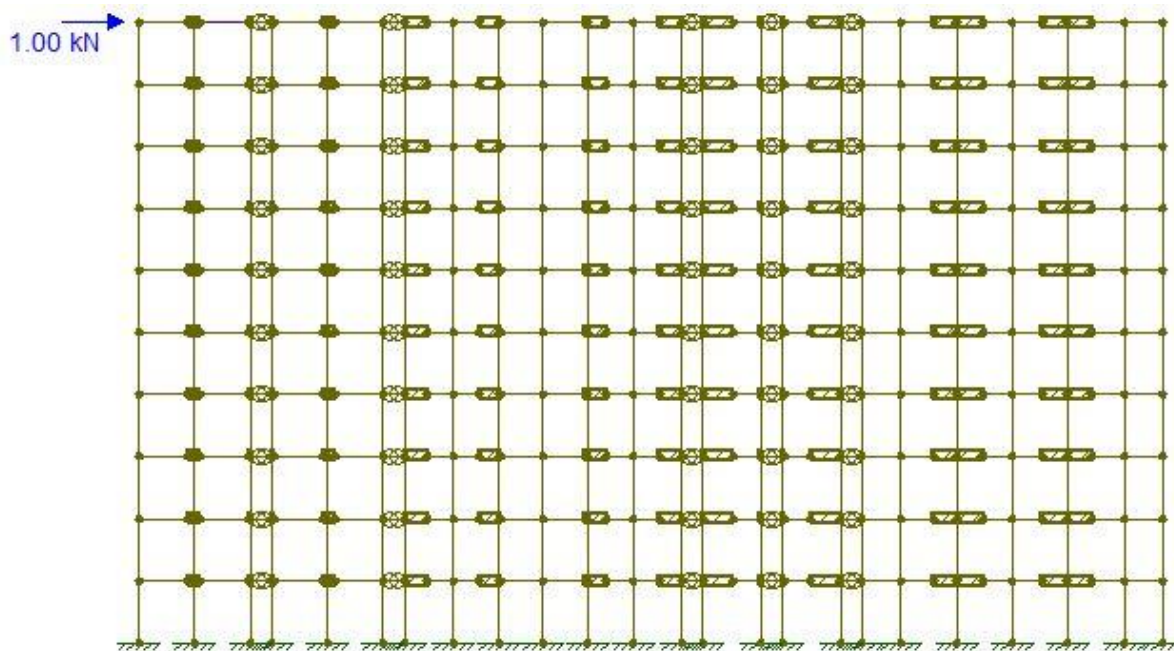
$$f = \frac{pL^3}{3EI} \therefore I = \frac{pL^3}{3Ef}$$

Onde:

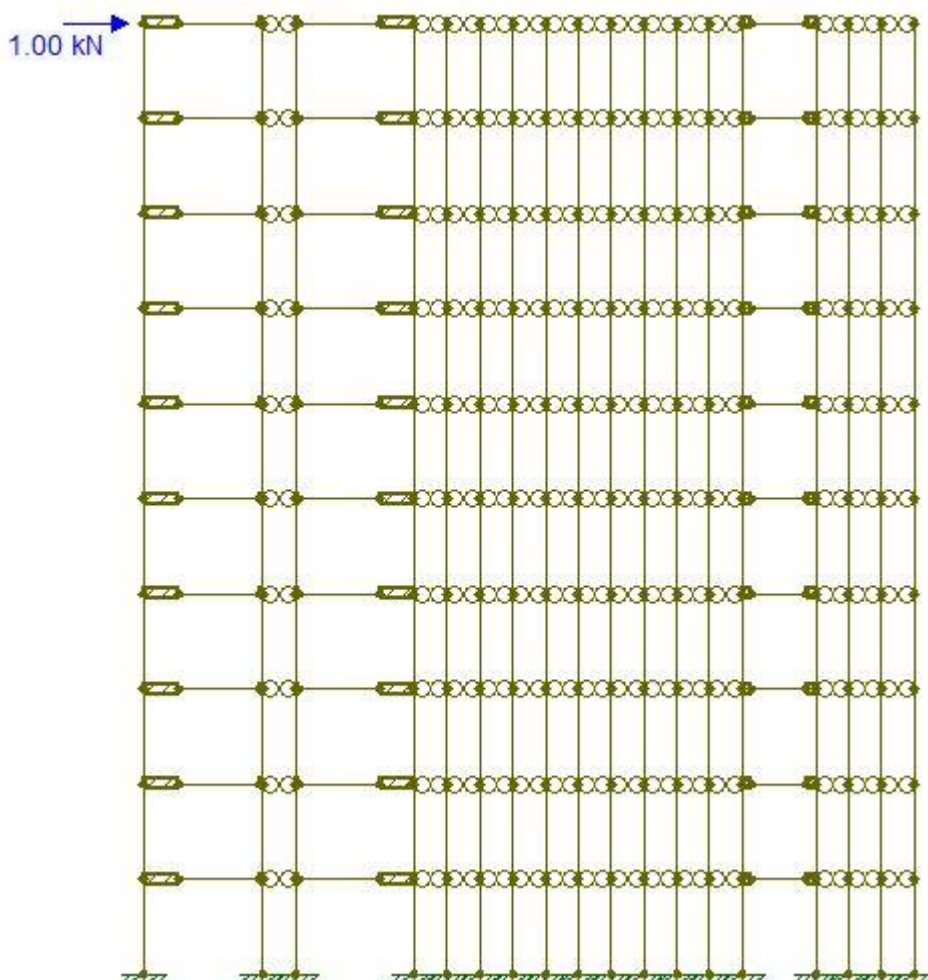
- $f$  = flecha resultante (m);
- $p$  = força horizontal aplicada (kN);
- $L$  = altura do edifício (m);

- $E$  = módulo de elasticidade do bloco de concreto (kN/m<sup>2</sup>)
- $I$  = inércia equivalente (m<sup>4</sup>).

Figura 15 - Pórticos da direção X no *Ftool* para cálculo do parâmetro  $\alpha$



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 16 - Pórticos da direção Y no *Ftool* para cálculo do parâmetro  $\alpha$ 

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Cálculo do parâmetro  $\alpha$  da estrutura

Direção	f (m)	p (kN)	L (m)	E (kN/m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	N <sub>k</sub> (kN)	H (m)	$\alpha$
X	0,00001335	1,00	29	8.400.000	72,4957	18.655,20	29	0,16
Y	0,00005039				19,2065			0,31

Fonte: elaborado pelo autor

Segundo a NBR 6118:2023 uma estrutura reticulada simétrica pode ser considerada como sendo de nós fixos se seu parâmetro de instabilidade  $\alpha$  for menor do que o valor  $\alpha_1$ . Para edifícios com mais de quatro pavimentos o valor de  $\alpha_1=0,60$ .

Portanto a estrutura em estudo foi considerada indeslocável e os esforços de segunda ordem foram desprezados.

### 5.7.2 Parâmetro gama Z ( $\gamma_z$ )

Conforme descrito no item 15.5.3 da NBR 6118:2023, que avalia a importância dos esforços de segunda ordem globais, considera-se que a estrutura é de nós fixos quando o coeficiente  $\gamma_z$  deve ser inferior a 1,10.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Onde:

- $M_{1,tot,d}$  é a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada em relação à base da estrutura;
- $\Delta M_{tot,d}$  é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação.

A estrutura foi lançada como pórtico plano no *software Ftool* para verificação dos deslocamentos em cada pavimento e determinação do  $\Delta M_{tot,d}$ . As Tabela 15 e Tabela 16 apresentam o cálculo do coeficiente  $\gamma_z$  nas direções X e Y respectivamente. Nota-se que o edifício em estudo apresentou valores de  $\gamma_z$  menores que 1,10 nas duas direções, portanto a estrutura foi classificada como indeslocável e os esforços de segunda ordem foram desconsiderados.

Tabela 15 - Cálculo do parâmetro  $\gamma_z$  da estrutura na direção X

Pavto	H (m)	F <sub>ax</sub> (kN)	M <sub>1,tot,d</sub>	P (kN)	e (m)	ΔM <sub>tot,d</sub>	γ <sub>z</sub>
1°	2,90	22,56	5.072,27	1.865,52	0,00085	90,20	1,02
2°	5,80	25,56			0,00154		
3°	8,70	27,52			0,00203		
4°	11,60	29,02			0,00259		
5°	14,50	30,24			0,00331		
6°	17,40	31,29			0,00424		
7°	20,30	32,2			0,00542		
8°	23,20	33,02			0,00694		
9°	26,10	33,76			0,00899		
10°	29,00	34,44			0,01246		

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 16 - Cálculo do parâmetro  $\gamma_z$  da estrutura na direção Y

Pavto	H (m)	F <sub>ay</sub> (kN)	M <sub>1,tot,d</sub>	P (kN)	e (m)	ΔM <sub>tot,d</sub>	γ <sub>z</sub>
1°	2,90	25,45	5.756,96	1.865,52	0,00032	139,57	1,02
2°	5,80	28,9			0,00061		
3°	8,70	31,16			0,00112		
4°	11,60	32,89			0,00202		
5°	14,50	34,3			0,00347		
6°	17,40	35,5			0,00559		
7°	20,30	36,56			0,00852		
8°	23,20	37,5			0,01238		
9°	26,10	38,35			0,01730		
10°	29,00	39,13			0,02350		

Fonte: elaborado pelo autor.

## 5.8 Definição do bloco adotado no 1º pavimento

As alvenarias do 1º pavimento estão submetidas a flexo-compressão, tensões normais de compressão simples devidas às cargas verticais e às tensões normais de compressão na flexão devidas as ações horizontais. Para verificação dos elementos foi utilizado a equação de interação do item 11.5.2 da NBR 16868 (2020).

$$\frac{N_d}{A \cdot R} + \frac{M_d}{W \cdot K} \leq f_d$$

Como ocorre ações variáveis em ambas solicitações, sobrecarga nas lajes e vento, seguindo as recomendações da NBR 8681 (2003) foram aplicados coeficientes de ponderação  $\Psi_0$  (0,60 para o vento e 0,50 para a sobrecarga nas lajes)<sup>4</sup> na solicitação devida à ação variável secundária.

Portanto para o dimensionamento à flexo-compressão foram consideradas duas hipóteses de cálculo.

1 ° Hipótese – vento como ação variável principal

$$\frac{1,4 \cdot 0,5 \cdot N_{ac} + 1,4 \cdot N_p}{A \cdot \left[ 1 - \left( \frac{h_{ef}}{40 \cdot t_{ef}} \right)^3 \right]} + \frac{1,4 \cdot M_{ven}}{W \cdot 1,5} \leq \frac{0,7 \cdot f_k}{2,0}$$

2 ° Hipótese – sobrecarga nas lajes como ação variável principal

$$\frac{1,4 \cdot N_{ac} + 1,4 \cdot N_p}{A \cdot \left[ 1 - \left( \frac{h_{ef}}{40 \cdot t_{ef}} \right)^3 \right]} + \frac{1,4 \cdot 0,6 \cdot M_{ven}}{W \cdot 1,5} \leq \frac{0,7 \cdot f_k}{2,0}$$

Onde:

$N_{ac}$  – é o esforço vertical normal acidental;

$M_{ven}$  – é o momento fletor devido ao vento;

$h_{ef}$  – é a altura efetiva do pavimento;

$t_{ef}$  – é a espessura efetiva da parede;

$f_k$  – é a resistência necessária do prisma;

Para determinação das tensões acidentais a rotina de cálculo do item 5.4 foi refeita considerando apenas as cargas acidentais nas lajes.

