

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

João Vitor Mariani Cangussu

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

Belo Horizonte
2024

João Vitor Mariani Cangussu

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

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da 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: Prof. Dr. Roberto Márcio da Silva

Belo Horizonte
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

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

ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

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

Aos **vinte e sete dias** do mês de **fevereiro de 2024**, às 19h, o estudante **João Vítor Mariani Cangussu**, matrícula 2020682690, defendeu o Trabalho intitulado **"Análise comparativa do cálculo e dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural sem a utilização de softwares e com a utilização do TQS Alvest"**.

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

Nota: (80)

Orientador(a): Prof. Roberto Márcio da Silva

Nota: (80)

Examinador(a): Eng. Rafael Diniz Viana de Brito

Nota: (80)

Examinador(a): Alba Bruna Cintra De Grandi



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Marcio da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 16/04/2024, às 16:08, 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 **Alba Bruna Cintra de Grandi, Usuário Externo**, em 16/04/2024, às 16:50, 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 17/04/2024, às 16:19, 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, informando o código verificador **3183962** e o código CRC **FDC60BCB**.

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

Referência: Processo nº 23072.221012/2024-11

SEI nº 3183962

RESUMO

Na área da construção civil brasileira, uma análise comparativa entre o dimensionamento de um projeto em alvenaria estrutural, com e sem o auxílio de um *software*, se mostra importante para indicar as vantagens que o cálculo automatizado pode apresentar para o engenheiro projetista. Neste sentido, o trabalho tem como objetivo principal mostrar o processo para o dimensionamento estrutural utilizando o cálculo manual e o *software TQS Alvest*, com o intuito de mostrar os benefícios do programa. A fim de produzir um estudo comparativo dos resultados, foi analisado apenas o dimensionamento das paredes do primeiro pavimento do projeto apresentado, por ser onde atuam os maiores esforços. A metodologia utilizada foi baseada em pesquisa bibliográfica e documental, utilizando-se de materiais publicados previamente por autores da área da engenharia civil e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas. O resultado da pesquisa expõe as vantagens da automatização dos cálculos para a elaboração do projeto com a utilização do *software*, que apresentou maior agilidade para o dimensionamento e possibilitou a consideração das geometrias e comportamentos da estrutura em um modelo tridimensional. Com isso, foi possível concluir que o *software TQS Alvest* otimiza o trabalho do engenheiro, aumentando sua produtividade na elaboração de projetos e possibilitando um dimensionamento mais próximo da realidade, desde que o projetista tenha domínio do programa para uma correta definição de critérios e lançamento estrutural. Dessa forma, visando uma constante busca pelo aperfeiçoamento da elaboração de projetos estruturais, o investimento em *softwares* para o auxílio dos engenheiros se mostra importante para aqueles que trabalham na área da construção civil.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; *software*; *TQS Alvest*; dimensionamento manual.

ABSTRACT

In the area of Brazilian civil construction, a comparative analysis of the design of a structural masonry project, with and without the aid of software, is important to indicate the advantages that automated calculation can present to the design engineer. In this sense, the main objective of the work is to show the structural design process using manual calculation and the TQS Alvest software, to show the benefits of the program. To produce a comparative study of the results, only the dimensioning of the walls of the first floor of the presented project was analyzed, as this is where the greatest efforts are exerted. The methodology used was based on bibliographic and documentary research, using materials previously published by authors in the field of civil engineering and by the *Associação Brasileira de Normas Técnicas*. The result of the research exposes the advantages of automating the calculations for the preparation of the project using the software, which provided greater agility for sizing and made it possible to consider the geometries and behaviors of the structure in a three-dimensional model. With this, it was possible to conclude that the TQS Alvest software optimizes the engineer's work, increasing their productivity in designing projects and enabling sizing closer to reality, as long as the designer has mastery of the program for a correct definition of criteria and structural launch. Therefore, to constantly improve the development of structural projects, investing in software to help engineers is important for those who work in the construction industry.

Keywords: structural masonry; software; TQS Alvest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Projeto arquitetônico do pavimento tipo	18
Figura 2 – Corte esquemático da estrutura	19
Figura 3 – Modulação do pavimento tipo (fiada ímpar)	20
Figura 4 – Definição das lajes para o cálculo das reações	23
Figura 5 – Geometria da laje L1=L3	23
Figura 6 – Geometria da laje L2	24
Figura 7 – Geometria da laje L7	24
Figura 8 – Geometria da laje L8	24
Figura 9 – Geometria da laje L11	24
Figura 10 – Geometria da laje L12	25
Figura 11 – Geometria da laje L13	25
Figura 12 – Geometria da escada	25
Figura 13 – Definição dos lintéis para o cálculo das reações	27
Figura 14 – Geometria do lintel Ln1 (60/220)	27
Figura 15 – Geometria do lintel Ln2 (135/160)	28
Figura 16 – Geometria do lintel Ln3 (60/60)	28
Figura 17 – Geometria do lintel Ln4 = Ln6 (75/60)	28
Figura 18 – Geometria do lintel Ln5 (60/60)	28
Figura 19 – Geometria do lintel Ln7 (75/60)	29
Figura 20 – Geometria do lintel Ln8 (75/60)	29
Figura 21 – Geometria do lintel Ln9 (75/60)	29
Figura 22 – Geometria do lintel Ln10 (120/160)	29
Figura 23 – Geometria do lintel Ln11 (60/220)	30
Figura 24 – Geometria do lintel Ln12 (135/160)	30
Figura 25 – Geometria do lintel Ln13 (105/160)	30
Figura 26 – Geometria do lintel Ln14 (75/60)	31
Figura 27 – Geometria do lintel Ln15 (90/60)	31
Figura 28 – Definição dos grupos isolados de paredes	33
Figura 29 – Grupo 1	34
Figura 30 – Grupo 2	34
Figura 31 – Grupo 3	35
Figura 32 – Grupo 4	35

Figura 33 – Grupo 5	35
Figura 34 – Grupo 6	36
Figura 35 – Grupo 7	36
Figura 36 – Grupo 8	36
Figura 37 – Grupo 9	37
Figura 38 – Gráfico de coeficiente de arrasto para vento de baixa turbulência.....	45
Figura 39 – Pórticos e paredes isoladas da direção X	49
Figura 40 – Geometria da parede Pr1x	49
Figura 41 – Geometria da parede Pr2x	50
Figura 42 – Geometria da parede Pr3x=Pr5x=Pr6x	50
Figura 43 – Geometria da parede Pr4x	50
Figura 44 – Geometria da parede Pr7x	50
Figura 45 – Geometria da parede Pr8x	51
Figura 46 – Geometria da parede Pr9x	51
Figura 47 – Geometria da parede Pr10x	51
Figura 48 – Geometria da parede Pr11x	51
Figura 49 – Geometria da parede Pr12x	52
Figura 50 – Geometria da parede Pr13x	52
Figura 51 – Lançamento dos pórticos da direção X no <i>Ftool</i>	52
Figura 52 – Pórticos e paredes isoladas na direção Y	56
Figura 53 – Geometria da parede Pr1y=Pr2y.....	57
Figura 54 – Geometria da parede Pr3y	57
Figura 55 – Geometria da parede Pr4y	57
Figura 56 – Geometria da parede Pr5y	57
Figura 57 – Geometria da parede Pr6y	58
Figura 58 – Geometria da parede Pr7y	58
Figura 59 – Geometria da parede Pr8y	58
Figura 60 – Geometria da parede Pr9y	58
Figura 61 – Geometria da parede Pr10y	59
Figura 62 – Geometria da parede Pr11y	59
Figura 63 – Lançamento dos pórticos e paredes isoladas da direção Y no <i>Ftool</i>	59
Figura 64 – Pórticos da direção X no <i>Ftool</i> para cálculo do parâmetro α	65
Figura 65 – Pórticos da direção Y no <i>Ftool</i> para cálculo do parâmetro α	65
Figura 66 – Parede Pr1x tracionada.....	76

Figura 67 – Área tracionada da parede Pr1x.....	77
Figura 68 – Detalhamento da armadura na parede Pr1x	78
Figura 69 – Armaduras adotadas nas paredes do primeiro pavimento	79
Figura 70 – Tipo de estrutura e norma em uso no <i>TQS Alvest</i>	80
Figura 71 – Definição da estrutura no <i>TQS Alvest</i>	80
Figura 72 – Cálculo dos coeficientes de arrasto no <i>TQS Alvest</i>	81
Figura 73 – Definição dos parâmetros de vento no <i>TQS Alvest</i>	82
Figura 74 – Definição dos critérios para as cargas horizontais	83
Figura 75 – Definição da tabela de reações no <i>TQS Alvest</i>	83
Figura 76 – Definição do fpk de referência no <i>TQS Alvest</i>	84
Figura 77 – Definição do fabricante para o projeto no <i>TQS Alvest</i>	84
Figura 78 – Definição dos dados de aberturas de paredes no <i>TQS Alvest</i>	85
Figura 79 – Lançamento da estrutura no <i>TQS Alvest</i>	86
Figura 80 – Delimitação das paredes no <i>TQS Alvest</i>	86
Figura 81 – Entrada gráfica das lajes no <i>TQS Alvest</i>	87
Figura 82 – Definição dos grupos de paredes no <i>TQS Alvest</i>	87
Figura 83 – Definição das paredes resistentes da direção X no <i>TQS Alvest</i>	88
Figura 84 – Definição das paredes resistentes da direção Y no <i>TQS Alvest</i>	88
Figura 85 – Aba do <i>software</i> para o processamento global da estrutura	89
Figura 86 – Cálculo da pressão do desaprumo no <i>TQS Alvest</i>	91
Figura 87 – Definição da carga adicional do desaprumo no <i>TQS Alvest</i>	91
Figura 88 – Cálculo das reações das lajes pelo <i>TQS Alvest</i>	92
Figura 89 – Relatório de estabilidade global da estrutura do <i>TQS Alvest</i>	94
Figura 90 – Armaduras adotadas nas paredes do primeiro pavimento	95
Figura 91 – Armadura da parede Pr1x do modelo 1	98
Figura 92 – Armadura da parede Pr1x do modelo 2	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reações das lajes nas paredes de alvenaria estrutural	26
Tabela 2 – Reações dos lintéis nas paredes de alvenaria estrutural	32
Tabela 3 – Componentes e repetições dos grupos isolados de paredes	34
Tabela 4 – Somatório dos esforços verticais nas paredes	40
Tabela 5 – Esforços verticais nos grupos de 1 a 4	41
Tabela 6 – Esforços verticais nos grupos de 5 a 9	42
Tabela 7 – Resumo de esforços nos grupos de um pavimento	43
Tabela 8 – Tensões verticais acumuladas nas paredes do primeiro pavimento	43
Tabela 9 – Coeficiente de arrasto das direções X e Y	45
Tabela 10 – Esforços do vento nas direções X e Y em cada pavimento	46
Tabela 11 – Peso total de um pavimento	47
Tabela 12 – Esforços horizontais nas direções X e Y em cada pavimento	48
Tabela 13 – Esforços horizontais na direção X do primeiro pavimento	53
Tabela 14 – Tensões atuantes nas paredes da direção X no 1º pavimento	55
Tabela 15 – Esforços horizontais na direção Y do primeiro pavimento	60
Tabela 16 – Tensões atuantes nas paredes da direção Y no 1º pavimento	62
Tabela 17 – Resumo de tensões nas paredes resistentes da direção X	63
Tabela 18 – Resumo de tensões nas paredes resistentes da direção Y	63
Tabela 19 – Dados para o cálculo do parâmetro γ_z da direção X	67
Tabela 20 – Dados para o cálculo do parâmetro γ_z da direção Y	68
Tabela 21 – Cálculo das resistências necessárias das paredes na direção X	71
Tabela 22 – Cálculo das resistências necessárias das paredes na direção Y	71
Tabela 23 – Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção X	74
Tabela 24 – Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção Y	75
Tabela 25 – Casos de carregamentos considerados no processamento global	89
Tabela 26 – Combinações de carregamentos considerados no <i>TQS Alvest</i>	90
Tabela 27 – Reações das lajes obtidas pelo <i>TQS Alvest</i>	92
Tabela 28 – Esforços horizontais atuantes na estrutura do <i>TQS Alvest</i>	93
Tabela 29 – Comparação entre as reações das lajes nos modelos 1 e 2	96
Tabela 30 – Comparação dos esforços horizontais dos modelos 1 e 2	97
Tabela 31 – Parâmetros de estabilidade global nos modelos 1 e 2	97

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Histórico da alvenaria estrutural	15
3.2 Avanço tecnológico na engenharia civil	16
4 METODOLOGIA	17
5 DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO PARA O DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	18
5.1 Características do edifício	18
5.2 Modulação da estrutura	19
5.3 Normas em uso	21
5.4 Software utilizado	21
5.5 Modelo de cálculo adotado	21
6 MODELO 1: DIMENSIONAMENTO MANUAL DO EDIFÍCIO	22
6.1 Reações das lajes nas paredes estruturais de cada pavimento	22
6.2 Reações dos lintéis nas paredes estruturais de cada pavimento	27
6.3 Definição dos grupos isolados de paredes	33
6.4 Esforços verticais atuantes nos grupos isolados de paredes	37
6.5 Esforços horizontais atuantes na estrutura	43
6.6 Tensões verticais e horizontais nos pórticos da direção X e Y	48
6.6.1 Determinação do vão dos lintéis semiflexíveis	48
6.6.2 Tensões devido aos esforços horizontais na direção X (0° e 180°)	49
6.6.3 Tensões devido aos esforços horizontais na direção Y (90° e 270°)	56
6.6.4 Resumo de tensões acumuladas nas paredes do 1º pavimento	62
6.7 Estabilidade global da estrutura	64
6.7.1 Parâmetro alfa (α)	64
6.7.2 Parâmetro gama z (γ_z)	66
6.8 Definição do bloco adotado no 1º pavimento	68
6.9 Verificação do cisalhamento e da tração atuante no 1º pavimento	72
6.9.1 Armadura de tração necessária nas paredes do 1º pavimento	75
7 MODELO 2: DIMENSIONAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DO TQS ALVEST	79

7.1 Criação do edifício no software TQS Alvest	79
7.2 Entrada gráfica do edifício	85
7.3 Processamento global da estrutura	89
7.4 Resultados do processamento global da estrutura	92
7.4.1 Esforços verticais atuantes nas paredes do 1º pavimento	92
7.4.2 Esforços horizontais atuantes na estrutura	93
7.4.3 Estabilidade global da estrutura	94
7.4.4 Definição do bloco de concreto adotado no 1º pavimento	94
7.4.5 Necessidade de armadura nas paredes do 1º pavimento	94
8 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS 1 E 2	95
8.1 Esforços verticais atuantes nos modelos 1 e 2	96
8.2 Esforços horizontais atuantes nos modelos 1 e 2	96
8.3 Estabilidade global dos modelos 1 e 2	97
8.4 Definição dos blocos de concreto nos modelos 1 e 2	97
8.5 Armaduras necessárias nas paredes dos modelos 1 e 2	98
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
REFERÊNCIAS	100

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um dos sistemas mais antigos do mundo, que foi amplamente utilizada, de forma empírica, pelos egípcios e romanos nas construções de pirâmides e monumentos. Mesmo perdendo espaço para os sistemas construtivos de aço e concreto armado após a revolução industrial, a alvenaria estrutural conseguiu voltar a ser competitiva após estudos mais aprofundados e o desenvolvimento de regras práticas da alvenaria, voltando a ser amplamente difundida pelo mundo em meados dos anos 50 (Rauber, 2005). Apesar do atraso da implantação desse sistema construtivo no Brasil, a alvenaria estrutural já foi muito bem desenvolvida e difundida no país, sendo atualmente um método construtivo eficiente, que compete com os sistemas de aço e concreto armado (Mohamed, 2020).