<sup>4</sup> Tabela 6 da ABNT NBR 8681:2003.

O resumo das tensões obtidas nas paredes do primeiro pavimento nas direções X e Y foi apresentada nas Tabela 17 e Tabela 18, respectivamente. As Tabela 19 e Tabela 20 apresentam a resistência mínima do prisma e bloco para cada direção.

Tabela 17 - Tensões atuantes nas paredes resistentes da direção X

Parede	$\sigma_{\text{Vertical}}$			$\sigma_{\text{Horizontal}}$					
	$\sigma_{\text{ac}}$	$\sigma_{\text{p}}$	$\sigma_{\text{tot}}$	$\tau$	$\sigma_{\text{N}}$	$\sigma_{\text{esq}}$	$\sigma_{\text{dir}}$	$\sigma_{\text{Resq}}$	$\sigma_{\text{Rdir}}$
PAR1a - ESQ	0,12	0,79	0,91	0,10	0,13	0,50	-1,26	0,62	-1,13
PAR1b - ESQ	0,17	0,95	1,12	0,03	-0,01	0,24	-0,21	0,23	-0,21
PAR1c - ESQ	0,11	0,86	0,97	0,02	-0,10	0,16	-0,07	0,06	-0,17
PAR1c - DIR	0,11	0,86	0,97	0,02	0,10	0,07	-0,16	0,16	-0,06
PAR1b - DIR	0,17	0,95	1,12	0,03	0,00	0,17	-0,19	0,17	-0,19
PAR1a - DIR	0,12	0,79	0,91	0,05	-0,11	0,80	-0,32	0,69	-0,43
PAR3a - ESQ	0,12	0,79	0,91	0,04	0,15	0,11	-0,22	0,26	-0,06
PAR3b - ESQ	0,17	0,95	1,12	0,00	0,06	0,06	-0,06	0,12	0,00
PAR3c - ESQ	0,11	0,86	0,97	0,05	0,00	0,22	-0,12	0,22	-0,12
PAR3d	0,23	1,08	1,31	0,00	0,00	0,07	-0,07	0,07	-0,07
PAR3c - DIR	0,11	0,86	0,97	0,04	0,00	0,11	-0,19	0,10	-0,20
PAR3b - DIR	0,17	0,95	1,12	0,01	-0,06	0,05	-0,05	-0,02	-0,11
PAR3a - DIR	0,12	0,79	0,91	0,03	-0,14	0,15	-0,07	0,01	-0,22
PAR6 - ESQ	0,11	0,76	0,87	0,03	0,03	0,11	-0,16	0,14	-0,13
PAR4b - ESQ	0,18	0,86	1,04	0,00	-0,10	0,05	-0,02	-0,06	-0,12
PAR4b - DIR	0,18	0,86	1,04	0,00	0,10	0,02	-0,04	0,12	0,06
PAR6 - DIR	0,11	0,76	0,87	0,03	-0,03	0,14	-0,10	0,11	-0,13
PAR8a - ESQ	0,11	0,76	0,87	0,00	0,14	0,02	-0,04	0,16	0,10
PAR8b - ESQ	0,14	0,96	1,10	0,00	0,15	0,07	-0,05	0,22	0,10
PAR8C - ESQ	0,18	0,86	1,04	0,05	0,07	0,19	-0,15	0,25	-0,08
PAR8d	0,23	1,08	1,31	0,00	0,00	0,05	-0,05	0,05	-0,05
PAR8C - DIR	0,18	0,86	1,04	0,05	-0,07	0,15	-0,19	0,08	-0,26
PAR8b - DIR	0,14	0,96	1,10	0,01	-0,15	0,05	-0,07	-0,10	-0,22
PAR8a - DIR	0,11	0,76	0,87	0,00	-0,14	0,04	-0,02	-0,10	-0,16

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 18 - Tensões atuantes nas paredes resistentes da direção Y

Parede	$\sigma_{\text{vertical}}$			$\sigma_{\text{horizontal}}$					
	$\sigma_{\text{ac}}$	$\sigma_{\text{p}}$	$\sigma_{\text{tot}}$	$\tau$	$\sigma_{\text{N}}$	$\sigma_{\text{esq}}$	$\sigma_{\text{dir}}$	$\sigma_{\text{Resq}}$	$\sigma_{\text{Rdir}}$
PAR19b - INF	0,12	0,79	0,91	0,04	0,22	0,83	-0,80	1,05	-0,58
PAR19a - INF	0,11	0,76	0,87	0,05	-0,37	0,27	-0,39	-0,10	-0,76
PAR19a - SUP	0,11	0,76	0,87	0,05	0,36	0,38	-0,26	0,74	0,10
PAR19b - SUP	0,12	0,79	0,91	0,02	-0,21	0,57	-0,59	0,36	-0,81
PAR25 - INF	0,17	0,95	1,12	0,05	0,00	0,32	-0,50	0,32	-0,50
PAR23 - INF	0,11	0,76	0,87	0,01	0,00	0,13	-0,10	0,13	-0,10
PAR21 - INF	0,14	0,96	1,1	0,00	0,00	0,14	-0,08	0,14	-0,08
PAR21 - SUP	0,14	0,96	1,1	0,00	0,00	0,08	-0,14	0,08	-0,14
PAR23 - SUP	0,11	0,76	0,87	0,00	0,00	0,10	-0,12	0,10	-0,12
PAR25 - SUP	0,17	0,95	1,12	0,04	0,00	0,48	-0,31	0,48	-0,31
PAR27 - INF	0,18	0,86	1,04	0,02	0,00	0,37	-0,20	0,37	-0,20
PAR27 - SUP	0,18	0,86	1,04	0,02	0,00	0,20	-0,37	0,20	-0,37
PAR29 - INF	0,11	0,86	0,97	0,04	0,00	0,39	-0,38	0,39	-0,38
PAR30 - INF	0,18	0,86	1,04	0,01	0,20	0,09	-0,21	0,28	-0,02
PAR30 - SUP	0,18	0,86	1,04	0,01	-0,20	0,21	-0,09	0,01	-0,28
PAR29 - SUP	0,11	0,86	0,97	0,03	0,00	0,37	-0,39	0,37	-0,39
PAR32 - INF	0,23	1,08	1,31	0,02	0,00	0,40	-0,40	0,40	-0,40
PAR32 - SUP	0,23	1,08	1,31	0,02	0,00	0,40	-0,40	0,40	-0,40

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Determinação do bloco para as paredes na direção X

Parede	$F_{pk}$ Acidental principal (MPa)	$F_{pk}$ Vento principal (MPa)	$F_{pk}$ Adotado (MPa)	Bloco (MPa)	Argamassa (MPa)	Graute (MPa)
PAR1a - ESQ	-6,04	-6,97	-6,97	10	8	20
PAR1b - ESQ	-5,55	-5,38	-5,55	8	6	20
PAR1c - ESQ	-4,78	-4,71	-4,78	8	6	20
PAR1c - DIR	-4,60	-4,41	-4,60	8	6	20
PAR1b - DIR	-5,50	-5,31	-5,50	8	6	20
PAR1a - DIR	-4,92	-5,10	-5,10	8	6	20
PAR3a - ESQ	-4,33	-4,12	-4,33	6	6	15
PAR3b - ESQ	-5,21	-4,81	-5,21	8	6	20
PAR3c - ESQ	-4,70	-4,58	-4,70	8	6	20
PAR3d	-6,20	-5,75	-6,20	10	8	20
PAR3c - DIR	-4,82	-4,78	-4,82	8	6	20
PAR3b - DIR	-5,38	-5,11	-5,38	8	6	20
PAR3a - DIR	-4,58	-4,53	-4,58	8	6	20
PAR6 - ESQ	-4,24	-4,12	-4,24	6	6	15
PAR4b - ESQ	-5,03	-4,74	-5,03	8	6	20
PAR4b - DIR	-4,74	-4,26	-4,74	8	6	20
PAR6 - DIR	-4,25	-4,14	-4,25	6	6	15
PAR8a - ESQ	-3,88	-3,52	-3,88	6	6	15
PAR8b - ESQ	-4,95	-4,52	-4,95	8	6	20
PAR8C - ESQ	-4,96	-4,63	-4,96	8	6	20
PAR8d	-6,17	-5,70	-6,17	10	8	20
PAR8C - DIR	-5,24	-5,10	-5,24	8	6	20
PAR8b - DIR	-5,46	-5,38	-5,46	8	6	20
PAR8a - DIR	-4,29	-4,20	-4,29	6	6	15

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Determinação do bloco para as paredes na direção Y

Parede	F <sub>pk</sub> Acidental principal (MPa)	F <sub>pk</sub> Vento principal (MPa)	F <sub>pk</sub> Adotado (MPa)	Bloco (MPa)	Argamassa (MPa)	Graute (MPa)
PAR19b - INF	-5,16	-5,50	-5,16	8	6	20
PAR19a - INF	-5,25	-5,80	-5,25	8	6	20
PAR19a - SUP	-3,88	-3,52	-3,52	6	6	15
PAR19b - SUP	-5,52	-6,10	-5,52	8	6	20
PAR25 - INF	-6,00	-6,14	-6,00	10	8	20
PAR23 - INF	-4,21	-4,06	-4,06	6	6	15
PAR21 - INF	-5,24	-4,99	-4,99	8	6	20
PAR21 - SUP	-5,33	-5,15	-5,15	8	6	20
PAR23 - SUP	-4,23	-4,10	-4,10	6	6	15
PAR25 - SUP	-5,70	-5,63	-5,63	8	6	20
PAR27 - INF	-5,15	-4,94	-4,94	8	6	20
PAR27 - SUP	-5,42	-5,39	-5,39	8	6	20
PAR29 - INF	-5,12	-5,27	-5,12	8	6	20
PAR30 - INF	-4,86	-4,46	-4,46	6	6	15
PAR30 - SUP	-5,28	-5,17	-5,17	8	6	20
PAR29 - SUP	-5,12	-5,28	-5,12	8	6	20
PAR32 - INF	-6,72	-6,61	-6,61	10	8	20
PAR32 - SUP	-6,72	-6,61	-6,61	10	8	20

Fonte: elaborado pelo autor.

O maior valor de F<sub>pk</sub> obtido nas Tabela 19 e 20 foi de 6,97 MPa, segundo a Tabela F.1 da NBR 16.868:2020, deve-se adotar no primeiro pavimento o F<sub>pk</sub>=7 MPa, bloco de concreto vazado 10 MPa, argamassa de 8 MPa e grout de 20 MPa.

### 5.8.1 Verificação do cisalhamento e da tração atuante no primeiro pavimento

Para verificação da tração foi seguido o item 6.2.2.5 da NBR 16.868 (2020). Para tração máxima atuante na alvenaria (f<sub>t</sub>) foi considerado apenas a carga vertical permanente majorada de 0,90 por ser favorável à redução da tração. A tensão resistente à tração da parede (f<sub>tk</sub>) é determinado pela resistência média a compressão da argamassa, Tabela 3 da NBR 16868:2020, considerando que a argamassa adotada foi a de 8 MPa o valor de f<sub>tk</sub> = 0,25 MPa.

$$\gamma_{fg} \cdot G + \gamma_{fq} \cdot Q_{vento} \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_m}$$

Para verificação do cisalhamento nas juntas horizontais das paredes do primeiro pavimento foi seguido o item 6.2.2.6 da NBR 16.868 (2020), onde a Tabela 4 desta norma determina os valores característicos da resistência ao cisalhamento da parede ( $f_{vk}$ ). Considerando que a argamassa adotada foi a de 8 MPa, tem-se:

$$f_{vk} = 0,35 + 0,5 \cdot \sigma \leq 1,7$$

Para a tensão normal de compressão na junta ( $\sigma$ ) foi considerado apenas as ações permanentes ponderadas por um coeficiente igual a 0,9 por ser uma ação favorável ao cisalhamento.