Após as revoluções industriais e tecnológicas, muitos países aprimoraram seus métodos para o cálculo estrutural, possibilitando o surgimento de *softwares* que auxiliam na elaboração de um projeto. A TQS é uma das empresas brasileiras que desenvolve *softwares* para a elaboração de projetos estruturais, além de disponibilizar cursos e suporte para seus usuários.

Esses *softwares*, denominados CAD (*Computer Aided Design*), mostram ser de grande utilidade para os projetistas por possibilitar a consideração de geometrias e comportamentos estruturais em um modelo tridimensional (tendo um dimensionamento mais próximo da realidade), e proporcionar maior agilidade na elaboração de um projeto devido a automatização dos cálculos, dimensionamentos e geração de desenhos. Porém, é importante ter um domínio do *software* a ser utilizado, tendo conhecimento de como fazer as corretas definições dos critérios de projeto e entrada gráfica da estrutura, pois os cálculos computacionais são feitos levando em consideração os dados fornecidos pelo usuário do programa, e qualquer erro nesses dados ocasionará em um dimensionamento equivocado.

Com o intuito de mostrar essa otimização da elaboração de um projeto devido a automatização computacional, este trabalho apresentou os processos para o dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural sem a utilização de um *software* e com a utilização do TQS Alvest. Para o dimensionamento sem a utilização do *software*, é necessário que todo o processo seja manual, tais como: definir as paredes e suas aberturas com base na arquitetura; definir os grupos isolados de paredes; calcular os esforços solicitantes provenientes das lajes e lintéis sobre as

paredes estruturais para a definição dos esforços verticais atuantes na estrutura; calcular os esforços horizontais provenientes do vento e desaprumo atuantes na estrutura; calcular as tensões normais e de cisalhamento atuantes nos grupos isolados de paredes devido aos esforços horizontais e verticais; aplicar a combinação das tensões normais para definir a resistência necessária do prisma; definir as resistências do bloco, argamassa e graute necessárias para atingir a resistência necessária do prisma; aplicar a combinação das tensões para verificar a necessidade de armaduras resistentes aos esforços de tração e cisalhamento; e elaborar os desenhos de dimensionamento das paredes estruturais. Por outro lado, com a utilização do *software*, é necessário apenas: definir corretamente os critérios e parâmetros de cálculo; realizar a entrada gráfica da estrutura; fazer o processamento global da estrutura; e analisar os relatórios de resultados e desenhos de dimensionamento gerados para cada parede estrutural.

Levando em consideração a abordagem acima, este trabalho tem como objetivo geral comparar o dimensionamento de um projeto em alvenaria estrutural com e sem a auxílio do *TQS Alvest*, no intuito de apresentar as vantagens que a utilização desse *software* pode proporcionar para seu usuário. O projeto em estudo consiste em um edifício residencial a ser construído em Belo Horizonte, com blocos vazados de concreto da família 29, constituído por 10 pavimentos tipo (sem presença de um pilotis) que totaliza uma altura de 29 metros.

Para a análise comparativa entre os resultados obtidos, este trabalho divide o dimensionamento da estrutura em dois modelos, sendo modelo 1 o dimensionamento com o cálculo manual e modelo 2 o dimensionamento com a utilização do *software TQS Alvest*. Para cada modelo, foram analisados os dimensionamentos apenas das paredes estruturais do primeiro pavimento do edifício em estudo, onde concentra a maior quantidade de esforços.

Nesse sentido, essa pesquisa se justifica pela necessidade de apresentar um método mais eficiente e vantajoso para a elaboração de projetos em alvenaria estrutural, mostrando à comunidade da engenharia civil que o auxílio computacional aumenta a produtividade do projetista e permite a elaboração de um dimensionamento estrutural mais próximo da realidade, desde que tenham um devido cuidado na definição dos critérios e entrada gráfica da estrutura para um correto dimensionamento.

A presente pesquisa está estruturada em oito capítulos. Capítulo 1: INTRODUÇÃO - introduz o trabalho e descreve os objetivos. Capítulo 2: OBJETIVOS – apresenta os objetivos gerais e específicos do trabalho. Capítulo 3: REFERENCIAL TEÓRICO – apresenta um breve histórico da alvenaria estrutural e do cálculo computacional para o dimensionamento estrutural. Capítulo 4: METODOLOGIA - descreve a metodologia adotada para a elaboração do trabalho. Capítulo 5: DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO PARA O DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL - descreve as características, normas e parâmetros adotados para o edifício em estudo. Capítulo 6: MODELO 1: DIMENSIONAMENTO MANUAL DO EDIFÍCIO - descreve o processo utilizado para o dimensionamento manual do edifício. Capítulo 7: MODELO 2: DIMENSIONAMENTO COM A UTILIZAÇÃO DO *TQS ALVEST* - descreve o processo utilizado para o dimensionamento do edifício com a utilização do *software TQS Alvest*. Capítulo 8: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS 1 E 2 - descreve a comparação dos resultados de dimensionamento apresentados. Por fim, a pesquisa ainda contempla as considerações finais e as referências utilizadas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar o estudo comparativo entre o dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural sem a utilização de um *software* e com a utilização do *TQS Alvest*.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho compreendem em:

- apresentar o processo de dimensionamento manual de um projeto em alvenaria estrutural;
- apresentar o dimensionamento desse mesmo projeto com a utilização do *software TQS Alvest*;
- comparar os resultados obtidos para os dois modelos de dimensionamento;
- e mostrar as vantagens e desvantagens apresentadas pela utilização do *software*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Histórico da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo constituído por paredes de blocos autoportantes, que transmitem os esforços atuantes na estrutura por meio de tensões de compressão. Esse modelo estrutural está presente nas construções da humanidade há milhares de anos, sendo utilizados conhecimentos empíricos nos princípios de sua implementação. Contudo, a alvenaria estrutural era caracterizada por ser um processo lento e de custo elevado, o que fez com que tenha sido um dos métodos construtivos mais utilizados apenas até o início da revolução industrial (Mohamed, 2020). Segundo Rauber (2005), o avanço tecnológico das estruturas de aço e a ampla difusão do uso do concreto nas construções no século XX tornou a alvenaria estrutural um método obsoleto.

Em razão da escassez de aço e concreto causada pela segunda guerra mundial, o professor Paul Haller elaborou diversos estudos em paredes de alvenaria estrutural na Suíça, o que deu início a intensificação desse método mediante a amplos resultados experimentais, que ocasionaram na criação de diversas teorias e critérios de projeto (Mohamed, 2020). De acordo com Rauber (2005):

“No final dos anos 40, se iniciaram estudos mais aprofundados sobre estruturas de alvenaria na Europa. Nos Estados Unidos, nos anos 50, iniciou-se o desenvolvimento de regras práticas para a alvenaria, resultando na publicação de códigos de construção. Atualmente, em países como Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha, a alvenaria estrutural atinge níveis de cálculo, execução e controle similares aos aplicados nas estruturas de aço e concreto, constituindo-se em um econômico e competitivo sistema.”

No Brasil, apenas em 1960 iniciou-se a implantação da alvenaria estrutural como um sistema construtivo. No princípio dessa implantação, as construções estavam concentradas apenas em algumas regiões, onde eram comuns edificações de até quatro pavimentos, constituídas por blocos cerâmicos maciços nos três primeiros pavimentos e blocos vazados no último pavimento (Mohamed, 2020). Desde então, esse sistema construtivo tem sido aprimorado e aperfeiçoado, sendo mais bem aceito e difundido no Brasil, possibilitando uma maior competitividade com os sistemas de aço e concreto armado.

3.2 Avanço tecnológico na engenharia civil

Desde a primeira revolução industrial da Inglaterra, na segunda metade do século XVIII, a sociedade apresenta uma necessidade de desenvolver máquinas que auxiliem e otimizem as atividades humanas, no intuito de aumentar a produtividade e os lucros. Com esses desenvolvimentos tecnológicos, muitos países aprimoraram a sua construção civil, possibilitando o surgimento de técnicas construtivas padronizadas e métodos modernos.

Com o grande desenvolvimento da informática após a terceira revolução industrial, em meados do século XX, foi possível o investimento e desenvolvimento de *softwares* que auxiliam nos trabalhos dos engenheiros civis. Esses *softwares*, denominados *CAD* (*Computer Aided Design* – Desenho Assistido por Computador), tiveram seus desenvolvimentos iniciados em meados da década de 1950, mas só teve um “boom” na década de 1980, com o *software* chamado *CONDEX* (primeiro nome do *AutoCAD*) (Razor, 2020).

Com a disseminação da tecnologia dos *softwares* tipo CAD, a empresa brasileira TQS Informática Limitada foi fundada em 1982 com o objetivo de criar, desenvolver e comercializar *softwares* para a elaboração de projetos estruturais e fundações de edificações. Um desses *softwares* desenvolvidos pela TQS é o *TQS Alvest*, um sistema de entrada gráfica de edifícios em alvenaria estrutural que permite a análise de esforços, elaboração de desenho, edição gráfica, análise de geometria e dimensionamento e detalhamento da alvenaria estrutural (TQS Informática Ltda, 2024).

4 METODOLOGIA

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa do cálculo e dimensionamento de um edifício residencial projetado por um engenheiro sem a utilização de *softwares* (modelo 1) e com a utilização do *TQS Alvest* (modelo 2).

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

- esforços verticais acumulados nas paredes do primeiro pavimento;
- esforços horizontais atuantes em cada pavimento da estrutura;
- estabilidade global da estrutura;
- definição do bloco de concreto no primeiro pavimento;
- necessidade de armadura de cisalhamento e de tração.

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

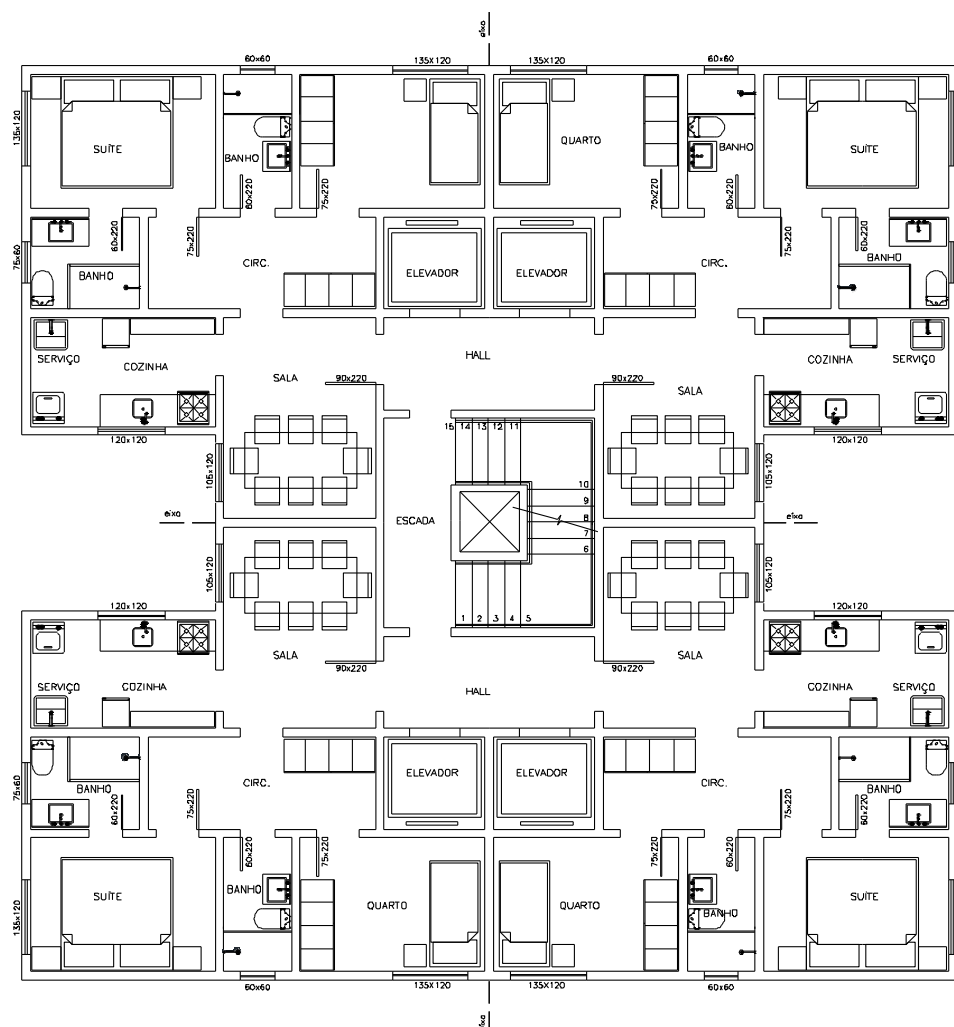
- definição das características do edifício;
- definição da modulação da estrutura (fiadas ímpar e par);
- dimensionamento do edifício sem a utilização de *softwares*;
- dimensionamento do edifício com a utilização do *TQS Alvest*;
- análise comparativa dos resultados apresentados nos dois modelos.

5 DEFINIÇÃO DO EDIFÍCIO PARA O DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

5.1 Características do edifício

O projeto em estudo consiste em um edifício residencial em alvenaria estrutural de dez pavimentos tipo, com pé-direito livre igual a 2,80 m, situado em um terreno plano de Belo Horizonte – MG. Foram considerados blocos vazados de concreto da família “29” (14x19x29, 14x19x14 e 14x19x44) e lajes içadas em concreto armado com 10 cm de altura, totalizando um pé-direito em cada pavimento de 2,90 m. Levando em consideração que este trabalho tem o objetivo apenas de comparar os resultados obtidos nos dois modelos para o dimensionamento das paredes no primeiro pavimento, foi desconsiderada a existência do pilotis. A figura 1 apresenta o projeto arquitetônico do pavimento tipo e a figura 2 mostra o corte esquemático da estrutura.