Tabela 21 - Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção X

Parede	$\sigma_{vertical}$	$\sigma_{horizontal}$			VERIFICAÇÃO A TRAÇÃO NA FLEXÃO				Cisalhamento		
	$\sigma_p$	$\tau$	$\sigma_{Resq}$	$\sigma_{Rdir}$	$f_{t\ esq}$	$f_{t\ Dir}$	$f_{tk}$	Verif.	$f_v$	$f_{vk}$	Verif.
PAR1a - ESQ	0,79	0,10	0,62	-1,13	0,16	-2,30	0,125	Armar	0,13	0,35	ok
PAR1b - ESQ	0,95	0,03	0,23	-0,21	-0,53	-1,16	0,125	ok	0,05	0,39	ok
PAR1c - ESQ	0,86	0,02	0,06	-0,17	-0,69	-1,01	0,125	ok	0,03	0,37	ok
PAR1c - DIR	0,86	0,02	0,16	-0,06	-0,54	-0,86	0,125	ok	0,03	0,37	ok
PAR1b - DIR	0,95	0,03	0,17	-0,19	-0,62	-1,12	0,125	ok	0,04	0,39	ok
PAR1a - DIR	0,79	0,05	0,69	-0,43	0,26	-1,31	0,125	Armar	0,08	0,35	ok
PAR3a - ESQ	0,79	0,04	0,26	-0,06	-0,35	-0,80	0,125	ok	0,06	0,35	ok
PAR3b - ESQ	0,95	0,00	0,12	0,00	-0,69	-0,86	0,125	ok	0,01	0,39	ok
PAR3c - ESQ	0,86	0,05	0,22	-0,12	-0,46	-0,95	0,125	ok	0,07	0,37	ok
PAR3d	1,08	0,00	0,07	-0,07	-0,88	-1,08	0,125	ok	0,01	0,42	ok
PAR3c - DIR	0,86	0,04	0,10	-0,20	-0,63	-1,05	0,125	ok	0,06	0,37	ok
PAR3b - DIR	0,95	0,01	-0,02	-0,11	-0,88	-1,01	0,125	ok	0,02	0,39	ok
PAR3a - DIR	0,79	0,03	0,01	-0,22	-0,70	-1,02	0,125	ok	0,04	0,35	ok
PAR6 - ESQ	0,76	0,03	0,14	-0,13	-0,48	-0,86	0,125	ok	0,04	0,35	ok
PAR4b - ESQ	0,86	0,00	-0,06	-0,12	-0,86	-0,95	0,125	ok	0,00	0,37	ok
PAR4b - DIR	0,86	0,00	0,12	0,06	-0,61	-0,69	0,125	ok	0,00	0,37	ok
PAR6 - DIR	0,76	0,03	0,11	-0,13	-0,53	-0,87	0,125	ok	0,04	0,35	ok
PAR8a - ESQ	0,76	0,00	0,16	0,10	-0,46	-0,55	0,125	ok	0,00	0,35	ok
PAR8b - ESQ	0,96	0,00	0,22	0,10	-0,55	-0,72	0,125	ok	0,01	0,39	ok
PAR8C - ESQ	0,86	0,05	0,25	-0,08	-0,42	-0,89	0,125	ok	0,07	0,37	ok
PAR8d	1,08	0,00	0,05	-0,05	-0,90	-1,05	0,125	ok	0,00	0,42	ok
PAR8C - DIR	0,86	0,05	0,08	-0,26	-0,66	-1,13	0,125	ok	0,07	0,37	ok
PAR8b - DIR	0,96	0,01	-0,10	-0,22	-1,00	-1,17	0,125	ok	0,01	0,39	ok
PAR8a - DIR	0,76	0,00	-0,10	-0,16	-0,82	-0,90	0,125	ok	0,00	0,35	ok

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 22 - Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção Y

Parede	$\sigma_{vertical}$	$\sigma_{horizontal}$			VERIFICAÇÃO A TRAÇÃO NA FLEXÃO				Cisalhamento		
	$\sigma_p$	$\tau$	$\sigma_{Resq}$	$\sigma_{Rdir}$	$f_{v\ esq}$	$f_{v\ Dir}$	$f_{vk}$	Verif.	$f_v$	$f_{vk}$	Verif.
PAR19b - INF	0,79	0,04	1,05	-0,58	0,76	-1,53	0,125	Armar	0,05	0,35	ok
PAR19a - INF	0,76	0,05	-0,10	-0,76	-0,82	-1,74	0,125	ok	0,07	0,35	ok
PAR19a - SUP	0,76	0,05	0,74	0,10	0,35	-0,55	0,125	Armar	0,06	0,35	ok
PAR19b - SUP	0,79	0,02	0,36	-0,81	-0,21	-1,84	0,125	ok	0,03	0,35	ok
PAR25 - INF	0,95	0,05	0,32	-0,50	-0,40	-1,55	0,125	ok	0,07	0,39	ok
PAR23 - INF	0,76	0,01	0,13	-0,10	-0,51	-0,83	0,125	ok	0,01	0,35	ok
PAR21 - INF	0,96	0,00	0,14	-0,08	-0,67	-0,97	0,125	ok	0,00	0,39	ok
PAR21 - SUP	0,96	0,00	0,08	-0,14	-0,76	-1,06	0,125	ok	0,00	0,39	ok
PAR23 - SUP	0,76	0,00	0,10	-0,12	-0,55	-0,85	0,125	ok	0,01	0,35	ok
PAR25 - SUP	0,95	0,04	0,48	-0,31	-0,19	-1,29	0,125	ok	0,05	0,39	ok
PAR27 - INF	0,86	0,02	0,37	-0,20	-0,26	-1,05	0,125	ok	0,03	0,37	ok
PAR27 - SUP	0,86	0,02	0,20	-0,37	-0,50	-1,29	0,125	ok	0,03	0,37	ok
PAR29 - INF	0,86	0,04	0,39	-0,38	-0,22	-1,31	0,125	ok	0,05	0,37	ok
PAR30 - INF	0,86	0,01	0,28	-0,02	-0,38	-0,80	0,125	ok	0,02	0,37	ok
PAR30 - SUP	0,86	0,01	0,01	-0,28	-0,76	-1,17	0,125	ok	0,02	0,37	ok
PAR29 - SUP	0,86	0,03	0,37	-0,39	-0,25	-1,31	0,125	ok	0,05	0,37	ok
PAR32 - INF	1,08	0,02	0,40	-0,40	-0,42	-1,53	0,125	ok	0,03	0,42	ok
PAR32 - SUP	1,08	0,02	0,40	-0,40	-0,42	-1,53	0,125	ok	0,03	0,42	ok

Fonte: elaborado pelo autor.

Após analisar os resultados apresentados nas Tabelas 21 e 22, pode-se concluir que não será necessário a utilização de armação para o cisalhamento, mas será necessária uma armação de tração nas paredes PAR19a, PAR19b e PAR1a.

### 5.8.2 Armadura de tração necessária nas paredes do 1º pavimento

Nas paredes indicadas no item 5.8.1, onde é necessário armação de tração, essas serão calculado no estágio II. A força de tração ( $f_{tesq/dir}$ ) será calculada conforme equação abaixo.

$$F_{tesq/dir} = \gamma_{fg} \cdot G + \gamma_{fq} \cdot Q_{vento}$$

Para determinação da armadura de tração é necessário determinar o comprimento tracionado da alvenaria ( $X_t$ ) que é determinado por:

$$X_t = \frac{l \cdot f_{tesq}}{f_{tesq} - f_{tdir}}$$

Onde:

$l$  – é o comprimento do trecho da parede;

$f_{tesq}$  – força de tração pela esquerda;

$f_{tdir}$  – força de tração pela direita;

Após definir o comprimento tracionado, deve-se determinar a força de tração ( $f_t$ ) atuante no lado tracionado, somando os esforços de tração da alma ( $f_{t,alma}$ ) e na aba ( $f_{t,aba}$ ) da parede.

$$f_t = f_{t,alma} + f_{t,aba}$$

Por último, a determinação da armadura de tração necessária ( $A_s$ ) pode ser realizada dividindo o esforço de tração aplicado ( $f_t$ ) pela resistência do aço CA-50 ( $f_{yd}$ ). Caso o valor de  $A_s$  calculado seja superior à armadura mínima ( $A_{s,min}$ ), utiliza-se  $A_s$ ; caso contrário, considera-se  $A_{s,min}$ .

$$A_s = \frac{f_t}{f_{yd}}$$

$$A_{s,min} = 0,10\% \cdot A_{alma}$$

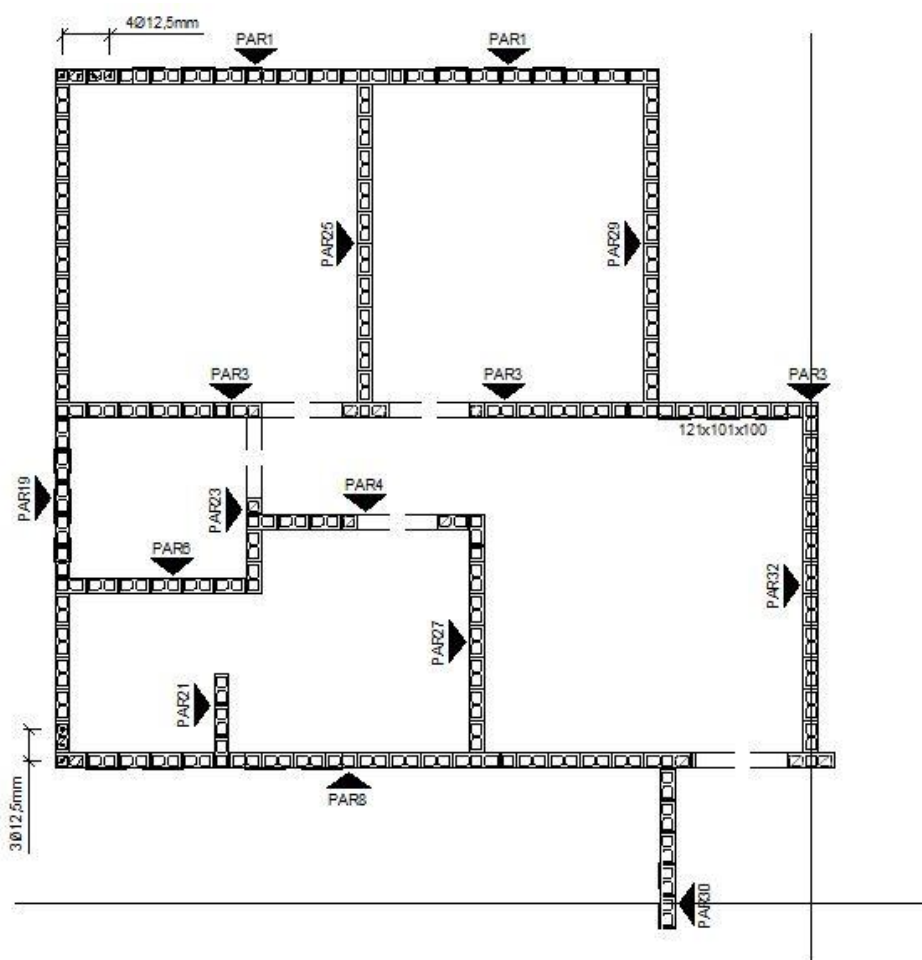
Os resultados da rotina de cálculo descrita acima estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Cálculo da armação de tração.

Parede	l (m)	$f_{t\text{ esq}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$f_{t\text{ Dir}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$X_t$ (m)	$f_{t,\text{alma}}$ (kN)	$f_{t,\text{aba}}$ (kN)	$f_t$ (kN)	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,\text{min}}$ (cm <sup>2</sup> )	Barras adotadas
PAR1a - ESQ	0,74	16,29	-229,90	0,049	0,00	1,12	1,12	0,0257	1,0360	1 $\varnothing$ 12,5mm
PAR1a - DIR	0,74	25,68	-131,34	0,121	0,22	0,00	0,22	0,0050	1,0360	1 $\varnothing$ 12,5mm
PAR19b - INF	3,59	75,53	-152,69	1,188	6,28	7,36	13,65	0,3138	5,0260	4 $\varnothing$ 12,5mm
PAR19a - SUP	1,94	35,17	-54,58	0,760	1,87	1,30	3,17	0,0729	2,7160	3 $\varnothing$ 12,5mm

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 17 - Pontos de reforço da alvenaria com armação de tração.



Fonte: elaborado pelo autor.

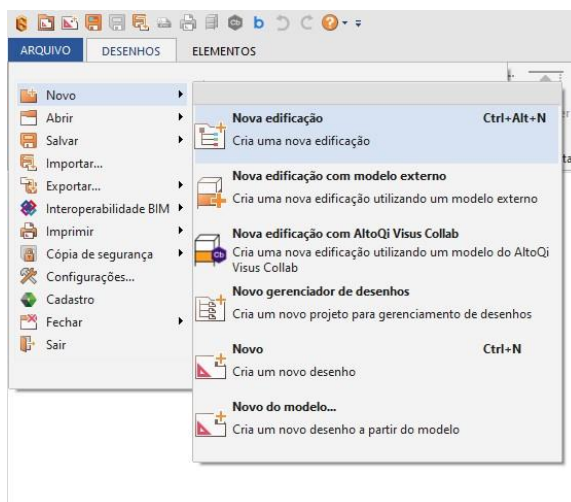
## 6 MODELO 2: DIMENSIONAMENTO COMA UTILIZAÇÃO DO QIALVENARIA

### 6.1 Criação do edifício no software QiBuilder

Para o dimensionamento e detalhamento do edifício em alvenaria estrutural no QiAlvenaria é necessário seguir os procedimentos descritos abaixo:

- Criar uma nova edificação no menu principal do Qibuilder (Figura 18);
- Entrada do nome do projeto, seleção do modulo Alvenaria.QIT e local de armazenamento (Figura 19);
- Entrado de dados gerais da edificação (Figura 20);
- Seleção da classe do bloco, composição do prisma e blocos ativos (Figura 21);
- Entrada dos dados de altura e pavimentos (Figura 22);
- Seleção do modelo de organização dos arquivos do projeto (Figura 23).

Figura 18 - Criando uma nova edificação no Qibuilder



Fonte: QiBuilder.

Figura 19 - Seleção do modulo alvenaria

Nova edificação (passo 1 de 6)

Identificação

Nome: TCC - Ricardo Dias Campos Filho

Criar em: D:\

Modelo

Modelo: Alvenaria.QIT

<< Voltar   Avançar >>   Cancelar   Ajuda

Fonte: Qibuilder.

Figura 20 - Entrada dos dados gerais da edificação

Nova edificação (passo 3 de 6)

Propriedades da edificação

Identificação   Desenho

Obra

Tipo	PROJETO ALVENARIA ESTRUTURAL
Título	RESIDENCIAL
Endereço	Florianópolis/SC
Cliente	AltoQi Tecnologia aplicada à engenharia
ID	AF023B11-8DC3-4280-8FDF-E28737747383

Autor

Autor	Autor do projeto
CREA	CREA\CAU

Arquivo

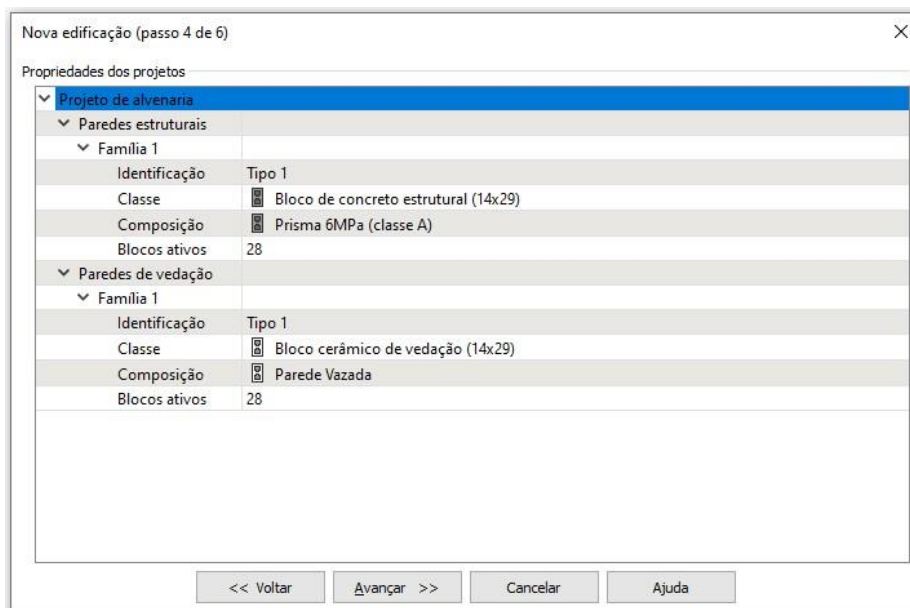
Nome	TCC - Ricardo Dias Campos Filho
Caminho	D:\TCC - Ricardo Dias Campos Filho_DADOS_Project.db

Personalizados

<< Voltar   Avançar >>   Cancelar   Ajuda

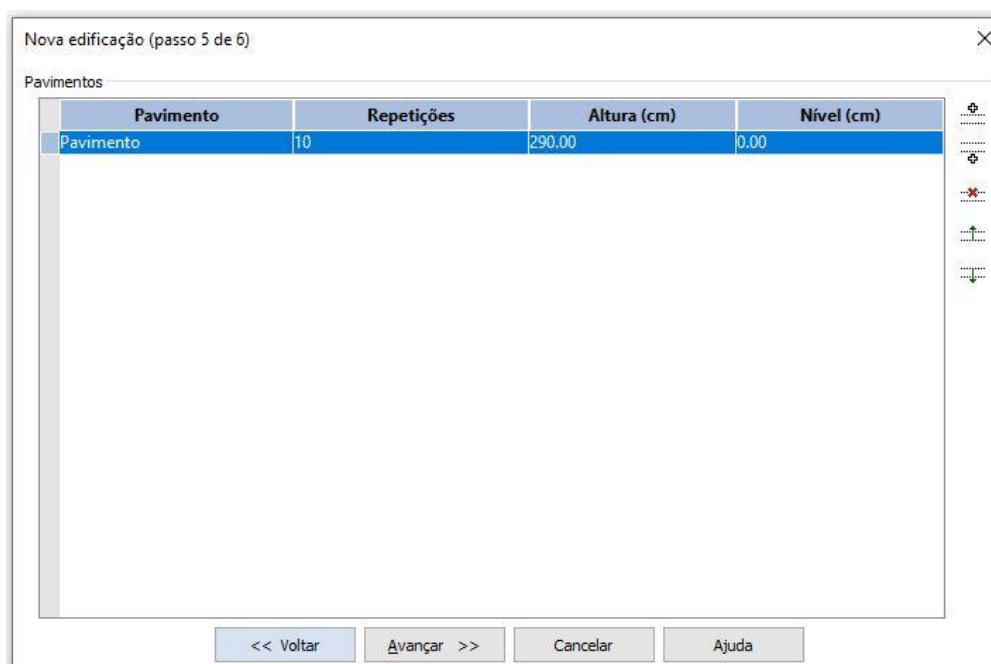
Fonte: Qibuilder.

Figura 21 - Seleção dos blocos



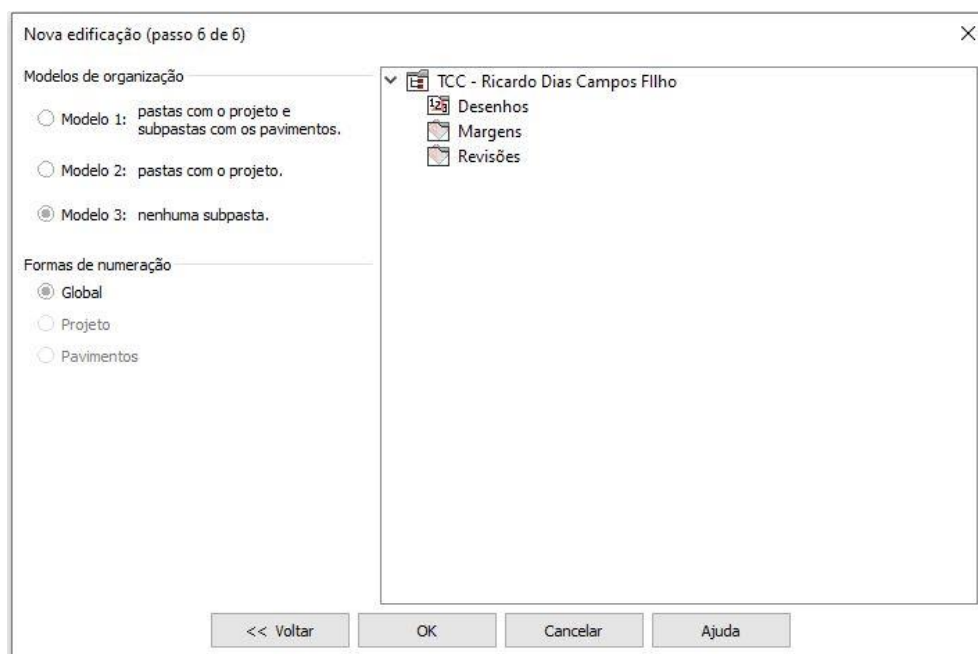
Fonte: Qibuilder.

Figura 22 - Entrada dos dados de identificação e altura dos pavimentos



Fonte: Qibuilder

Figura 23 - Seleção do modelo de organização dos arquivos do projeto

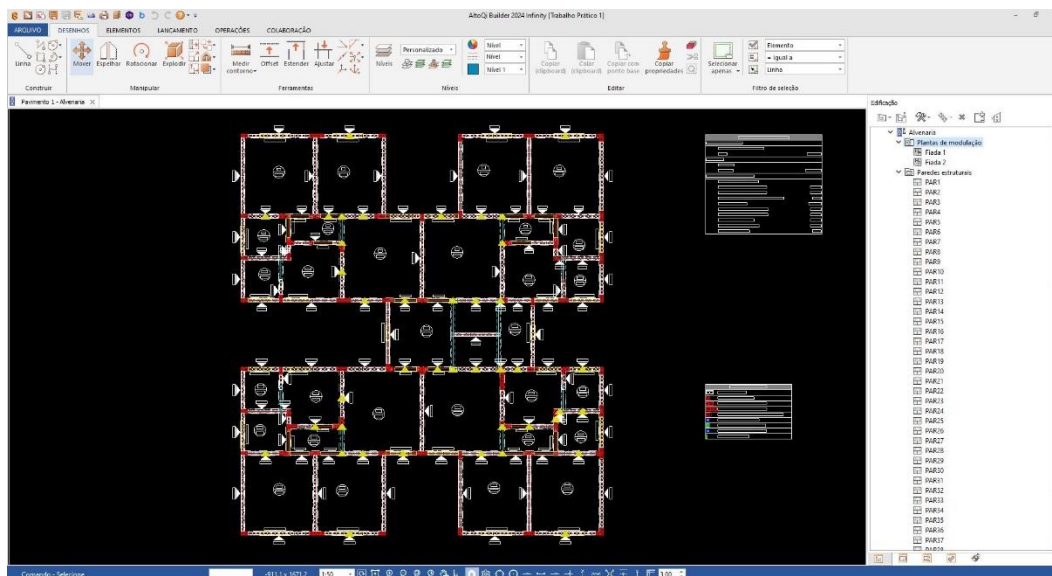


Fonte: Qibuilder.