Figura 1: Projeto arquitetônico do pavimento tipo



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2: Corte esquemático da estrutura

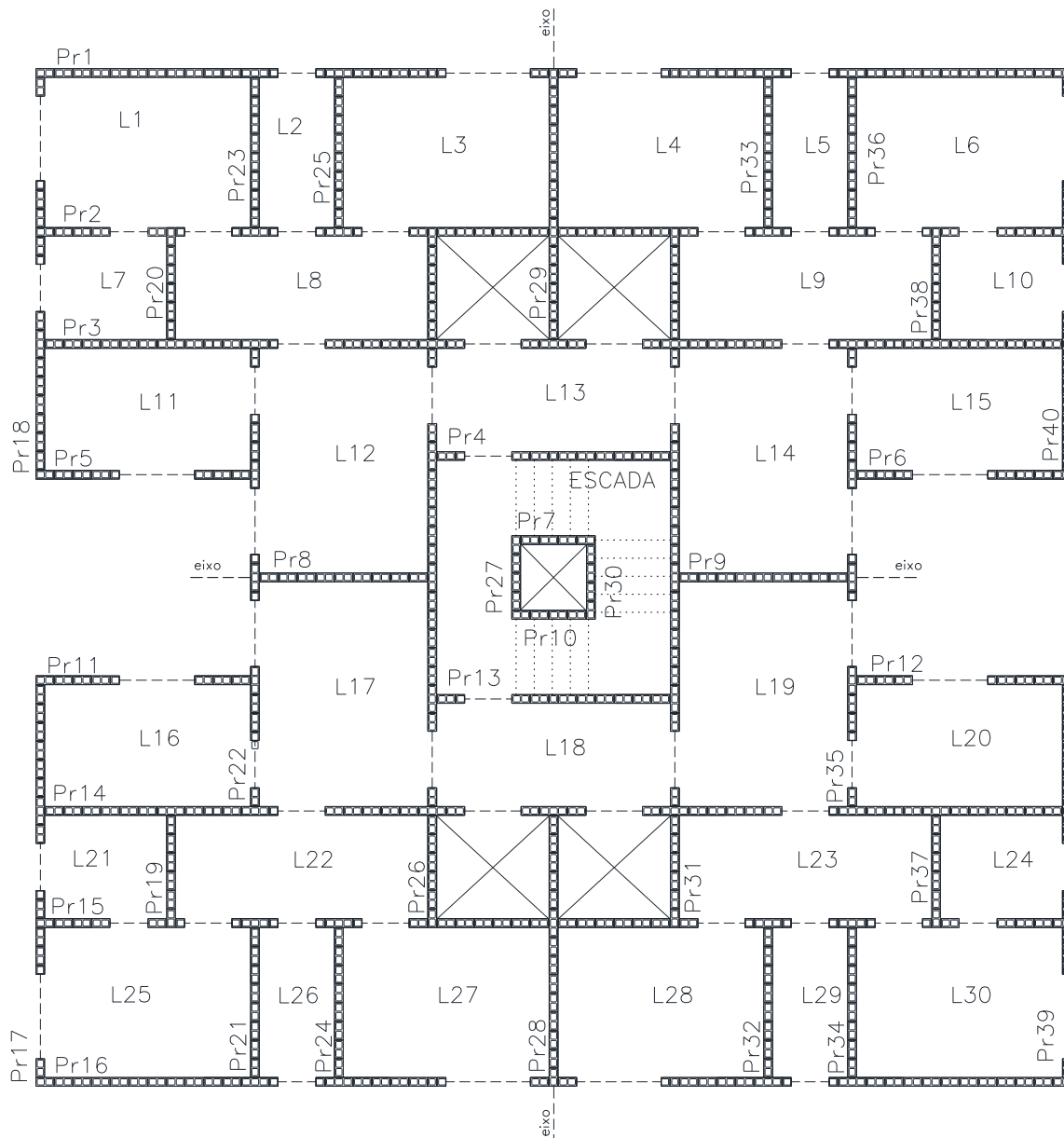


Fonte: elaborado pelo autor.

5.2 Modulação da estrutura

A modulação da estrutura é um processo manual para ambos os modelos, que leva como referência o projeto arquitetônico adotado. No modelo 1, primeiro foi definida a fiada ímpar (figura 3) e posteriormente a fiada par. Já no modelo 2 foi necessária apenas a definição da fiada ímpar, pois a fiada par é gerada automaticamente pelo TQS, tomando como referência a fiada ímpar lançada. Após a definição das fiadas, é feita a delimitação das aberturas de portas e janelas da estrutura.

Figura 3: Modulação do pavimento tipo (fiada ímpar)



Fonte: elaborado pelo autor.

Como a estrutura consiste em uma modulação simétrica nas duas direções, foi possível considerar as seguintes relações de paredes (Pr) e lajes (L):

- Pr1 = Pr16; Pr2 = Pr15; Pr3 = Pr14; Pr4 = Pr13; Pr5 = Pr6 = Pr11 = Pr12; Pr7 = Pr10; Pr8 = Pr9; Pr17 = Pr18 = Pr39 = Pr40; Pr19 = Pr20 = Pr37 = Pr38; Pr21 = Pr23 = Pr34 = Pr36; Pr22 = Pr35; Pr24 = Pr25 = Pr32 = Pr33; Pr26 = Pr31; Pr27 = Pr30; Pr28 = Pr29.
- L1 = L3 = L4 = L6 = L25 = L27 = L28 = L30; L2 = L5 = L26 = L29; L7 = L10 = L21 = L24; L8 = L9 = L22 = L23; L11 = L15 = L16 = L20; L12 = L14 = L17 = L19; L13 = L18.

5.3 Normas em uso

Para a elaboração do cálculo, dimensionamento e análise estrutural do edifício, foram utilizadas 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.

5.4 Software utilizado

Para o dimensionamento do modelo 2 do edifício em estudo, foi utilizado o *software TQS Alvest* na versão 23.10.

5.5 Modelo de cálculo adotado

No dimensionamento das paredes no modelo 1 foram adotados dois sistemas: o sistema de grupos isolados de paredes para a determinação dos esforços verticais; e o sistema de paredes com abas e aberturas para a determinação dos esforços horizontais. Neste caso, é considerado que os carregamentos do vento transferem os esforços resultantes para um modelo de pórtico plano. Com o intuito de um estudo comparativo mais coerente, no modelo 2 foram considerados os mesmos sistemas para determinação dos esforços horizontais e verticais.

Neste modelo de cálculo adotado, para o dimensionamento sem a utilização de softwares, são necessárias: a divisão manual dos grupos isolados de paredes (conjuntos de paredes interligadas entre si e separadas das demais paredes pelas aberturas de portas e janelas); e a determinação manual das paredes de contraventamento, que resistem aos esforços horizontais nas direções X e Y. Com a utilização do *TQS Alvest* a determinação dos grupos isolados de paredes e das paredes de contraventamento é feita automaticamente pelo programa.

6 MODELO 1: DIMENSIONAMENTO MANUAL DO EDIFÍCIO

6.1 Reações das lajes nas paredes estruturais de cada pavimento

Para o cálculo das reações de apoio das lajes, foram consideradas as lajes de concreto armado, içadas sobre as paredes, e escadas pré-moldadas, também de concreto armado, do tipo jacaré. Conforme as considerações da NBR 6120:2019, as cargas atuantes nas lajes são:

- Cargas na escada:
 - Espessura = 15 cm
 - Carga permanente (C_p) = 1,00 kN/m²
 - Carga acidental (C_a) = 2,00 kN/m²
 - Peso próprio (PP) = 0,15 m * 25 kN/m³ = 3,75 kN/m²
 - Carga total na laje (C_t) = 1,0 + 2,00 + 3,75 = 6,75 kN/m²
- Cargas nas demais lajes:
 - Espessura = 10 cm
 - Carga permanente (C_p) = 1,00 kN/m²
 - Carga acidental (C_a) = 1,50 kN/m²
 - Peso próprio da laje (PP) = 0,10 m * 25 kN/m³ = 2,50 kN/m²
 - Carga total na laje (C_t) = 1,0 + 1,50 + 2,50 = 5,00 kN/m²

De acordo com o item 14.7.6.1 da NBR 6118:2023, as reações de cada apoio são correspondentes às cargas atuantes nas áreas dos triângulos ou trapézios definidos por charneiras, que podem ser aproximadas por linhas inclinadas com ângulos de 45° entre dois apoios do mesmo tipo e 90° a partir do apoio quando houver bordo livre vizinho. Tendo as geometrias das lajes e área das charneiras, as reações de apoio das lajes são dadas por:

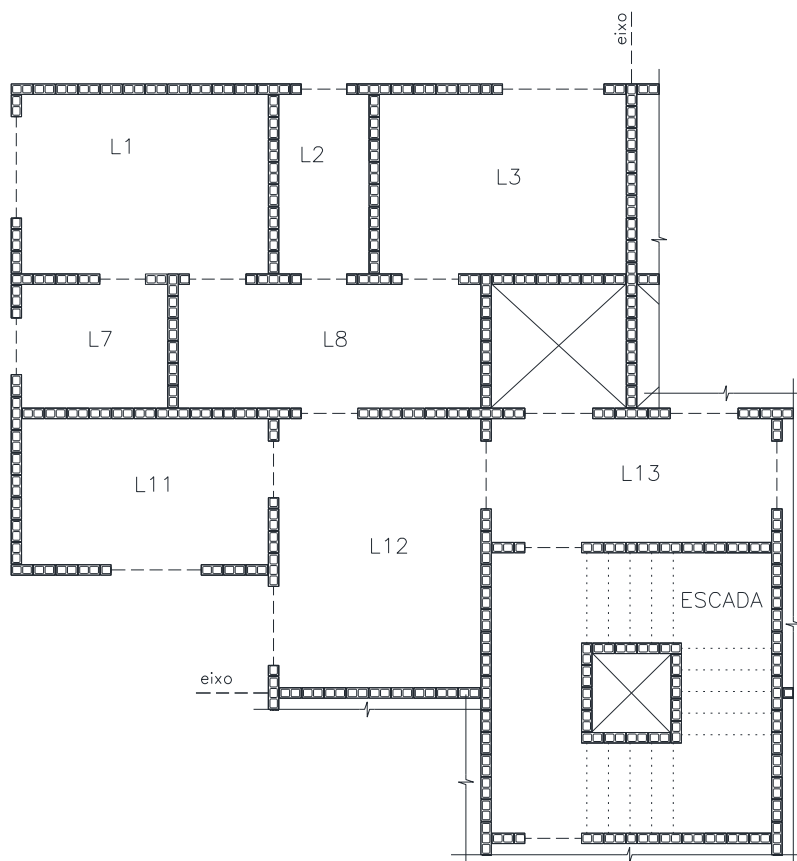
$$R = \frac{C_t * A}{l}$$

Onde:

- R é a reação de apoio (kN/m);
- C_t é a carga total distribuída na laje (kN/m²);
- A é a área de influência da laje para cada apoio (m²);
- l é o comprimento de apoio (m).

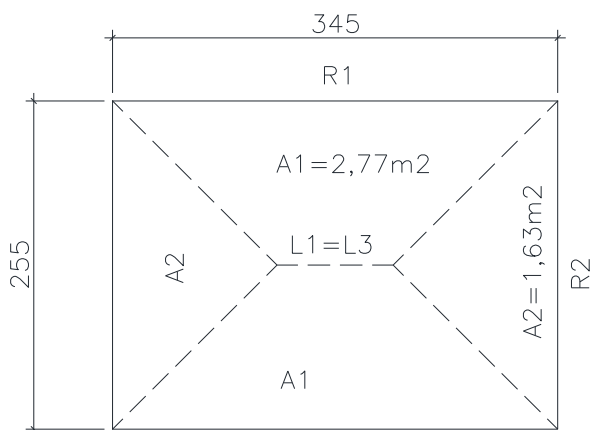
Se tratando de uma estrutura simétrica nas duas direções, foi utilizada apenas uma parte da estrutura para o cálculo das reações de apoio das lajes, que se repetem de acordo com essa simetria. A figura 4 mostra a definição das lajes para o cálculo das reações de apoio e as figuras 5 a 12 apresentam as geometrias de cada laje.

Figura 4: Definição das lajes para o cálculo das reações



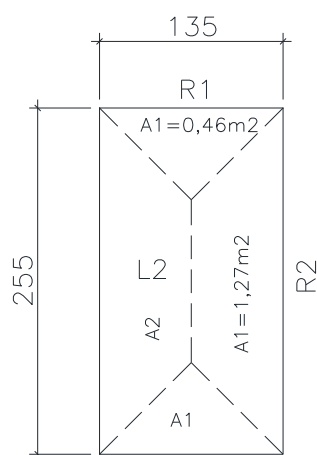
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 5: Geometria da laje L1=L3



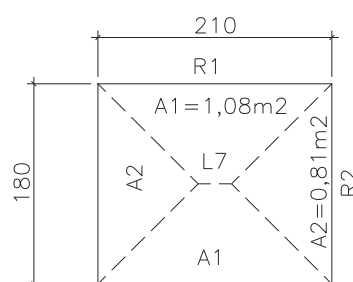
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 6: Geometria da laje L2



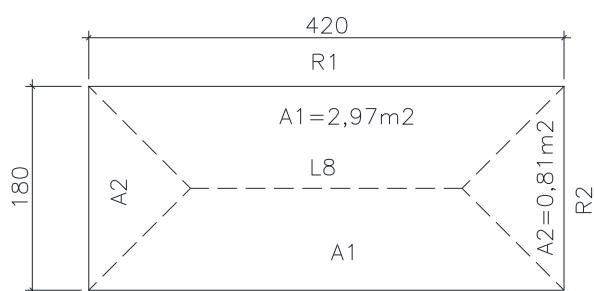
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 7: Geometria da laje L7



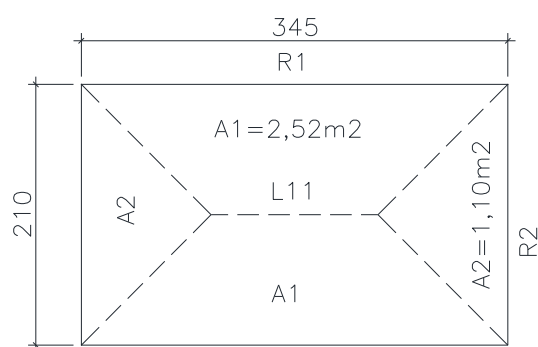
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8: Geometria da laje L8



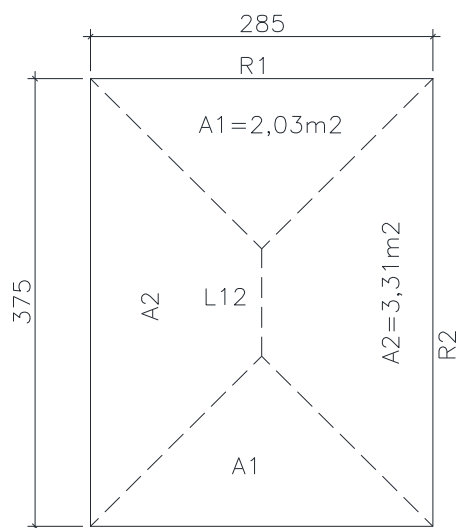
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9: Geometria da laje L11



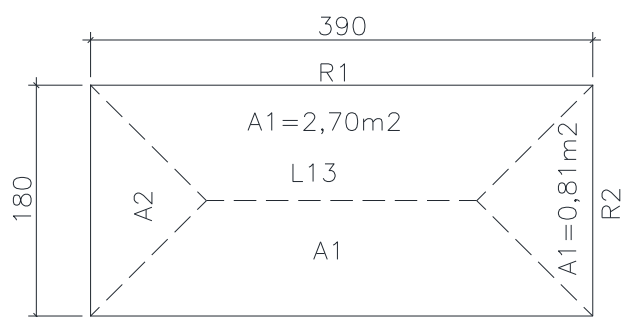
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10: Geometria da laje L12



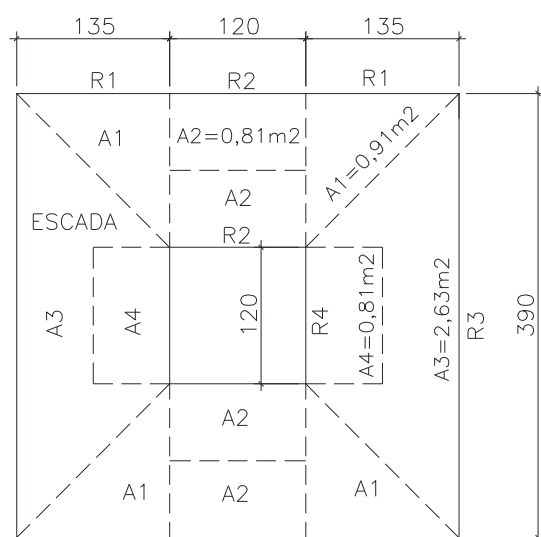
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11: Geometria da laje L13



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12: Geometria da escada



Fonte: elaborado pelo autor.