## 6.2 Entrada gráfica do edifício

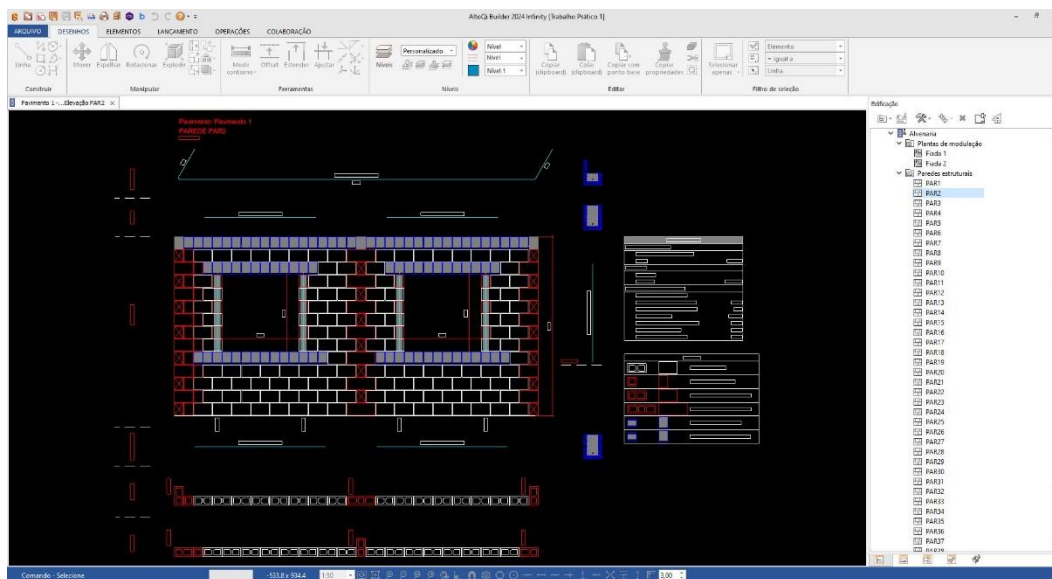
Após a criação da edificação, é realizado o lançamento das alvenarias, lajes, portas, janelas e vigas. Nessa tela é possível ver a modulação das fiadas 1 e 2 (Figura 24), além do detalhamento de cada parede (Figura 25). Nessa tela também é possível fazer um processamento da estrutura para verifica: aberturas em posições inválidas, paredes não ortogonais, cruzamento de paredes com mais de quatro trechos, parede dividida no vão, continuidade com pavimento inferior, parede com erro de dimensionamento, blocos sobrepostos, amarração indireta da parede, espessura da junta vertical em desacordo com a norma, verificação de junta a prumo, verificação da condição de apoio da viga, viga em posições inválidas, coxim em posição inválida e armadura inadequada à parede.

Figura 24 - Entrada grafica Qibuilder



Fonte: Qibuilder.

Figura 25 - Detalhamento das paredes

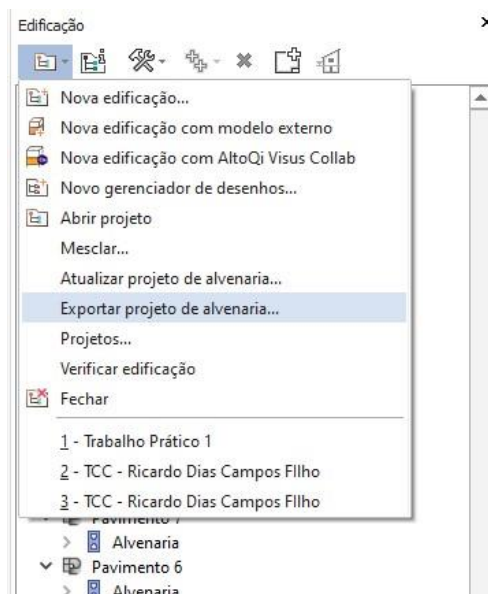


Fonte: Qibuilder.

### 6.3 Processamento global da estrutura

Para o dimensionamento da estrutura é necessário exportar o projeto de alvenaria para o software Eberick (Figura 26).

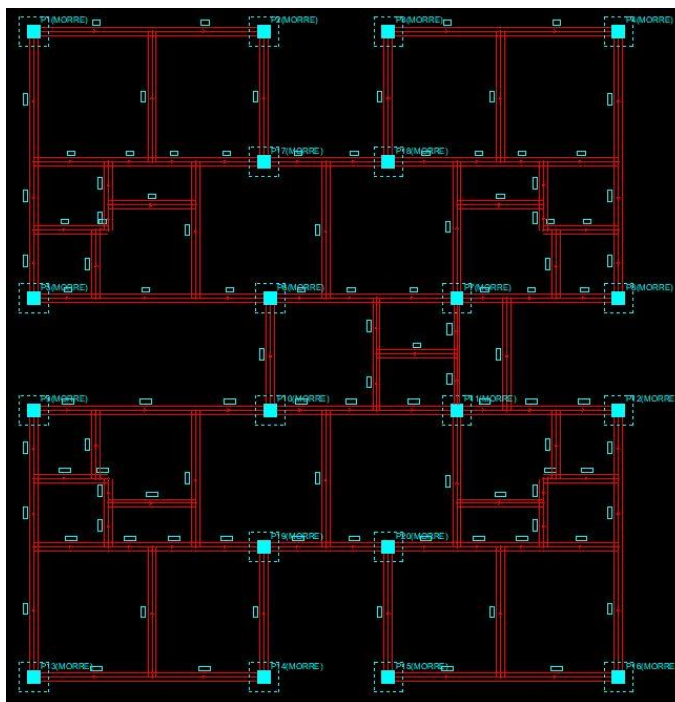
Figura 26 - Exportando projeto de alvenaria para o Eberick



Fonte: Qibuilder.

Após a importação do projeto de alvenaria no Eberick é necessário lançar um pavimento de transição. Onde o software faz um pré-lançamento de vigas abaixo das alvenarias e também é possível lançar as fundações (Figura 27).

Figura 27 - Pavimento de transição Eberick



Fonte: Eberick.

Em seguida recomenda-se que seja definido as propriedades para cálculo do vento (Figura 28).

Figura 28 - Dados para o cálculo do vento

The image shows a dialog box titled "Vento" (Wind) with the following fields and controls:

- Velocidade básica**: "Velocidade" input field with the value "31" and unit "m/s", and a "Mapa..." button.
- Aplicação do vento**: "Ângulo" input field with the value "0" and unit "°", and "Casos" input field with the value "4". Below these is a "Forças médias..." button and a small diagram showing a coordinate system with a vertical arrow labeled  $F_t$  and a horizontal arrow labeled  $F$ .
- Edificação**: "Fator S1 (topográfico)" input field with the value "1.00", "Rugosidade do terreno" dropdown menu with "Categoria III" selected, "Maior dimensão horizontal ou vertical" dropdown menu with "Entre 20 e 50 m" selected, "Fator S3 (estatístico)" input field with the value "1.00", and "Fator de vizinhança" input field with the value "1.00".

At the bottom of the dialog box are three buttons: "OK", "Cancelar", and "Ajuda".

Fonte: Eberick.

É possível consultar as forças médias calculadas pelo programa nas direções +X, -X, +Y e -Y.

Figura 29 - Forças devido ao vento

Forças devidas ao vento

Opções de cálculo:

Calcular automaticamente  Valores definidos pelo usuário

Usar fachadas do croqui  Importar em eixos locais

Obter coeficiente de arrasto com os dados da estrutura  Importar em eixos globais

Turbulência:

Adotar valor único para toda a estrutura

Arbitrar altura total acima do solo:  cm

Importar forças de vento... Definir ponto de referência

Coordenada X:  cm

Coordenada Y:  cm

Forças

	Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv. (cm)	Nível (cm)	S2	Coef. Arrasto	Força (tf)	Força transv. (tf)	Torção (kgf.m)
1	Pavimento 10	1560.00	1410.00	2900.00	1.03	1.27	1.82	0.00	0.00
2	Pavimento 9	1560.00	1410.00	2610.00	1.02	1.27	3.57	0.00	0.00
3	Pavimento 8	1560.00	1410.00	2320.00	1.01	1.27	3.49	0.00	0.00
4	Pavimento 7	1560.00	1410.00	2030.00	0.99	1.27	3.39	0.00	0.00
5	Pavimento 6	1560.00	1410.00	1740.00	0.98	1.27	3.28	0.00	0.00
6	Pavimento 5	1560.00	1410.00	1450.00	0.96	1.27	3.16	0.00	0.00
7	Pavimento 4	1560.00	1410.00	1160.00	0.93	1.27	3.01	0.00	0.00
8	Pavimento 3	1560.00	1410.00	870.00	0.91	1.27	2.83	0.00	0.00
9	Pavimento 2	1560.00	1410.00	580.00	0.87	1.27	2.59	0.00	0.00
10	Pavimento 1	1560.00	1410.00	290.00	0.80	1.27	2.19	0.00	0.00
11	Transição	1560.00	1410.00	0.00	0.38	1.27	0.24	0.00	0.00
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Eberick.

Também é possível configurar e consultar as ações e seus respectivos coeficientes de segurança ou redução (Figura 30). Assim como as combinações a serem consideradas (Figura 31).

Figura 30 - Ações do projeto e os respectivos coeficientes

Ações

Ações Combinações

Tipo

- Permanente
  - Peso próprio**
  - Adicional
  - Solo
  - Protensão
  - Retração
- Acidental
  - Acidental
  - Água
  - Subpressão
- Temperatura
  - Temperatura 1
  - Temperatura 2
- Vento
  - Vento X+
  - Vento X-
  - Vento Y+
  - Vento Y-
- Desaprumo
  - Desaprumo X+
  - Desaprumo X-
  - Desaprumo Y+
  - Desaprumo Y-

Ação

Nome:

Indicação:

Considerar para as lajes

Variabilidade

Permanente

Acidental direta

Acidental indireta

Excepcional

Coef. de ponderação

Combinações	Concreto	Aço	Alvenaria
Normais (desfavorável)	<input type="text" value="1.30"/>	<input type="text" value="1.40"/>	<input type="text" value="1.40"/>
Normais (favorável)	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.90"/>
Excepcionais (desfavorável)	<input type="text" value="1.20"/>	<input type="text" value="1.20"/>	<input type="text" value="1.20"/>
Excepcionais (favorável)	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>
Fundações	<input type="text" value="1.00"/>		
Construção	<input type="text" value="1.30"/>		
Incêndio	<input type="text" value="1.20"/>		

Fatores de combinação

$\psi_0 =$

$\psi_1 =$

$\psi_2 =$

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Eberick.