Definindo as geometrias, foram feitos os cálculos das reações de apoio das lajes sobre as paredes, onde foram obtidos os resultados:

- para a laje L1 = L3:

$$R_1 = \frac{5,0 * 2,77}{3,45} = 4,01 \text{ kN/m}$$

$$R_2 = \frac{5,0 * 1,63}{2,55} = 3,20 \text{ kN/m}$$

- para a laje L2:

$$R_1 = \frac{5,0 * 0,46}{1,35} = 1,70 \text{ kN/m}$$

$$R_2 = \frac{5,0 * 1,27}{2,55} = 2,49 \text{ kN/m}$$

- para as demais lajes, os resultados foram apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Reações das lajes nas paredes de alvenaria estrutural

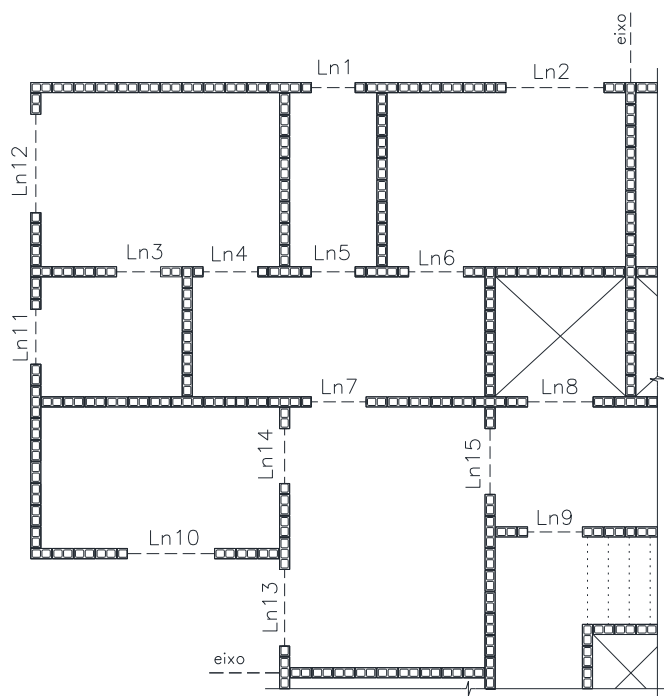
Lajes	Ct (kN/m ²)	A (m ²)		l (m)		Rlaje (kN/m)	
L1 = L3	5,00	A1	2,77	l ₁	3,45	R1	4,01
		A2	1,63	l ₂	2,55	R2	3,20
L2	5,00	A1	0,46	l ₁	1,35	R1	1,70
		A2	1,27	l ₂	2,55	R2	2,49
L7	5,00	A1	1,08	l ₁	2,10	R1	2,57
		A2	0,81	l ₂	1,80	R2	2,25
L8	5,00	A1	2,97	l ₁	4,20	R1	3,54
		A2	0,81	l ₂	1,80	R2	2,25
L11	5,00	A1	2,52	l ₁	3,45	R1	3,65
		A2	1,10	l ₂	2,10	R2	2,62
L12	5,00	A1	2,03	l ₁	2,85	R1	3,56
		A2	3,31	l ₂	3,75	R2	4,41
L13	5,00	A1	2,70	l ₁	3,90	R1	3,46
		A2	0,81	l ₂	1,80	R2	2,25
ESCADA	6,75	A1	0,91	l ₁	1,35	R1	4,56
		A2	0,81	l ₂	1,20	R2	4,56
		A3	2,63	l ₃	3,90	R3	4,56
		A4	0,81	l ₄	1,20	R4	4,56

Fonte: elaborado pelo autor.

6.2 Reações dos lintéis nas paredes estruturais de cada pavimento

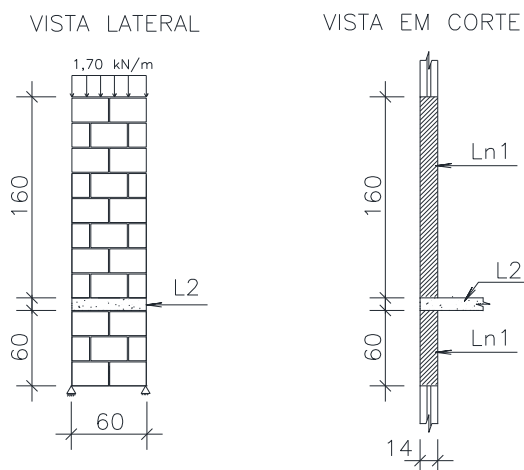
Os lintéis são elementos estruturais de alvenaria que se encontram sobre os vãos das portas e janelas, transferindo os esforços para as paredes vizinhas. A figura 13 mostra a definição dos lintéis para o cálculo das reações de apoio e as figuras 14 a 27 representam suas geometrias.

Figura 13: Definição dos lintéis para o cálculo das reações



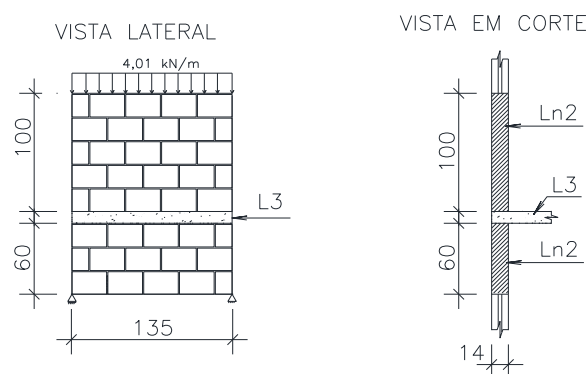
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14: Geometria do lintel Ln1 (60/220)



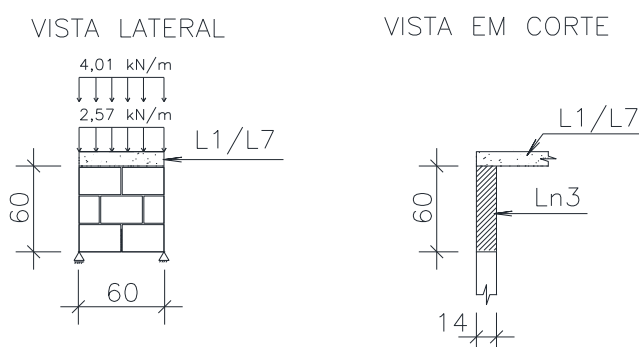
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15: Geometria do lintel Ln2 (135/160)



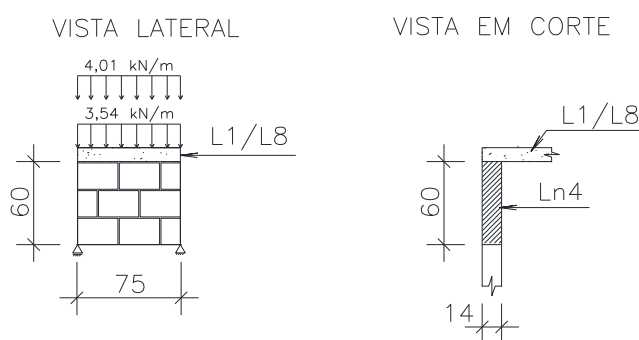
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 16: Geometria do lintel Ln3 (60/60)



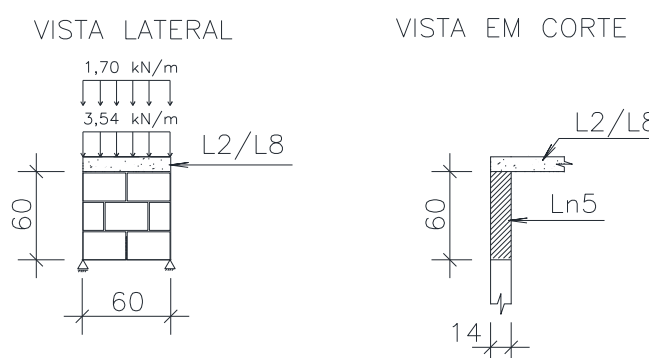
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 17: Geometria do lintel Ln4 = Ln6 (75/60)



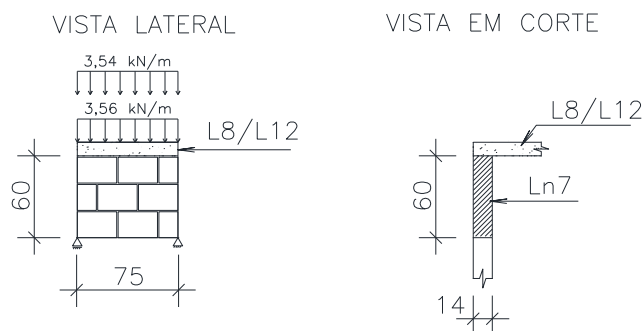
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 18: Geometria do lintel Ln5 (60/60)



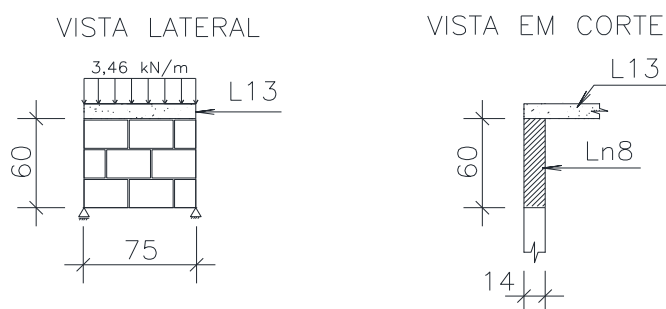
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 19: Geometria do lintel Ln7 (75/60)



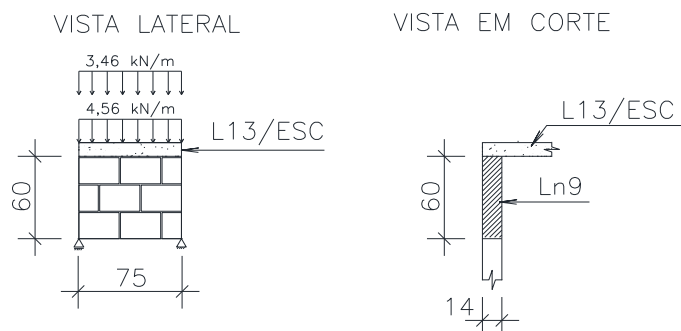
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 20: Geometria do lintel Ln8 (75/60)



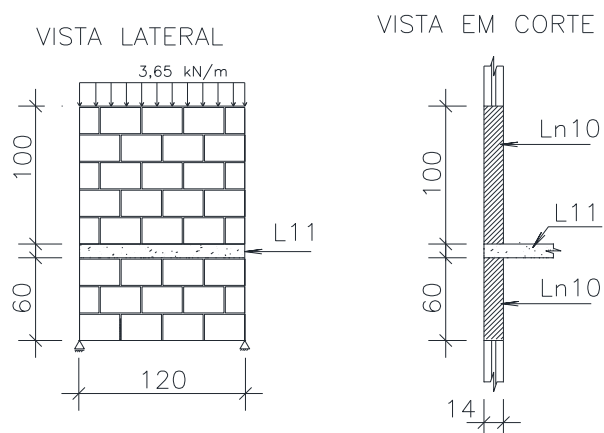
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 21: Geometria do lintel Ln9 (75/60)



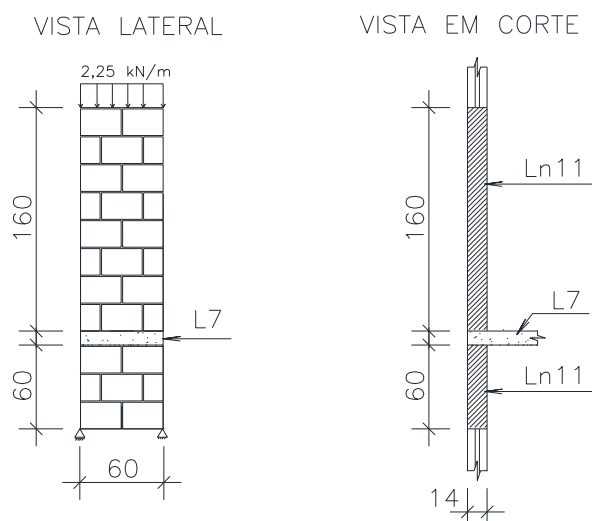
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 22: Geometria do lintel Ln10 (120/160)



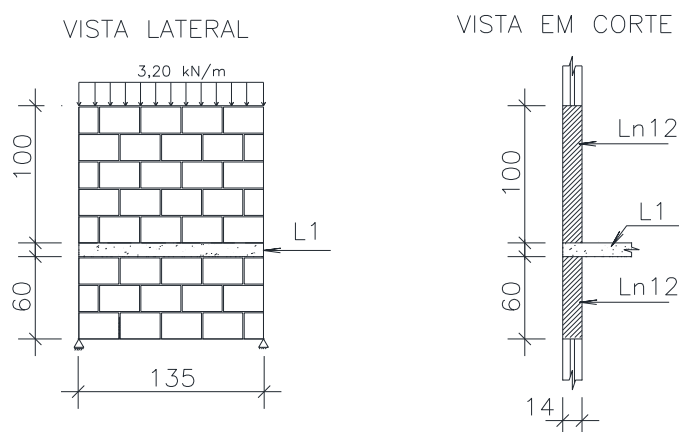
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 23: Geometria do lintel Ln11 (60/220)



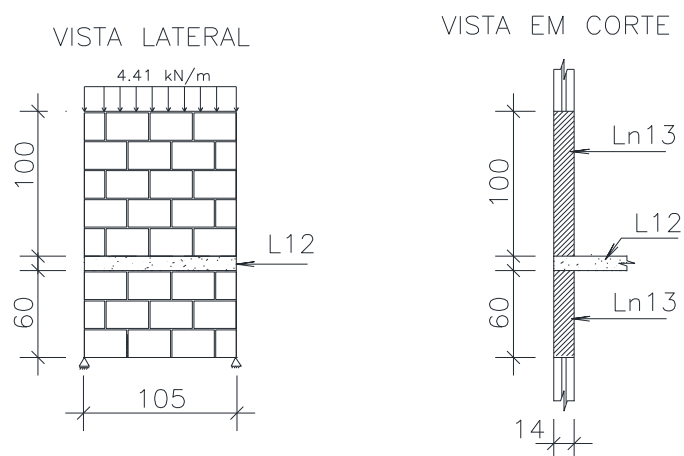
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 24: Geometria do lintel Ln12 (135/160)



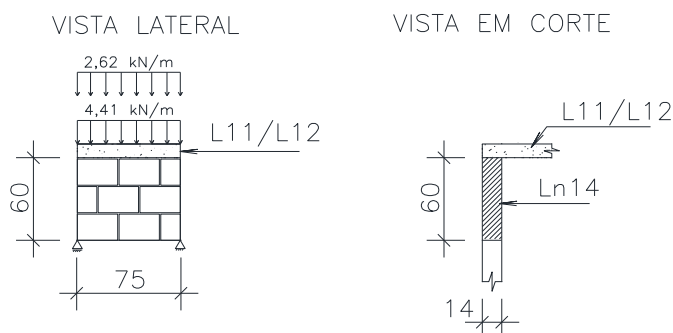
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 25: Geometria do lintel Ln13 (105/160)



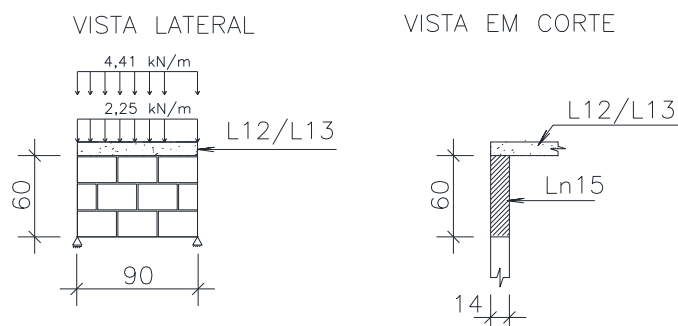
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 26: Geometria do lintel Ln14 (75/60)



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 27: Geometria do lintel Ln15 (90/60)



Fonte: elaborado pelo autor.

Esses elementos são considerados como vigas biapoiadas, tendo suas reações de apoio calculadas por meio da utilização da seguinte fórmula:

$$R_{lin} = \frac{(R_{laje} + PP_{lin}) * l_{lin}}{2}$$

Onde:

- R_{lin} = reação dos lintéis (kN);
- R_{laje} = reação das lajes sobre os lintéis (kN/m);
- PP_{lin} = peso próprio dos lintéis (kN/m);
- l_{lin} = comprimento dos lintéis (m).

Como as paredes são de 14 cm de espessura, compostas por bloco vazado de concreto sem revestimento, pode-se considerar seu peso específico de 14 kN/m³. Com isso, o peso próprio dos lintéis (PP_{lin}) é dado por:

$$PP_{lin} = \text{base} * \text{altura} * 14 \text{ kN/m}^3$$

Com a aplicação dessas fórmulas para o cálculo das reações de apoio dos lintéis sobre as paredes, foram obtidos os resultados:

- para o lintel Ln1:

$$R_{lin} = \frac{(1,70 + 0,14 * 2,20 * 14) * 0,60}{2} = 1,80 \text{ kN}$$

- para o lintel Ln2:

$$R_{lin} = \frac{(4,01 + 0,14 * 1,60 * 14) * 1,35}{2} = 4,83 \text{ kN}$$

- para o lintel Ln3:

$$R_{lin} = \frac{(4,01 + 2,57 + 0,14 * 0,60 * 14) * 0,60}{2} = 2,33 \text{ kN}$$

- para os demais lintéis, os resultados foram apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Reações dos lintéis nas paredes de alvenaria estrutural

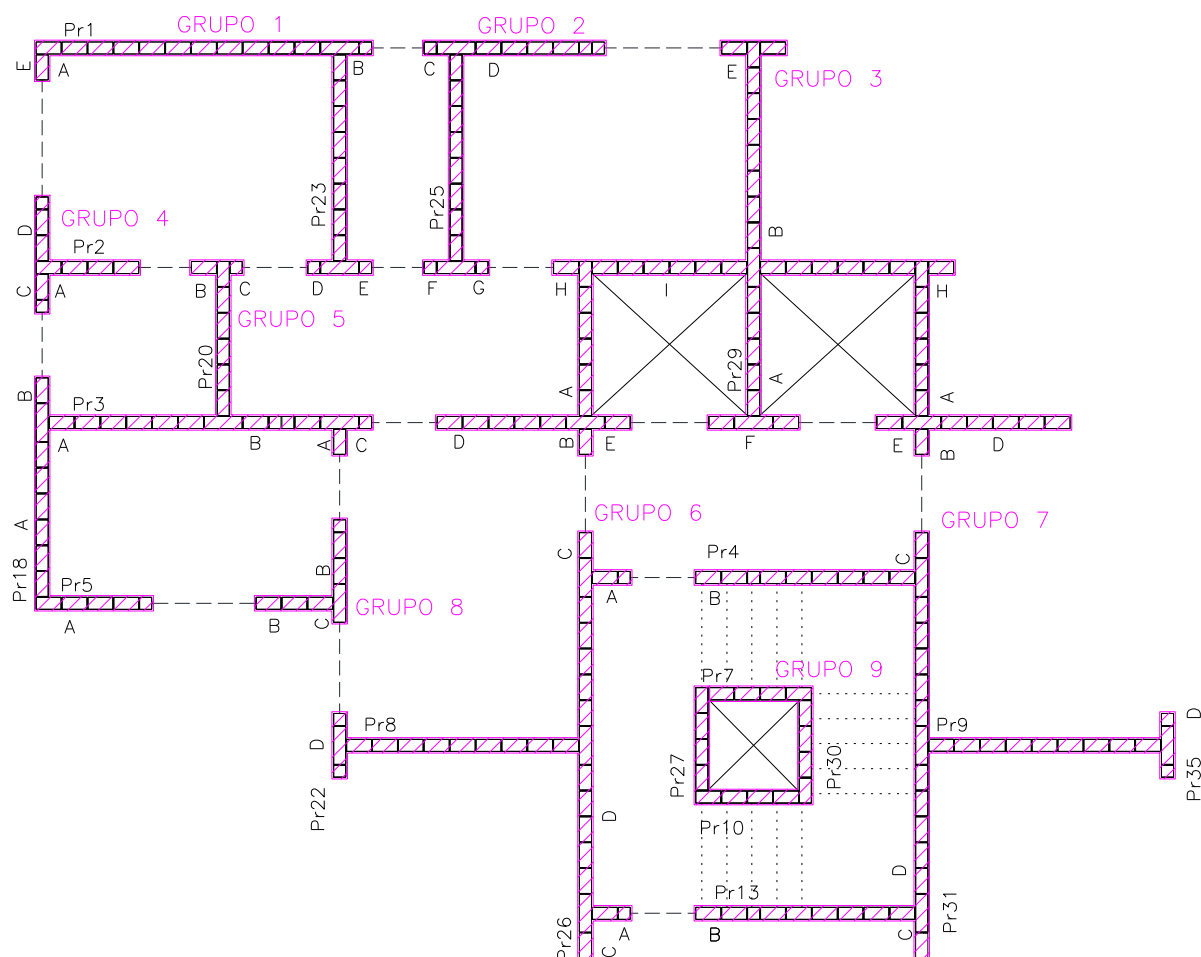
Lintéis	Base (m)	Altura (m)	l _{lin} (m)	PP _{lin} (KN/m)	R _{laje} (KN/m)		C _t (KN/m)	R _{lin} (KN)
Ln1	0,14	2,20	0,60	4,31	R _{1L2}	1,70	6,02	1,80
Ln2	0,14	1,60	1,35	3,14	R _{1L3}	4,01	7,15	4,83
Ln3	0,14	0,60	0,60	1,18	R _{1L1}	4,01	7,76	2,33
					R _{1L7}	2,57		
Ln4=Ln6	0,14	0,60	0,75	1,18	R _{1L1}	4,01	8,73	3,27
					R _{1L8}	3,54		
Ln5	0,14	0,60	0,60	1,18	R _{1L2}	1,70	6,42	1,92
					R _{1L8}	3,54		
Ln7	0,14	0,60	0,75	1,18	R _{1L8}	3,54	8,27	3,10
					R _{1L12}	3,56		
Ln8	0,14	0,60	0,75	1,18	R _{1L13}	3,46	4,64	1,74
Ln9	0,14	0,60	0,75	1,18	R _{1L13}	3,46	9,19	3,45
					R _{1esc}	4,56		
Ln10	0,14	1,60	1,20	3,14	R _{1L11}	3,65	6,79	4,07
Ln11	0,14	2,20	0,60	4,31	R _{2L7}	2,25	6,56	1,97
Ln12	0,14	1,60	1,35	3,14	R _{2L1}	3,20	6,33	4,27
Ln13	0,14	1,60	1,05	3,14	R _{2L12}	4,41	7,55	3,96
Ln14	0,14	0,60	0,75	1,18	R _{2L11}	2,62	8,21	3,08
					R _{2L12}	4,41		
Ln15	0,14	0,60	0,90	1,18	R _{2L12}	4,41	7,84	3,53
					R _{2L13}	2,25		

Fonte: elaborado pelo autor.

6.3 Definição dos grupos isolados de paredes

Conforme mencionado no item 5.5 deste trabalho, no modelo de cálculo adotado faz-se necessária a definição dos grupos isolados de paredes, que consistem nos conjuntos de paredes delimitados pelas aberturas de portas e janelas. Para a determinação dos grupos, foi feita uma subdivisão das paredes levando em consideração as aberturas e as reações de apoio das lajes. A figura 28 apresenta a definição dos grupos isolados de paredes.

Figura 28: Definição dos grupos isolados de paredes



Fonte: elaborado pelo autor.

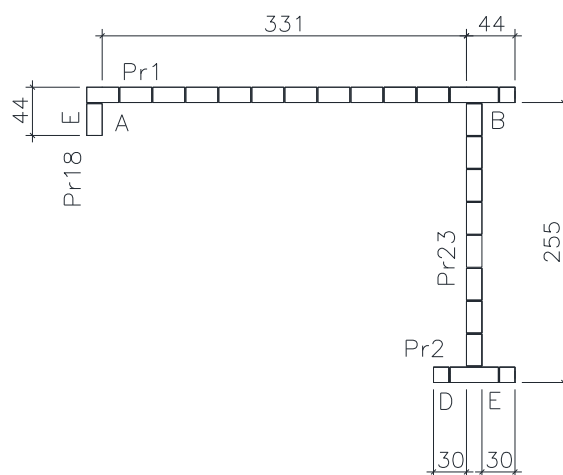
Como o edifício em estudo é simétrico nas duas direções, foi representada apenas uma parte da estrutura, formando 9 grupos isolados de paredes que se repetem de acordo com a simetria. As definições dos grupos foram descritas na tabela 3 e representadas nas figuras 29 a 37.

Tabela 3: Componentes e repetições dos grupos isolados de paredes

Grupo	Paredes	Repetição
1	Pr1A, Pr1B, Pr2D, Pr2E, Pr18E e Pr23	4
2	Pr1C, Pr1D, Pr2F, Pr2G e Pr25	4
3	Pr1E, Pr2H, Pr2I, Pr2H, Pr3D, Pr3E, Pr3F, Pr3E, Pr3D, Pr26B, Pr26A, Pr29A, Pr29B, Pr31B e Pr31A	2
4	Pr2A, Pr18C e Pr18D	4
5	Pr2B, Pr2C, Pr3A, Pr3B, Pr3C, Pr5A, Pr18A, Pr18B, Pr20 e Pr22A	4
6	Pr4A, Pr8, Pr13A, Pr22D, Pr26C, Pr26D e Pr26C	1
7	Pr4B, Pr9, Pr13B, Pr31C, Pr31D, Pr31C e Pr35D	1
8	Pr5B, Pr22C e Pr22B	4
9	Pr7, Pr10, Pr27 e Pr30	1

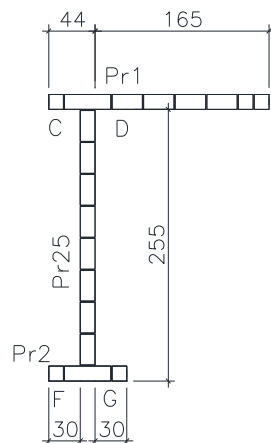
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 29: Grupo 1



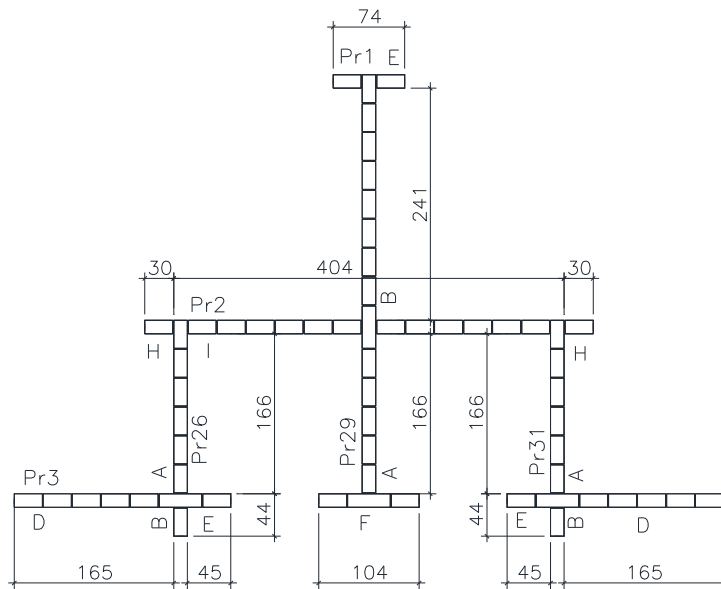
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30: Grupo 2



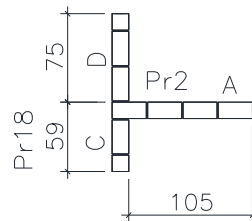
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31: Grupo 3



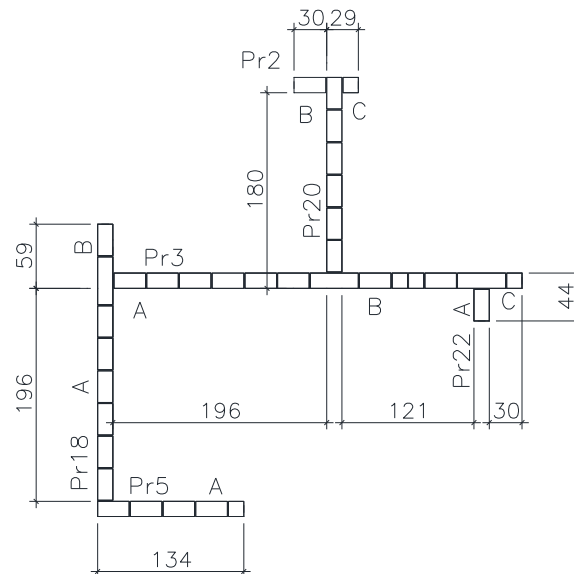
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32: Grupo 4



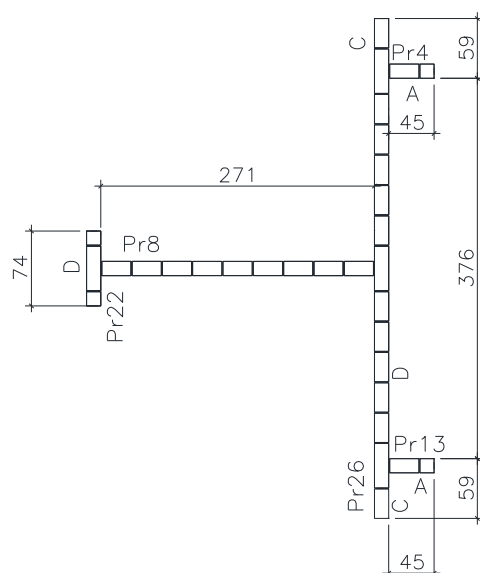
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33: Grupo 5



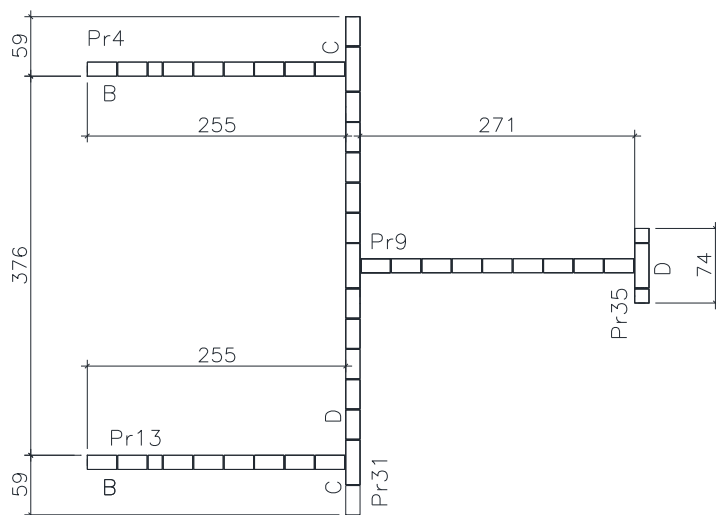
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34: Grupo 6



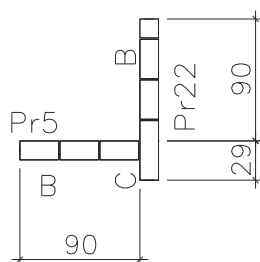
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 35: Grupo 7