Figura 31 - Configuração das combinações do projeto

Ações

Ações Combinações

Ações a considerar:

	Ativo	Ações	Variabilidade	Efeito favorável	Acidental isolada
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Retração (R)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Acidental (Q)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Água (A)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Subpressão (AS)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura 1 (T1)	Acidental indireta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura 2 (T2)	Acidental indireta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	<input checked="" type="checkbox"/>	Vento X+ (V1)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Vento X- (V2)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	<input checked="" type="checkbox"/>	Vento Y+ (V3)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Critérios de geração

Gerar combinações automaticamente

Gerar combinações considerando sempre todas as ações permanentes

Gerar combinações ELU sem protensão

Gerar combinações excepcionais

Combinar permanentes com efeito favorável

Combinar entre acidentais

Combinar o desaprumo como permanente somente nas direções principais

Considerar desaprumo nas combinações de ELS

Considerar redução de  $\psi_2$  para incêndio

Definir combinações...

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Eberick.

Na entrada gráfica do Eberick também deve ser lançado as cargas acidentais nas lajes e o tipo de laje a ser considerado.

Figura 32 - Propriedades e carregamentos lajes

Laje (ID=324)

Nome: L1 Tipo: Maciça Grelha...

Ambiente: Externo

Cargas

Grupo: Nenhum

Acidental: 150 kgf/m<sup>2</sup> Revestimento: 100 kgf/m<sup>2</sup>

Extra: 0 kgf/m<sup>2</sup> Editar... Remover

Temperatura e retração: 0 °C Editar... Remover

Vigota protendida

Tipo: Vigota protendida com bloco cerâmico

Arranjo: Simples Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão

Seção

Espessura: 10 cm Elevação: 0 cm

ec: 4 cm

ee: 6 cm

enx: 8 cm

eny: 8 cm

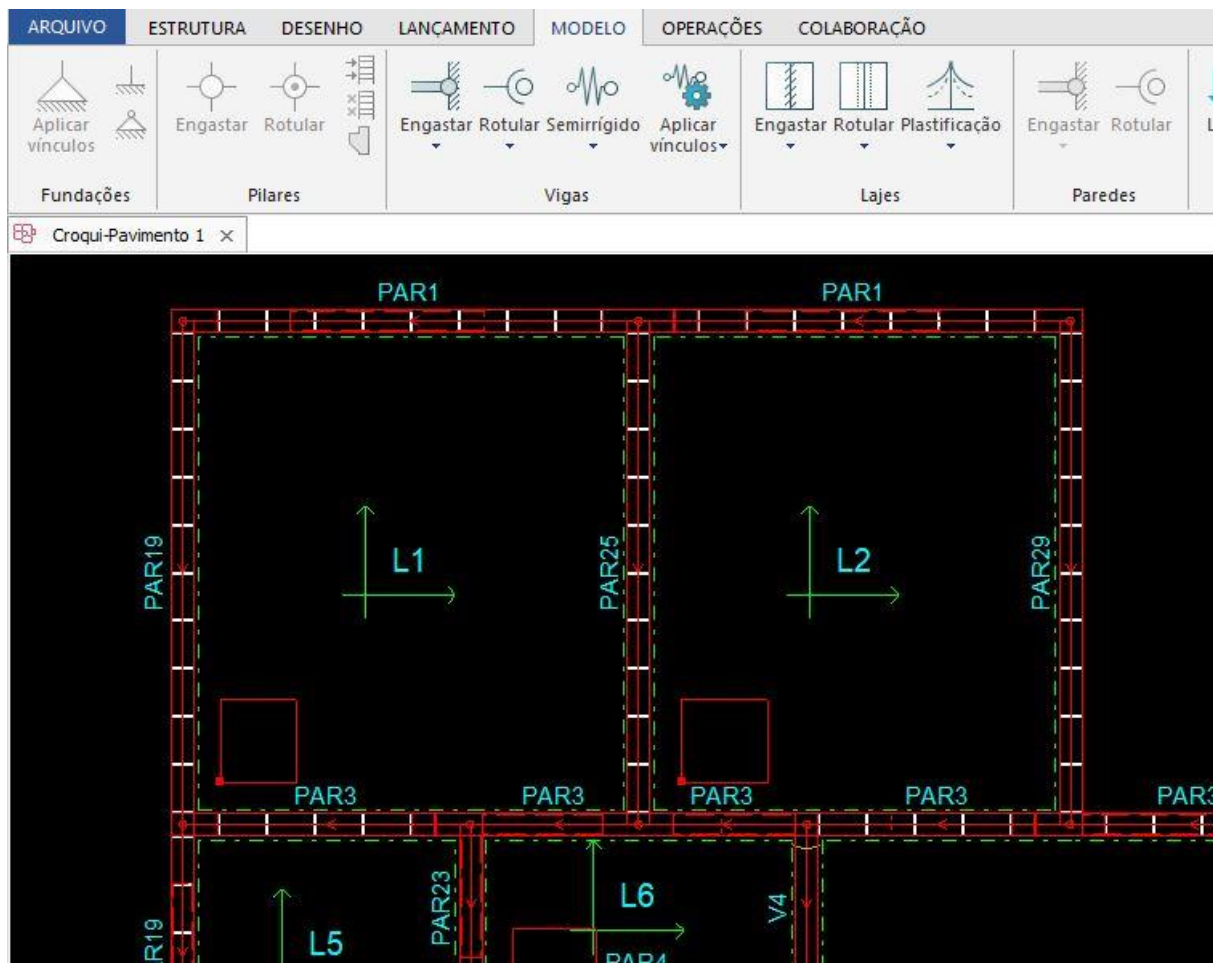
espessura

OK Cancelar Desenho... Ajuda

Fonte: Eberick.

Ainda na entrada gráfica do Eberick se deve configurar os tipos de apoios das lajes nas alvenarias, apoiadas ou engastadas. Também é possível aplicar cargas concentradas, cargas por áreas ou distribuídas sobre as alvenarias (Figura 33).

Figura 33 - Configurações do modelo Eberick



Fonte: Eberick.

Após concluir o lançamento das informações na entrada gráfica do Eberick de todos os pavimentos, deve-se executar o processamento global da estrutura. O processamento da estrutura considerou trinta e duas combinações de cálculo para as onze ações consideradas.

Figura 34 - Aba do processamento global

Análise da estrutura

Estado-limite último (ELU)

Análise estática linear

Verificação das etapas construtivas

Dimensionamento dos elementos

Dimensionar apenas elementos selecionados ...

Verificar limites de redistribuição em nós semirrígidos

Estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF)

Determinação dos deslocamentos do pórtico

Adotar rigidez configurada

Calcular rigidez fissurada

Determinação dos deslocamentos das lajes

Adotar rigidez configurada

Calcular rigidez fissurada

Verificar apenas pavimentos selecionados ...

Estado-limite de vibrações excessivas (ELS-VE)

Análise dinâmica do pórtico

Análise dinâmica das lajes

Verificar apenas pavimentos selecionados ...

OK Cancelar Configurar... Ajuda

Fonte: Eberick.

Tabela 24 - Carregamentos considerados no processamento global

Número	Indicador	Ações
1	G1	Peso Próprio
2	G2	Adicional
3	Q	Acidental
4	V1	Vento X+
5	V2	Vento X-
6	V3	Vento Y+
7	V4	Vento Y-
8	D1	Desaprumo
9	D2	Desaprumo
10	D3	Desaprumo
11	D4	Desaprumo

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 25 - Combinações de carregamento consideradas no Eberick

Número	Combinação
1	$0.9G1+G2+0.98Q+0.84V1+1.4D1$
2	$0.9G1+G2+0.98Q+0.84V2+1.4D2$
3	$0.9G1+G2+0.98Q+0.84V3+1.4D3$
4	$0.9G1+G2+0.98Q+0.84V4+1.4D4$
5	$0.9G1+G2+0.98Q+1.4V1+0.84D1$
6	$0.9G1+G2+0.98Q+1.4V2+0.84D2$
7	$0.9G1+G2+0.98Q+1.4V3+0.84D3$
8	$0.9G1+G2+0.98Q+1.4V4+0.84D4$
9	$0.9G1+G2+1.4D1$
10	$0.9G1+G2+1.4D2$
11	$0.9G1+G2+1.4D3$
12	$0.9G1+G2+1.4D4$
13	$0.9G1+G2+1.4Q+0.84V1+0.84D1$
14	$0.9G1+G2+1.4Q+0.84V2+0.84D2$
15	$0.9G1+G2+1.4Q+0.84V3+0.84D3$
16	$0.9G1+G2+1.4Q+0.84V4+0.84D4$
17	$0.9G1+G2+1.4Q+1.4D1$
18	$0.9G1+G2+1.4Q+1.4D2$
19	$0.9G1+G2+1.4Q+1.4D3$
20	$0.9G1+G2+1.4Q+1.4D4$
21	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+0.84V1+1.4D1$
22	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+0.84V2+1.4D2$
23	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+0.84V3+1.4D3$
24	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+0.84V4+1.4D4$
25	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V1+0.84D1$
26	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V2+0.84D2$
27	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V3+0.84D3$
28	$1.4G1+1.4G2+0.98Q+1.4V4+0.84D4$
29	$1.4G1+1.4G2+1.4D1$
30	$1.4G1+1.4G2+1.4D2$
31	$1.4G1+1.4G2+1.4D3$
32	$1.4G1+1.4G2+1.4D4$

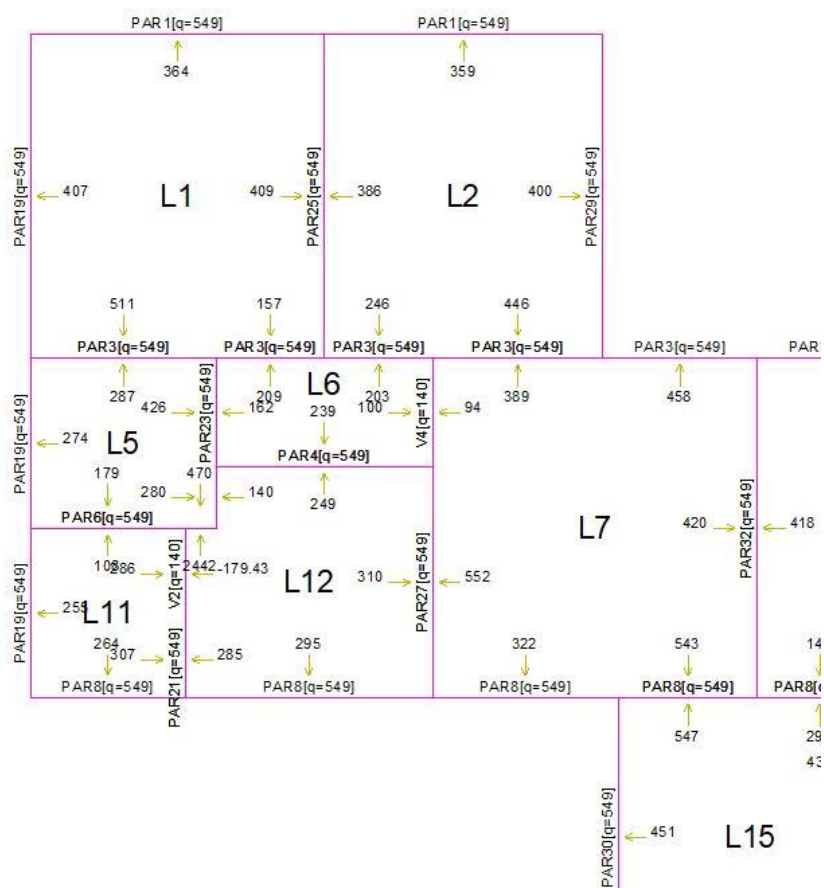
Fonte: elaborado pelo autor.