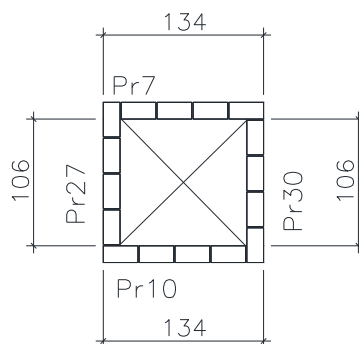
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36: Grupo 8



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37: Grupo 9



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.4 Esforços verticais atuantes nos grupos isolados de paredes

Os esforços verticais atuantes nos grupos isolados de paredes são a somatória do peso próprio das paredes com as reações de apoio das lajes e dos lintéis. Para entrar nesse somatório, as reações de apoio dos lintéis (R_{lin}) são distribuídas linearmente ao longo dos comprimentos das paredes que se apoiam (l_{pr}), sendo dados por:

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

Como as paredes possuem espessura de 0,14 m, pé-direito livre de 2,80 m e o peso específico de 14 kN/m³ (item 8.3.1.1 da NBR 16868-1:2020), seu peso próprio é dado por:

$$PP_{pr} = 0,14 * 2,80 * 14 = 5,49 \text{ KN/m}$$

Para a determinação das tensões normais devido às cargas verticais, primeiro foram definidas as reações totais (R_{pr}) nas paredes por meio do somatório do peso próprio das paredes com as reações das lajes e lintéis (tabela 4); depois foram definidas as cargas verticais totais ($C_{g,tot}$) e distribuídas ($C_{g,dist}$) nos grupos em função das cargas verticais (C_{pr}), obtidas pela multiplicação dos comprimentos e reações das paredes (tabelas 5 e 6); em seguida foi feito um resumo de esforços nos grupos para um pavimento (tabela 7); e por fim foram apresentadas as tensões acumuladas nos grupos de paredes do primeiro pavimento (tabela 8). Com isso, os resultados obtidos foram:

- para o Grupo 1:

- Pr1A: $l_{pr} = 3,31 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 4,01 = 9,50 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 9,50 * 3,31 = 31,45 \text{ kN}$$

- Pr1B: $l_{pr} = 0,44 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 1,70 + \frac{1,80}{0,44} = 11,29 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 11,29 * 0,44 = 4,97 \text{ kN}$$

- Pr2D: $l_{pr} = 0,30 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 7,55 + \frac{3,27}{0,30} = 23,95 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 23,95 * 0,30 = 7,18 \text{ kN}$$

- Pr2E: $l_{pr} = 0,30 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 5,24 + \frac{1,92}{0,30} = 17,14 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 17,14 * 0,30 = 5,14 \text{ kN}$$

- Pr18E: $l_{pr} = 0,44 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 3,20 + \frac{4,27}{0,44} = 18,40 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 18,40 * 0,44 = 8,10 \text{ kN}$$

- Pr23: $l_{pr} = 2,55 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 5,69 = 11,17 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 11,17 * 2,55 = 28,49 \text{ kN}$$

$$l_g = 3,31 + 0,44 + 0,30 + 0,30 + 0,44 + 2,55 = 7,34 \text{ m}$$

$$C_{g, \text{ tot, tipo}} = 31,45 + 4,97 + 7,18 + 5,14 + 8,10 + 28,49 = 85,34 \text{ kN}$$

$$C_{g, \text{ dis}} = \frac{85,34}{7,34} = 11,63 \text{ kN/m}$$

Tensão normal devido aos esforços verticais:

$$\sigma_{\text{nor, Vert, tipo}} = \frac{11,63}{0,14} = 83,07 \text{ kN/m}^2 = 0,083 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{nor, Vert, 1ª pav}} = 0,083 * 10 = 0,830 \text{ MPa}$$

- para o Grupo 6:

- Pr4A=Pr13A (2x): $l_{pr} = 0,45 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 3,46 + 4,56 + \frac{3,45}{0,45} = 21,17 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 21,17 * 0,45 = 9,53 \text{ kN}$$

- Pr8: $l_{pr} = 2,71 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 3,56 + 3,56 = 14,11 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 14,11 * 2,71 = 38,25 \text{ kN}$$

- Pr22D: $l_{pr} = 0,74 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 4,41 + \frac{3,96 * 2}{0,74} = 20,61 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 20,61 * 0,74 = 15,25 \text{ kN}$$

- Pr26C (2x): $l_{pr} = 0,59 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 4,41 + 2,25 + \frac{3,53}{0,59} = 18,13 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 18,13 * 0,59 = 10,70 \text{ kN}$$

- Pr26D: $l_{pr} = 3,76 \text{ m}$

$$R_{pr} = 5,49 + 4,41 + 4,56 = 14,46 \text{ kN/m}$$

$$C_{pr} = 14,46 * 3,76 = 54,36 \text{ kN}$$

$$l_g = 0,45 * 2 + 2,71 + 0,74 + 0,59 * 2 + 3,76 = 9,29 \text{ m}$$

$$C_{g, \text{ tot, tipo}} = 9,53 * 2 + 38,25 + 15,25 + 10,70 * 2 + 54,36 = 148,31 \text{ kN}$$

$$C_{g, \text{ dis}} = \frac{148,31}{9,29} = 15,96 \text{ kN/m}$$

Tensão normal devido aos esforços verticais:

$$\sigma_{\text{nor, Vert, tipo}} = \frac{15,96}{0,14} = 114,03 \text{ kN/m}^2 = 0,114 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{nor, Vert, 1º pav}} = 0,114 * 10 = 1,140 \text{ MPa}$$

- Para os demais grupos: a tabela 4 apresenta as reações totais de cada parede; as tabelas 5 e 6 apresentam as cargas totais distribuídas de cada grupo; a tabela 7 apresenta o resumo dos esforços atuantes nos grupos; e a tabela 8 apresenta os resultados das tensões normais nos grupos de paredes do primeiro pavimento.

Tabela 4: Somatório dos esforços verticais nas paredes

Paredes	l _{pr} (m)	PP _{pr} (kN/m)	R _{laje} (kN/m)		R _{lin,dist} (kN/m)		R _{pr} (kN/m)
Pr1A	3,31	5,49	R1L1	4,01	-	0,00	9,50
Pr1B=Pr1C	0,44	5,49	R1L2	1,70	Ln1	4,10	11,29
Pr1D	1,65	5,49	R1L3	4,01	Ln2	2,93	12,43
Pr1E	0,74	5,49	R1L3	4,01	Ln2 + Ln2	13,04	22,55
Pr2A	1,05	5,49	R1L1+R1L7	6,59	Ln3	2,22	14,29
Pr2B	0,30	5,49	R1L1+R1L7	6,59	Ln3	7,76	19,84
Pr2C	0,29	5,49	R1L1+R1L8	7,55	Ln4	11,28	24,32
Pr2D=Pr2G=Pr2H	0,30	5,49	R1L1+R1L8	7,55	Ln4	10,91	23,95
Pr2E=Pr2F	0,30	5,49	R1L2+R1L8	5,24	Ln5	6,42	17,14
Pr2I	4,04	5,49	R1L3	4,01	-	0,00	9,50
Pr3A	1,96	5,49	R1L7+R1L11	6,22	-	0,00	11,71
Pr3B	1,21	5,49	R1L8+R1L11	7,19	-	0,00	12,68
Pr3C	0,30	5,49	R1L8+R1L12	7,10	Ln7	10,34	22,93
Pr3D	1,65	5,49	R1L8+R1L12	7,10	Ln7	1,88	14,47
Pr3E	0,45	5,49	R1L13	3,46	Ln8	3,86	12,81
Pr3F	1,04	5,49	R1L13	3,46	Ln8+Ln8	3,34	12,29
Pr4A=Pr13A	0,45	5,49	R1L13+R1 _{esc}	8,02	Ln9	7,66	21,17
Pr4B=Pr13B	2,55	5,49	R1L13+R2 _{esc}	8,02	Ln9	1,35	14,86
Pr5A	1,34	5,49	R1L11	3,65	Ln10	3,04	12,18
Pr5B	0,90	5,49	R1L11	3,65	Ln10	4,53	13,67
Pr7=Pr10	1,34	5,49	R2 _{esc}	4,56	-	3,04	13,08
Pr8=Pr9	2,71	5,49	R1L12+R1L12	7,12	-	1,50	14,11
Pr18A	1,96	5,49	R2L11	2,62	-	0,00	8,11
Pr18B=Pr18C	0,59	5,49	R2L7	2,25	Ln11	3,34	11,07
Pr18D	0,75	5,49	R2L1	3,20	Ln12	5,70	14,38
Pr18E	0,44	5,49	R2L1	3,20	Ln12	9,71	18,40
Pr20	1,80	5,49	R2L7+R2L8	4,50	-	0,00	9,99
Pr22D=Pr35D	0,74	5,49	R2L12	4,41	Ln13+Ln13	10,71	20,61
Pr22C	0,29	5,49	R2L12	4,41	Ln13	13,67	23,57
Pr22B	0,90	5,49	R2L11+R2L12	7,03	Ln14	3,42	15,94
Pr22A	0,44	5,49	R2L11+R2L12	7,03	Ln14	7,00	19,52
Pr23=Pr25	2,55	5,49	R2L1+R2L2	5,69	-	0,00	11,17
Pr26C=Pr31C	0,59	5,49	R2L12+R2L13	6,66	Ln15	5,98	18,13
Pr26D=Pr31D	3,76	5,49	R2L12+R3 _{esc}	8,97	-	0,00	14,46
Pr26B=Pr31B	0,44	5,49	R2L12+R2L13	6,66	Ln15	8,02	20,17
Pr26A=Pr31A	1,66	5,49	R2L8	2,25	-	0,00	7,74
Pr27=Pr30	1,06	5,49	R4 _{esc}	4,56	-	0,00	10,04
Pr29A	1,66	5,49	-	0,00	-	0,00	5,49
Pr29B	2,41	5,49	R2L3+R2L3	6,39	-	0,00	11,88

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5: Esforços verticais nos grupos de 1 a 4

Grupo	Paredes	l_{pr} (m)	R_{pr} (kN/m)	C_{pr} (kN)	l_g (m)	$C_{g,tot}$ (kN)	$C_{g,dist}$ (kN/m)
1	Pr1A	3,31	9,50	31,45	7,34	85,34	11,63
	Pr1B	0,44	11,29	4,97			
	Pr2D	0,30	23,95	7,18			
	Pr2E	0,30	17,14	5,14			
	Pr18E	0,44	18,40	8,10			
	Pr23	2,55	11,17	28,49			
2	Pr1C	0,44	11,29	4,97	5,24	66,30	12,65
	Pr1D	1,65	12,43	20,51			
	Pr2F	0,30	17,14	5,14			
	Pr2G	0,30	23,95	7,18			
	Pr25	2,55	11,17	28,49			
3	Pr1E	0,74	22,55	16,69	18,89	222,68	11,79
	Pr2H	0,30	23,95	7,18			
	Pr2I	4,04	9,50	38,39			
	Pr2H	0,30	23,95	7,18			
	Pr3D	1,65	14,47	23,87			
	Pr3E	0,45	12,81	5,77			
	Pr3F	1,04	12,29	12,79			
	Pr3E	0,45	12,81	5,77			
	Pr3D	1,65	14,47	23,87			
	Pr26B	0,44	20,17	8,87			
	Pr26A	1,66	7,74	12,85			
	Pr29A	1,66	5,49	9,11			
	Pr29B	2,41	11,88	28,63			
	Pr31B	0,44	20,17	8,87			
	Pr31A	1,66	7,74	12,85			
4	Pr2A	1,05	14,29	15,01	2,39	32,33	13,53
	Pr18C	0,59	11,07	6,53			
	Pr18D	0,75	14,38	10,79			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 6: Esforços verticais nos grupos de 5 a 9

Grupo	Paredes	l_{pr} (m)	R_{pr} (kN/m)	C_{pr} (kN)	l_g (m)	$C_{g,tot}$ (kN)	$C_{g,dist}$ (kN/m)
5	Pr2B	0,30	19,84	5,95	10,19	123,48	12,12
	Pr2C	0,29	24,32	7,05			
	Pr3A	1,96	11,71	22,95			
	Pr3B	1,21	12,68	15,34			
	Pr3C	0,30	22,93	6,88			
	Pr5A	1,34	12,18	16,32			
	Pr18A	1,96	8,11	15,89			
	Pr18B	0,59	11,07	6,53			
	Pr20	1,80	9,99	17,98			
	Pr22A	0,44	19,52	8,59			
6	Pr4A	0,45	21,17	9,53	9,29	148,31	15,96
	Pr8	2,71	14,11	38,25			
	Pr13A	0,45	21,17	9,53			
	Pr22D	0,74	20,61	15,25			
	Pr26C	0,59	18,13	10,70			
	Pr26D	3,76	14,46	54,36			
	Pr26C	0,59	18,13	10,70			
7	Pr4B	2,55	14,86	37,89	13,49	205,03	15,20
	Pr9	2,71	14,11	38,25			
	Pr13B	2,55	14,86	37,89			
	Pr31C	0,59	18,13	10,70			
	Pr31D	3,76	14,46	54,36			
	Pr31C	0,59	18,13	10,70			
	Pr35D	0,74	20,61	15,25			
8	Pr5B	0,90	13,67	12,30	2,09	33,48	16,02
	Pr22C	0,29	23,57	6,83			
	Pr22B	0,90	15,94	14,35			
9	Pr7	1,34	13,08	17,53	4,80	56,36	11,74
	Pr10	1,34	13,08	17,53			
	Pr27	1,06	10,04	10,65			
	Pr30	1,06	10,04	10,65			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 7: 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)	$\sigma_{nor,Vert}$ (MPa)
1	4	7,34	11,63	85,34	341,35	0,083
2	4	5,24	12,65	66,30	265,18	0,090
3	2	18,89	11,79	222,68	445,35	0,084
4	4	2,39	13,53	32,33	129,31	0,097
5	4	10,19	12,12	123,48	493,94	0,087
6	1	9,29	15,96	148,31	148,31	0,114
7	1	13,49	15,20	205,03	205,03	0,109
8	4	2,09	16,02	33,48	133,92	0,114
9	1	4,80	11,74	56,36	56,36	0,084

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8: Tensões verticais acumuladas nas paredes do primeiro pavimento

Grupo	$C_{g,tot}$ (kN)	Tensão Normal (MPa)	Nº de Pavimentos	$C_{g,1^o pav}$ (kN)	$\sigma_{nor,Vert}$ (MPa)
1	85,34	0,08	10	853,38	0,830
2	66,30	0,09		662,96	0,904
3	222,68	0,08		2.226,77	0,842
4	32,33	0,10		323,27	0,966
5	123,48	0,09		1.234,85	0,866
6	148,31	0,11		1.483,07	1,140
7	205,03	0,11		2.050,31	1,086
8	33,48	0,11		334,80	1,144
9	56,36	0,08		563,58	0,839

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.5 Esforços horizontais atuantes na estrutura

Os esforços horizontais atuantes no edifício consistem nas forças do vento e do desaprumo da estrutura. Para a determinação desses esforços, foram seguidas as orientações apresentadas pela NBR 6123:2023 e pela NBR 16868:2020.

Para o cálculo dos esforços devido ao vento em cada pavimento, é preciso determinar a pressão dinâmica (q), a área frontal efetiva (A_e) e o coeficiente de arrasto (C_a) para as direções X (0° e 180°) e Y (90° e 270°) de atuação do vento. De acordo com a NBR 6123:2023, para o projeto em estudo, a rugosidade do terreno é de categoria III (terreno plano) e o edifício é de classe B (maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 e 50 m).

A pressão dinâmica é calculada em função da velocidade característica do vento, sendo obtida pela fórmula:

$$q = 0,613 * V_k^2 \text{ (item 4.2 da NBR 6123:2023).}$$

A velocidade característica do vento é dada por:

$$V_k = V_0 * S_1 * S_2 * S_3 \text{ (item 4.2 da NBR 6123:2023)}$$

Onde:

- $V_0 = 31,0$ m/s para um edifício situado em Belo Horizonte – MG (figura 1 da NBR 6123:2023);
- $S_1 = 1,0$ para terreno plano (item 5.2 da NBR 6123:2023);
- $S_2 = b_m * F_r * (z/10)^p$ (item 5.3.3 da NBR 6123:2023¹)
- $S_3 = 1,0$ para edifício residencial (item 5.4 da NBR 6123:2023).

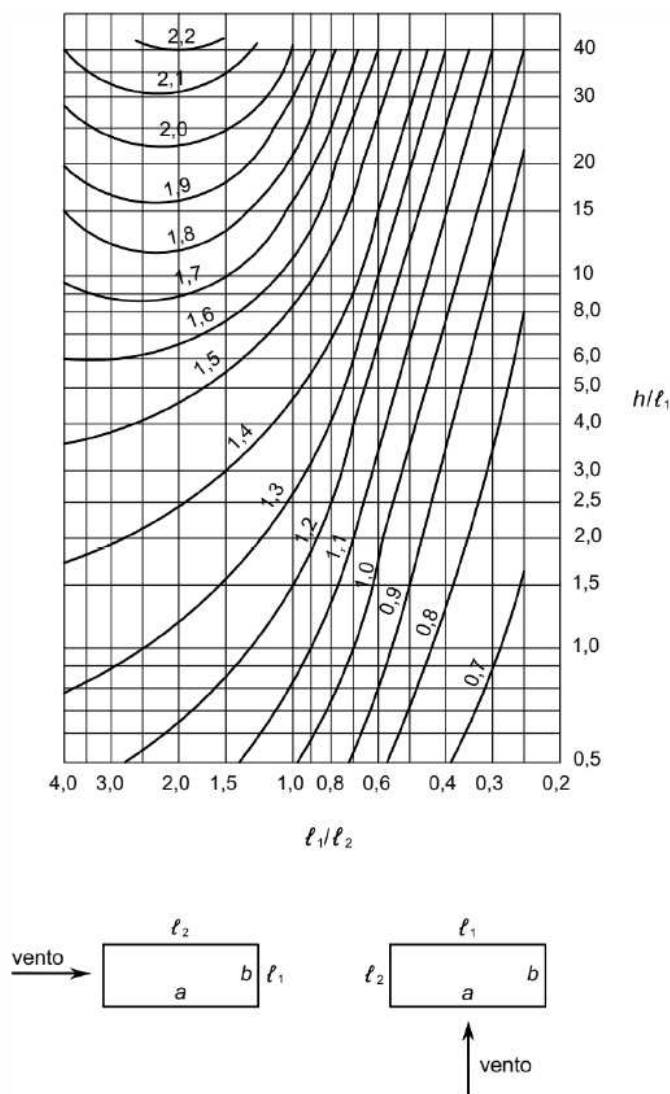
A área frontal efetiva, segundo a NBR 6123:2023, consiste na projeção ortogonal da estrutura sobre o plano perpendicular à atuação do vento. Como a seção do pavimento tipo tem o comprimento de 16,64 m na direção X e 16,34 m na direção Y, a área frontal efetiva nas direções X e Y são:

- Direção X: $A_e = 2,90 * 16,34 = 47,39 \text{ m}^2$
- Direção Y: $A_e = 2,90 * 16,64 = 48,26 \text{ m}^2$

O coeficiente de arrasto (C_a) das direções X e Y, seguindo as recomendações do item 6.3 da NBR 6123:2023, foram definidos a partir do gráfico da figura 38, em função das relações L_1/L_2 e H/L_1 para cada direção de atuação do vento (conforme tabela 9). Foi utilizado o gráfico de do coeficiente de arrasto para o vento de baixa turbulência com o intuito de obter os esforços horizontais mais a favor da segurança da estrutura.

¹De acordo com a Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos e Tabela 2 – Fator de rajada, na página 15 da NBR 6123:2023: $b_m = 0,94$; $F_r = 0,98$; e $p = 0,105$ para a categoria III e classe B.

Figura 38: Gráfico de coeficiente de arrasto para vento de baixa turbulência



Fonte: NBR 6123:2023, página 28.

Tabela 9: Coeficiente de arrasto das direções X e Y

Direção	L_1	L_2	H	L_1/L_2	H/L_1	C_a
X	16,34	16,64	29,00	0,98	1,77	1,22
Y	16,64	16,34	29,00	1,02	1,74	1,23

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com isso, foi possível então determinar os valores dos esforços vento (F_a), nas direções X e Y para cada pavimento, utilizando a equação:

$$F_a = C_a * q * A_e * f_v \text{ (item 4.2.3 da NBR 6123:2023).}$$

- onde $f_v = 1,0$, sendo o fator de vizinhança especificado no item 6.4 da NBR 6123:2023.

Os resultados obtidos para esses esforços foram:

- para o primeiro pavimento:

$$S_2 = 0,94 * 0,98 * \left(\frac{2,90}{10}\right)^{0,105} = 0,809$$

$$V_k = 31 * 1 * 0,809 * 1 = 25,08 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 * 25,08^2 = 385,47 \text{ N/m}^2$$

$$F_{a,X} = 1,22 * 385,47 * 47,39 * 1,0 = 22.284,62 \text{ N} = 22,28 \text{ kN}$$

$$F_{a,Y} = 1,23 * 385,47 * 48,26 * 1,0 = 22.879,77 \text{ N} = 22,88 \text{ kN}$$

- para o segundo pavimento:

$$S_2 = 0,94 * 0,98 * \left(\frac{5,8}{10}\right)^{0,105} = 0,870$$

$$V_k = 31 * 1 * 0,870 * 1 = 26,97 \text{ m/s}$$

$$q = 0,613 * 26,97^2 = 445,87 \text{ N/m}^2$$

$$F_{a,X} = 1,22 * 445,87 * 47,39 * 1,0 = 25.776,35 \text{ N} = 25,78 \text{ kN}$$

$$F_{a,Y} = 1,23 * 445,87 * 48,26 * 1,0 = 26.464,76 \text{ N} = 26,46 \text{ kN}$$

- para os demais pavimentos, os cálculos foram apresentados na tabela 10.

Tabela 10: Esforços do vento nas direções X e Y em cada pavimento

Trecho	H (m)	S ₂	V _k (m/s)	q (N/m ²)	F _{a,X} (kN)	F _{a,Y} (kN)
1º Pav.	2,90	0,809	25,08	385,47	22,28	22,88
2º Pav.	5,80	0,870	26,97	445,87	25,78	26,46
3º Pav.	8,70	0,908	28,14	485,50	28,07	28,82
4º Pav	11,60	0,936	29,01	515,74	29,82	30,61
5º Pav	14,50	0,958	29,69	540,48	31,25	32,08
6º Pav	17,40	0,976	30,27	561,57	32,47	33,33
7º Pav	20,30	0,992	30,76	580,05	33,53	34,43
8º Pav	23,20	1,006	31,20	596,55	34,49	35,41
9º Pav	26,10	1,019	31,58	611,49	35,35	36,29
10º Pav	29,00	1,030	31,94	625,17	36,14	37,11

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a NBR 16868:2020, deve-se considerar o desaprumo global em edifícios com múltiplos pavimentos. É possível determinar a força horizontal equivalente ao desaprumo (F_d) por meio da determinação do seu ângulo de desaprumo (ϕ) e o peso total do pavimento (ΔP), utilizando a equação: $F_d = \Delta P * \phi$.

O peso total do pavimento foi calculado na tabela 11 a partir das cargas dos grupos isolados de paredes determinadas na tabela 7 do item 6.4 deste trabalho. O ângulo de desaprumo foi calculado por meio da seguinte formula:

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

Tabela 11: Peso total de um pavimento

Grupo	Repetição	Carga Total (kN)	Carga x Repetição (kN)	ΔP (kN)
1	4	85,34	341,35	2.218,76
2	4	66,30	265,18	
3	2	222,68	445,35	
4	4	32,33	129,31	
5	4	123,48	493,94	
6	1	148,31	148,31	
7	1	205,03	205,03	
8	4	33,48	133,92	
9	1	56,36	56,36	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a aplicação da fórmula, foi possível determinar o valor da força horizontal equivalente ao desaprumo como sendo:

$$F_d = \Delta P * \phi = 2.218,76 * 0,00186 = 4,12 \text{ kN}$$

Com a determinação dos esforços devidos ao vento e ao desaprumo, foi possível determinar os esforços horizontais totais nas direções X e Y em cada pavimento da estrutura, conforme tabela 12.

Tabela 12: Esforços horizontais nas direções X e Y em cada pavimento

Trecho	H (m)	F _{ax} (kN)	F _{ay} (kN)	F _d (kN)	ESFORÇOS TOTAIS	
					F _x (kN)	F _y (kN)
1º Pav.	2,90	22,28	22,88	4,12	26,40	27,00
2º Pav.	5,80	25,78	26,46	4,12	29,90	30,58
3º Pav.	8,70	28,07	28,82	4,12	32,19	32,94
4º Pav.	11,60	29,82	30,61	4,12	33,94	34,73
5º Pav.	14,50	31,25	32,08	4,12	35,37	36,20
6º Pav.	17,40	32,47	33,33	4,12	36,59	37,45
7º Pav.	20,30	33,53	34,43	4,12	37,65	38,55
8º Pav.	23,20	34,49	35,41	4,12	38,61	39,53
9º Pav.	26,10	35,35	36,29	4,12	39,47	40,41
10º Pav.	29,00	36,14	37,11	4,12	40,26	41,23

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6 Tensões verticais e horizontais nos pórticos da direção X e Y

6.6.1 Determinação do vão dos lintéis semiflexíveis

Seguindo as recomendações da NBR 16868:2020, os lintéis são calculados como vigas biapoiadas com os vãos correspondentes à distância entre os centros de gravidade das paredes, onde seus trechos flexíveis (L_{lin}) mínimos correspondem ao vão livre entre os grupos de paredes mais dois terços da altura do lintel, e seus trechos rígidos correspondem ao restante do vão. Levando essas considerações, foram definidos os trechos flexíveis mínimos de cada lintel:

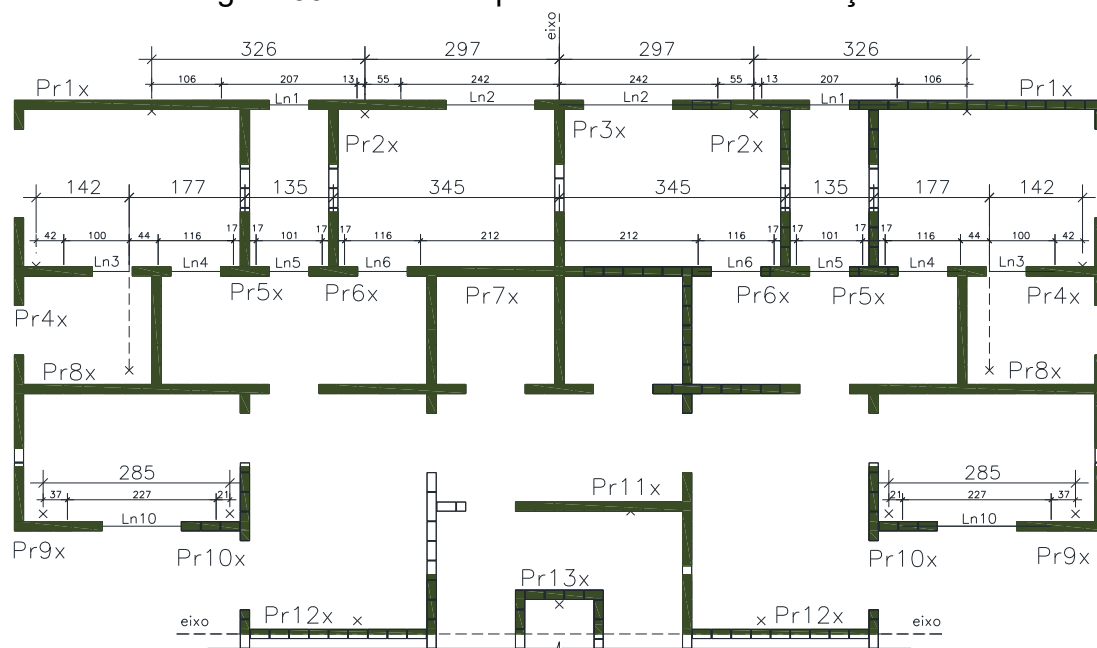
- Lin1 = Lin11 (60x220): $L_{lin} = 60 + 220 * 2/3 = 206,67$ cm;
- Lin2 = Lin12 (135x160): $L_{lin} = 135 + 160 * 2/3 = 241,67$ cm;
- Lin3 = Lin5 (60x60): $L_{lin} = 60 + 60 * 2/3 = 100,00$ cm;
- Lin4=Lin6=Lin7=Lin8=Lin9=Lin14 (75x60): $L_{lin} = 75 + 60 * 2/3 = 115$ cm;
- Lin10 (120x160): $L_{lin} = 120 + 160 * 2/3 = 226,67$ cm;
- Lin13 (105x160): $L_{lin} = 105 + 160 * 2/3 = 211,67$ cm;
- Lin15 (90x60): $L_{lin} = 90 + 60 * 2/3 = 130$ cm;

6.6.2 Tensões devido aos esforços horizontais na direção X (0° e 180°)

Para a determinação das tensões devido aos esforços horizontais atuantes nas paredes utilizando o modelo de pórtico plano, é necessário o auxílio de um *software* apropriado para a extração dos esforços. No caso deste trabalho, foi utilizado o *software Ftool*, que aponta os esforços solicitantes do primeiro pavimento a partir da definição das propriedades dos materiais e a geometria das paredes.

A figura 39 mostra os pórticos e as paredes isoladas da estrutura, resistentes aos esforços horizontais da direção X, onde foram consideradas as paredes com abas de comprimento máximo igual a seis vezes sua espessura e os pórticos formados pelas ligações das paredes por meio dos lintéis semiflexíveis.

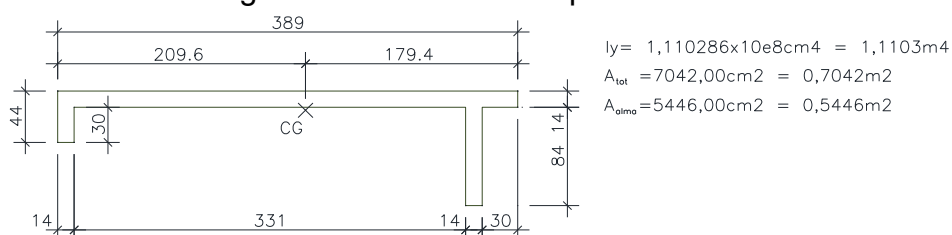
Figura 39: Pórticos e paredes isoladas da direção X



Fonte: Elaborado pelo autor.