## 6.4 Resultados do processamento global da estrutura

### 6.4.1 Reações das lajes nas paredes estruturais

Depois que a estrutura é lançada e processada globalmente, é possível observar o arquivo que apresenta separadamente as reações calculadas das lajes sobre as paredes (Figura 43).

Tabela 26 - Reações nas lajes eberick

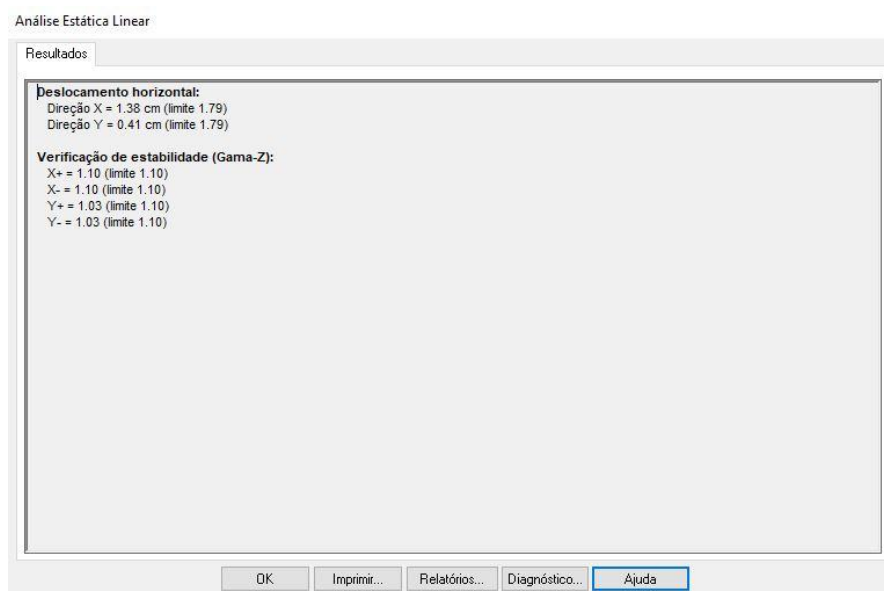


Fonte: eberick.

### 6.4.2 Estabilidade global da estrutura

Após o processamento global da estrutura, é emitido um relatório de estabilidade global contendo os valores dos parâmetros alfa e gama z. No caso do modelo 2, o *software* indicou um valor de deslocamento horizontal em X de 1,38 cm e em Y de 0,41 cm, e de gama z igual a 1,10 na direção X e 1,03 na direção Y. Considerando que os limites mínimos para o deslocamento horizontal de 1,79 cm e do gama z são de 1,1, a estrutura foi classificada como indeslocável.

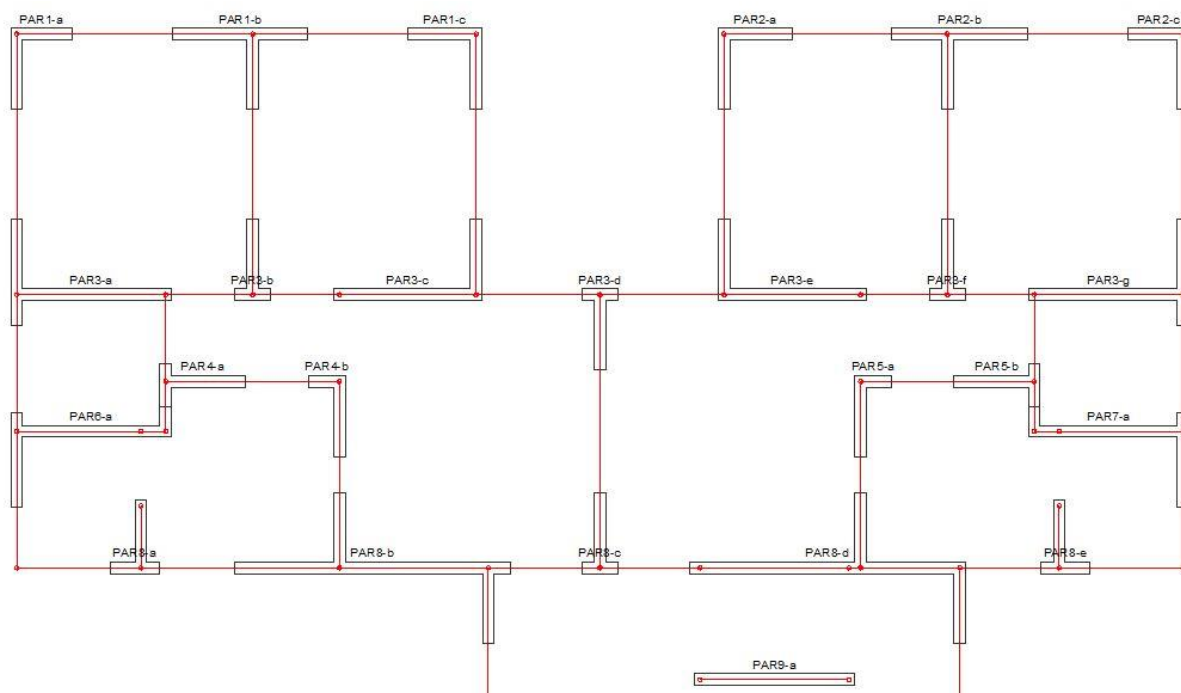
Figura 35 - Análise estática linear do Eberick



Fonte: Eberick.

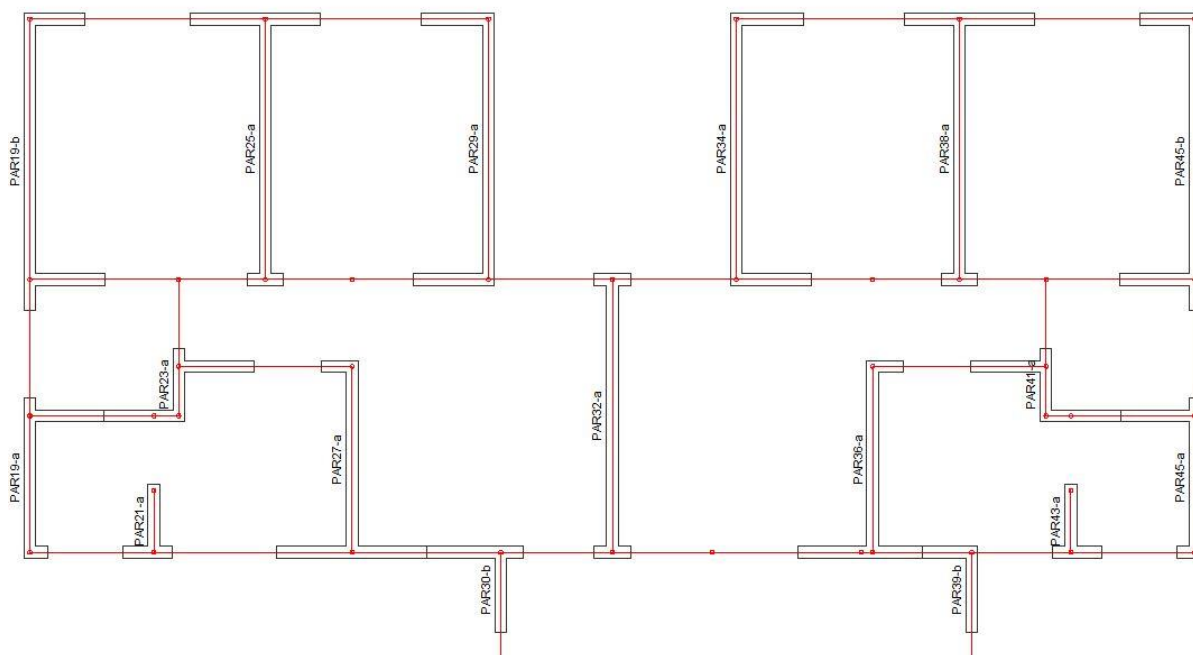
Também é possível verificar as paredes de contraventamento nas direções X e Y. O software delimita as paredes entre as aberturas e calcula o comprimento do flange conforme o item 10.1.3 da ABNT NBR 16868:2020.

Figura 36 - Paredes de contraventamento da direção X



Fonte: Eberick.

Figura 37 - Paredes de contraventamento da direção Y



Fonte: Eberick.

### 6.4.3 Definição do bloco adotado no 1º pavimento

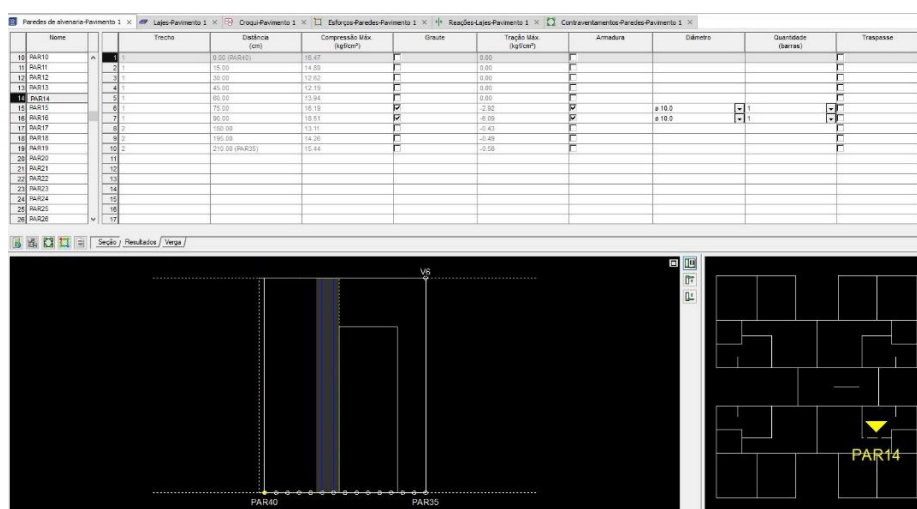
Após análise dos resultados obtidos no processamento global da estrutura, o *software* indica que o prisma com resistência de 7 MPa atende aos esforços de compressão e tração no primeiro pavimento. Segundo a Tabela F.1 da NBR 16.868:2020, para atingir essa resistência, o bloco de concreto indicado é o de 10 MPa, com argamassa de 8 MPa e grout de 20 MPa.

### 6.4.4 Verificação do cisalhamento e da tração atuantes no 1º pavimento

O software eberick separa as paredes em grupos e indica os esforços máximos de tração e compressão em cada trecho da parede (Figura 38). Quando o prisma escolhido não atende aos esforços solicitantes, em um determinado trecho, é emitido uma mensagem de erro para o usuário optar pelo grouteamto e armação das paredes.

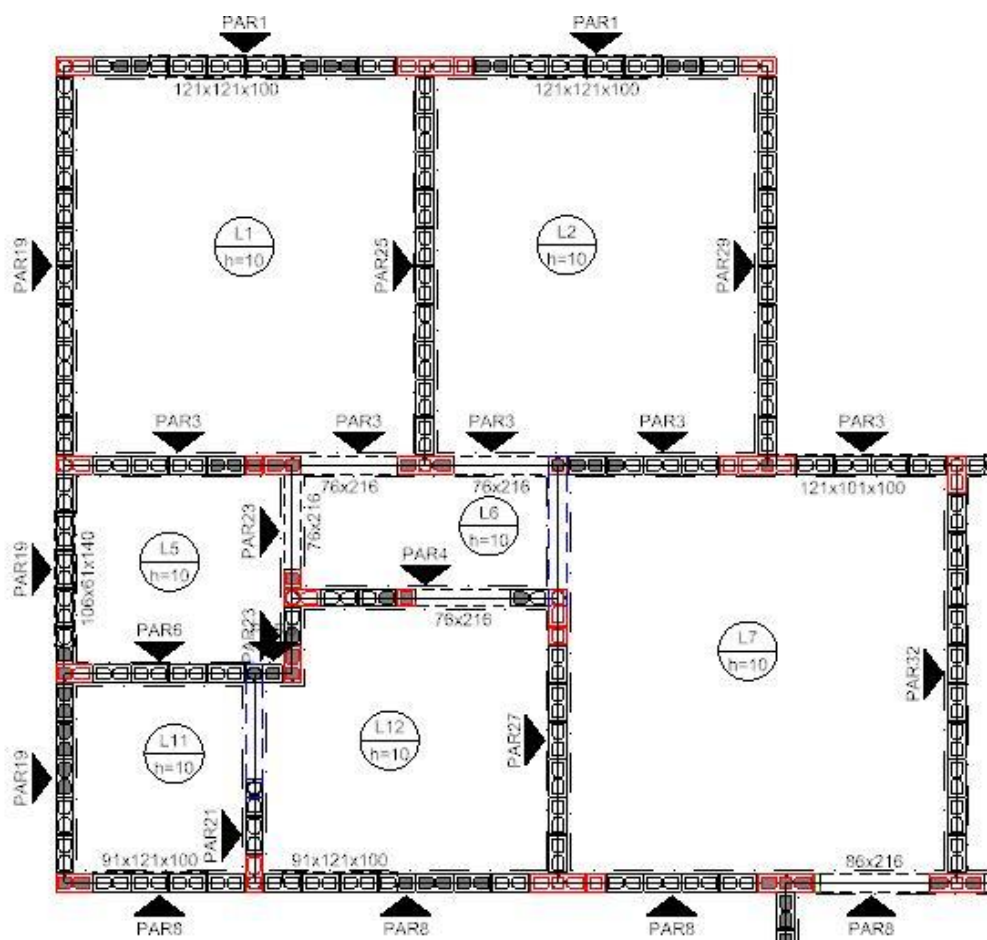
No lançamento inicial da estrutura não foi considerado nenhum grouteamto ou armação. Após o processamento da estrutura o eberick indicou a necessidade de armação em algumas aberturas (Figura 39) e na parede da escada (Figura 40).

Figura 38 - Tela de dimensionamento das alvenarias



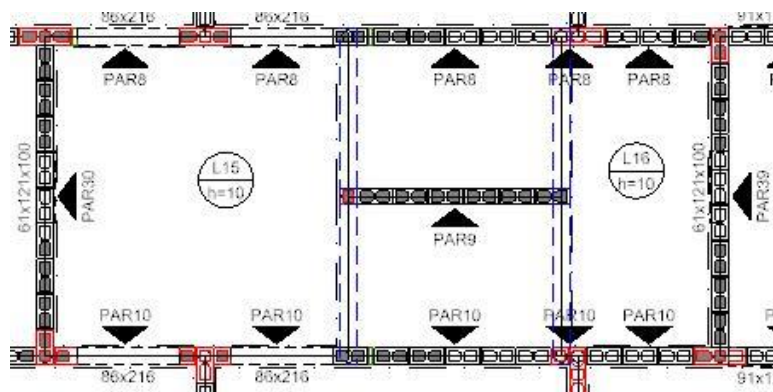
Fonte: Eberick

Figura 39 - Pontos de grouteamento e armação



Fonte: QiBuilder.

Figura 40 - Pontos de grouteamento e armação na escada



Fonte: Qibuilder.

Para verificação do cisalhamento é necessário gerar o relatório dados na aba de dimensionamento, onde é possível consultar a tensão de cisalhamento nas alvenarias e a resistência ao cisalhamento (Figura 41).

Figura 41 - Relatório dados para consulta das tensões de cisalhamento

Pared e	Trecho	Dados				Principais resultados				
		Comprimento (cm)	Vínculo	le (cm)	le Fixo	Compressão Máx. (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tração Máx. (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tensão de cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistência ao cisalhamento (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resultado
PAR1	1	90.00	RR	290.00	Não	21.32	-4.56	0.19	4.57	Ok
	2	165.00	RR	290.00	Não	26.96	-8.38	0.30	5.35	Ok
	3	75.00	RR	290.00	Não	18.59	-3.67	0.14	4.24	Ok

Fonte: Eberick

## 7 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS 1 E 2

Para realizar uma análise comparativa entre os modelos de cálculo 1 e 2 apresentados neste trabalho, foram considerados os resultados das reações das lajes, a estabilidade global, a escolha do bloco de concreto para as paredes do primeiro pavimento e a necessidade de armações para resistir aos esforços de tração em cada modelo. Essa comparação possibilita avaliar a viabilidade de uso do módulo alvenaria do *software* QiBuilder e identificar suas vantagens em relação ao cálculo manual de estruturas em alvenaria estrutural.

A Tabela 27 apresenta as reações encontradas em cada modelo de cálculo. Pode-se observar que não foram encontradas divergências significativas.

Tabela 27 - Comparação das reações nas lajes.

Lajes	R <sub>Laje</sub> (kN/m)		
	Reações	Modelo 1	Modelo 2
L1	R1	3,56	3,64
	R2	3,89	4,07
L2	R1	3,37	3,59
	R2	3,85	3,86
L5	R	2,22	2,87
	R2	2,06	2,74
L6	R1	2,62	2,09
L7	R1	3,94	3,89
	R2	4,11	4,20
L11	R1	1,87	2,64
	R2	2,03	2,55
L12	R1	2,98	2,95
	R2	2,80	3,10
L15	R1	4,81	5,47
	R2	5,19	4,51
L16	R	4,92	3,51

Fonte: elaborado pelo autor.

Para o parâmetro de estabilidade global, a estrutura foi considerada como indeslocável para ambos os modelos de cálculo. O eberick não apresenta o valor do

parâmetro alta apenas o limite de deslocamento. A Tabela 28 apresenta o comparativo dos valores encontrados para o parâmetro Gama Z. Vale destacar que o software não considera os linteis na distribuição dos esforços horizontais.

Tabela 28 - Comparação do parâmetro gama Z

Direção	Modelo 1		Modelo 2	
	Valor	Classificação	Valor	Classificação
X	1,02	Indeslocável	1,10	Indeslocável
Y	1,02	Indeslocável	1,03	Indeslocável

Fonte: elaborado pelo autor.

Na verificação da resistência a tração das paredes do primeiro pavimento, no modelo 1 ocorreu a necessidade de armação de tração nas paredes PAR1a, PAR19a e PAR19b. Já no modelo 2 ocorreu a necessidade de armação de tração em algumas aberturas e na parede PAR19a.

Quanto a verificação dos esforços de cisalhamento no modelo 2 também não foi necessária armadura de cisalhamento em nenhuma parede.

A análise comparativa evidencia que o uso dos *softwares* QiBuilder e Eberick para o cálculo de um edifício em alvenaria estrutural oferece vantagens significativas em relação ao cálculo manual. A automatização do modelo 2 reduz substancialmente o tempo necessário para a elaboração do projeto, proporcionando resultados mais precisos e otimizados. Essa eficiência não apenas eleva a produtividade do engenheiro projetista, mas também contribui para segurança e confiabilidade do projeto. Vale destacar a importância da experiência do profissional, uma vez que, o Eberick não sugere a resistência de prisma mais adequada para o projeto, apenas verifica se o prisma atende as solicitações.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o exposto ao longo deste trabalho, conclui-se que a utilização dos softwares QiBuilder e Eberick na elaboração de projetos em alvenaria estrutural apresenta vantagens significativas em relação ao dimensionamento manual. Além da facilidade de uso proporcionada pelas ferramentas, destaca-se o suporte técnico oferecido pela empresa desenvolvedora, o que contribui para a rápida adaptação de novos usuários ao ambiente do software.

Este estudo, de natureza básica, com abordagem quantitativa e qualitativa e objetivo exploratório, realizou uma análise comparativa entre dois métodos de dimensionamento: manual e assistido por software. A pesquisa, fundamentada em procedimentos bibliográficos e documentais, justifica-se pela necessidade crescente de ferramentas que otimizem e facilitem a elaboração de projetos estruturais em alvenaria, garantindo maior eficiência e precisão no processo de dimensionamento.

As análises comparativas realizadas entre os modelos 1 e 2 evidenciaram que o uso dos softwares QiBuilder e Eberick resultou em um aumento expressivo na produtividade do projetista, reduzindo significativamente o tempo necessário para o dimensionamento estrutural. Os resultados apontaram a utilização de materiais equivalentes em ambos os modelos, reforçando que o diferencial está na agilidade e na precisão do método automatizado. Assim, compreendeu-se que o modelo 2, dimensionado com auxílio dos softwares, é mais eficiente em termos de rapidez e controle.

O QiBuilder destacou-se pela sua interface intuitiva e pela possibilidade de realizar análises detalhadas dos resultados, além de permitir a elaboração de desenhos estruturais e o controle de revisões de projeto. No entanto, foi identificado que a correta definição dos critérios e entradas gráficas é essencial para assegurar a segurança do dimensionamento. Além disso, a experiência do profissional é indispensável, uma vez que o software apenas verifica o prisma e não define a resistência necessária.

Por fim, os resultados deste estudo reforçam a importância de investimentos contínuos em tecnologias que auxiliem na elaboração de projetos estruturais. Ferramentas como o QiBuilder e o Eberick representam não apenas uma solução para atender às demandas crescentes do setor da construção civil, mas também um avanço na busca por maior precisão, produtividade e confiabilidade no desenvolvimento de projetos.

## 9 REFERÊNCIAS

ALTOQI. **Manual do Usuário QIAvenaria**. Florianópolis: AltoQi, 2020.

ALVARES, Alice Laura de Oliveira. **Comparação entre um edifício em alvenaria estrutural projetado sem o uso de softwares e com o TQS Alvest**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-1:2020 – Alvenaria estrutural – parte 1: projeto**. Rio de Janeiro, 2020.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:2023 – Forças devidas ao vento em edificações – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136:2014 – Blocos de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2003.

CANGUSSU, João Vitor Mariani. **Análise comparativa do cálculo e dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural sem o uso de softwares e com o uso do TQS Alvest**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2024.

FERREIRA, Ana Paula. **Alvenaria estrutural: novas perspectivas e inovações tecnológicas**. Revista Engenharia Contemporânea, 2019.

LIMA, Fernanda Souza. **Análise comparativa de custos e viabilidade de alvenaria estrutural**. Revista Brasileira de Engenharia Civil, 2020.

OLIVEIRA, José Carlos; SANTOS, Maria Clara; ALMEIDA, Renata. **Softwares computacionais e sua relevância para a engenharia civil**. Revista de Construção e Tecnologia, 2021.

RODRIGUES, Tiago; SILVA, Marcos Vinícius. **Normatização e padronização em projetos de alvenaria estrutural**. Engenharia Atual, 2022.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: ações horizontais em edifícios de alvenaria estrutural**. Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: análise estrutural para ações horizontais.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: análise estrutural para ações verticais.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: considerações técnicas e econômicas.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: dimensionamento da alvenaria estrutural.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: diretrizes para o projeto arquitetônico de ed. de alvenaria estrutural.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, Roberto Márcio. **Edifício em alvenaria estrutural: normas brasileiras para alvenaria estrutural.** Não paginado. Notas de aula. Curso de Especialização em Engenharia de Estruturas da UFMG. Belo Horizonte, MG, 2023.

SILVA, João. **Dimensionamento de Alvenaria Estrutural.** 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Engenharia, 2018.