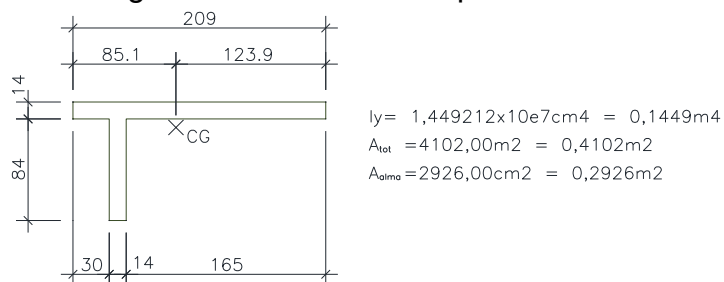
As figuras 40 a 50 apresenta a geometria de cada parede, onde I_y é a inércia da parede em relação ao eixo y, A_{tot} é a área total da parede e A_{alma} é a área da alma da parede (área da parede desconsiderando as abas).

Figura 40: Geometria da parede Pr1x



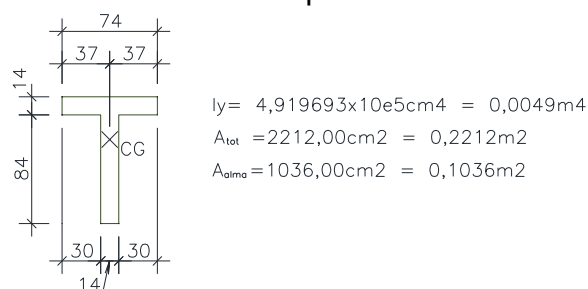
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 41: Geometria da parede Pr2x



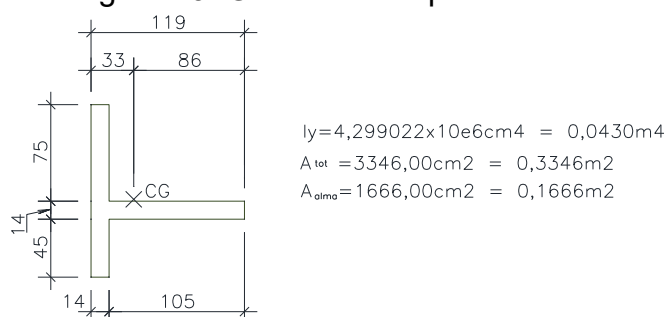
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 42: Geometria da parede Pr3x=Pr5x=Pr6x



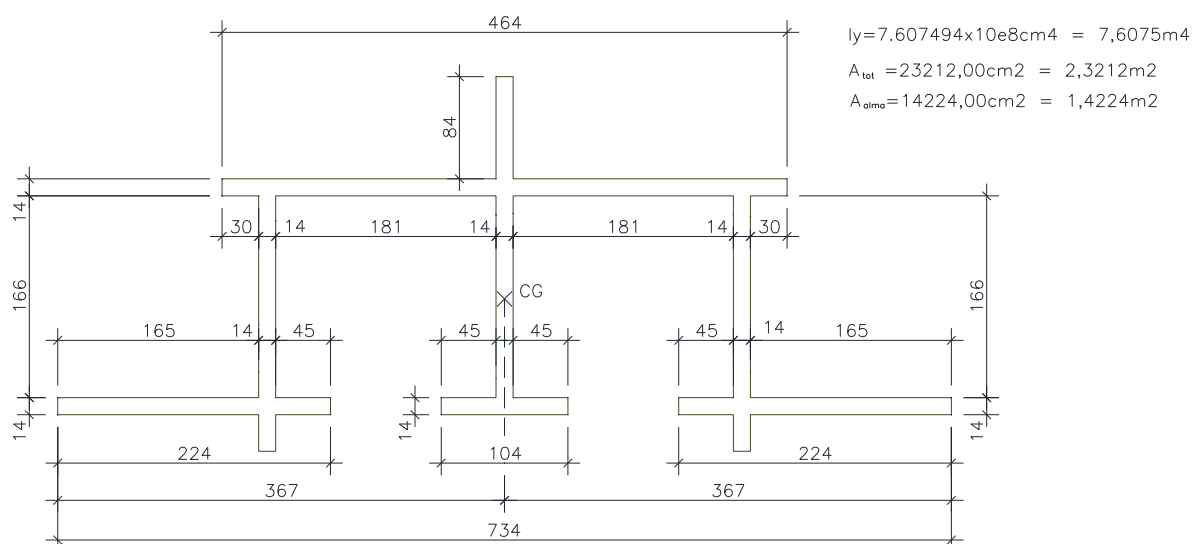
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 43: Geometria da parede Pr4x



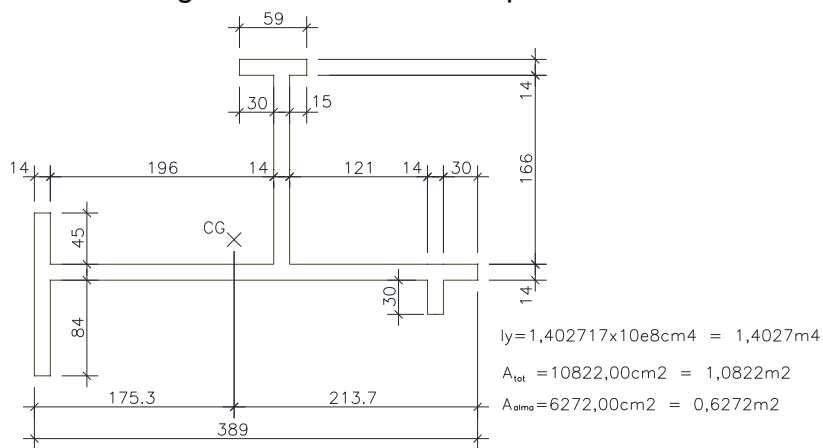
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 44: Geometria da parede Pr7x



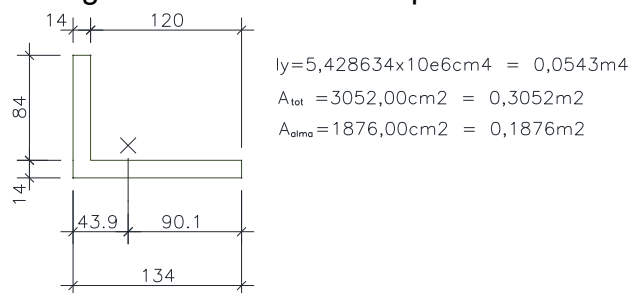
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 45: Geometria da parede Pr8x



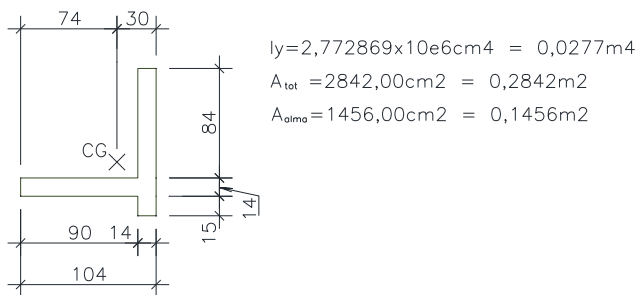
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 46: Geometria da parede Pr9x



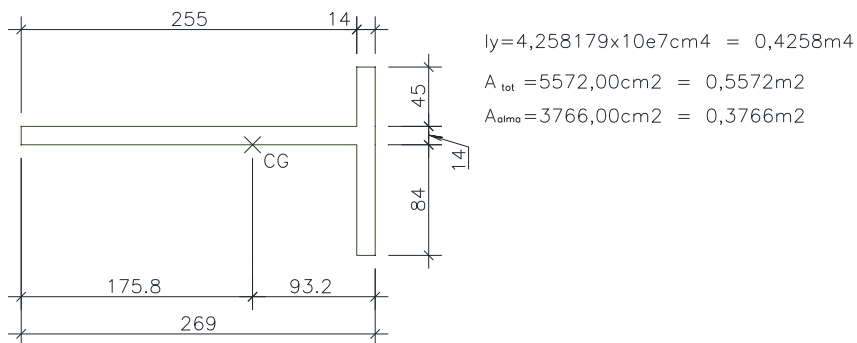
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 47: Geometria da parede Pr10x



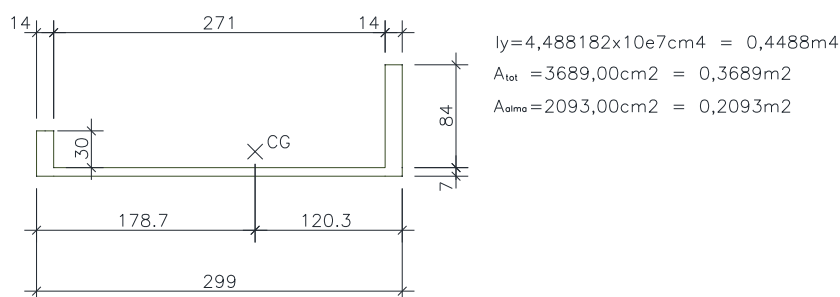
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 48: Geometria da parede Pr11x



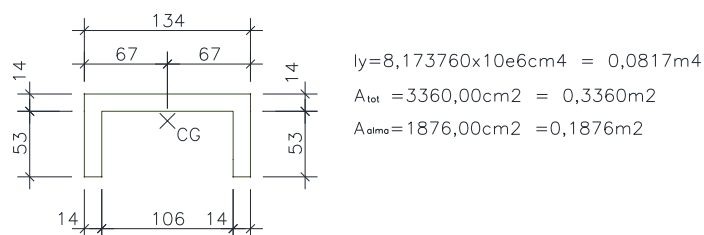
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 49: Geometria da parede Pr12x



Fonte: elaborado pelo autor.

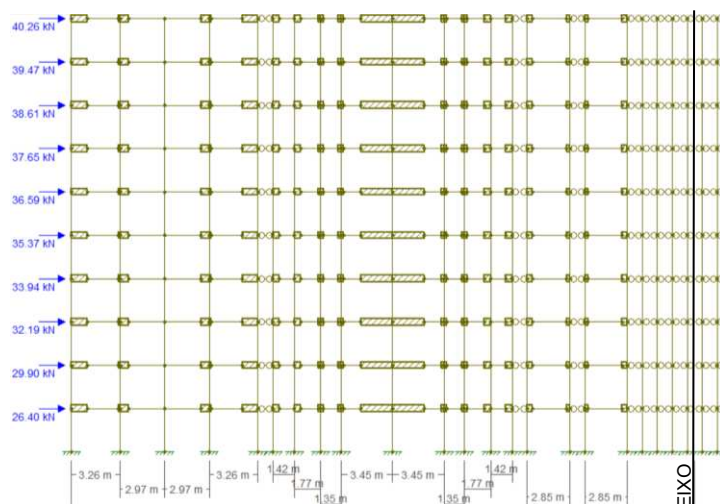
Figura 50: Geometria da parede Pr13x



Fonte: elaborado pelo autor.

Segundo a NBR 16868:2020, o modo de elasticidade da alvenaria de bloco de concreto corresponde a 800 vezes a resistência do prisma adotado. Se tratando de uma estrutura constituída por dez pavimentos tipo, foi considerada a utilização de um prisma com resistência de 7 MPa, correspondendo a um módulo de elasticidade igual a 5600 Mpa.

A figura 51 mostra uma parte da estrutura lançada no *Ftool*, que se repete de acordo com a simetria, onde se fez o lançamento das paredes da estrutura interligadas por barras que representam a laje e os lintéis semiflexíveis.

Figura 51: Lançamento dos pórticos da direção X no *Ftool*

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 13 mostra os esforços máximos obtidos pelo *Ftool*, atuantes nas paredes do primeiro pavimento devido a atuação das forças horizontais no sentido X+ (da esquerda para a direita), onde, para as forças normais, o sinal negativo representa a compressão da parede e o sinal positivo representa a tração. Quando o vento atua na direção X- (da direita para a esquerda) esses sinais são invertidos, tendo compressão onde havia tração e vice-versa.

Tabela 13: Esforços horizontais na direção X do primeiro pavimento

Parede	I _y (m ⁴)	A _{tot} (m ²)	A _{alma} (m ²)	X _{Esq} (m)	X _{Dir} (m)	Normal (kN)	Momento (kNm)	Cortante (kN)
Pr1x	1,1110	0,7042	0,5446	2,10	1,79	-137,07	226,88	68,27
Pr2x	0,1449	0,4102	0,2926	0,85	1,24	24,87	40,95	20,88
Pr3x	0,0049	0,2212	0,1036	0,37	0,37	3,72	2,59	2,01
Pr4x	0,0430	0,3346	0,1666	0,33	0,86	-29,38	5,85	1,72
Pr5x	0,0049	0,2212	0,1036	0,37	0,37	4,67	1,22	0,85
Pr6x	0,0049	0,2212	0,1036	0,37	0,37	14,27	1,14	0,95
Pr7x	7,6075	2,3212	1,4224	3,67	3,67	2,68	533,10	59,86
Pr8x	1,4027	1,0822	0,6272	1,75	2,14	27,59	136,45	19,40
Pr9x	0,0543	0,3052	0,1876	0,44	0,90	-14,63	4,15	1,26
Pr10x	0,0277	0,2842	0,1456	0,74	0,30	14,62	2,22	0,81
Pr11x	0,4258	0,5572	0,3766	1,76	0,93	0,00	23,38	2,22
Pr12x	0,4488	0,3689	0,2093	1,79	1,20	0,00	23,53	2,32
Pr13x	0,0817	0,3360	0,1876	0,67	0,67	0,00	4,28	0,42

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a definição das forças normais, cisalhamento e momentos, foi possível calcular as tensões normais e de cisalhamento atuantes nas paredes do primeiro pavimento. Nesses cálculos, os resultados obtidos foram:

- para a parede Pr1X:
 - tensões normais devido aos esforços horizontais na direção X+ (na direção X- todos os valores trocam de sinal):

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{\text{nor, Hor}} = \frac{\text{Normal}}{A_{\text{tot}}} = \frac{-137,07}{0,7042} = -194,65 \text{ kN/m}^2 = -0,195 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Esq}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Esq}})} = \frac{226,88}{(1,111/2,10)} = 428,02 \text{ kN/m}^2 = 0,428 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Dir}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Dir}})} = \frac{-226,88}{(1,111/1,79)} = -366,35 \text{ kN/m}^2 = -0,366 \text{ Mpa}$$

- tensão normal resultante no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = -0,195 + 0,428 = 0,233 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = -0,195 - 0,366 = -0,561 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{68,27}{0,5446} = 125,36 \text{ kN/m}^2 = 0,125 \text{ Mpa}$$

- para a parede Pr2X:

- tensões normais devido aos esforços horizontais na direção X+:

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{\text{nor, Hor}} = \frac{\text{Normal}}{A_{\text{tot}}} = \frac{24,87}{0,4102} = 60,63 \text{ kN/m}^2 = 0,061 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Esq}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Esq}})} = \frac{40,95}{(0,1449/0,85)} = 240,46 \text{ kN/m}^2 = 0,240 \text{ MPa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Dir}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Dir}})} = \frac{-40,95}{(0,1449/1,24)} = -350,10 \text{ kN/m}^2 = -0,350 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = 0,061 + 0,240 = 0,301 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = 0,061 - 0,350 = -0,289 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{20,88}{0,2926} = 71,36 \text{ kN/m}^2 = 0,071 \text{ Mpa}$$

- para a parede Pr7X:

- tensões normais devido aos esforços horizontais na direção X+:

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{\text{nor, Hor}} = \frac{\text{Normal}}{A_{\text{tot}}} = \frac{2,68}{2,3212} = 1,15 \text{ kN/m}^2 = 0,001 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Esq}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Esq}})} = \frac{533,10}{(7,6075/3,67)} = 257,16 \text{ kN/m}^2 = 0,257 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Dir}} = \frac{\text{Momento}}{(I_y/X_{\text{Dir}})} = \frac{-533,10}{(7,6075/3,67)} = -257,16 \text{ kN/m}^2 = -0,257 \text{ Mpa}$$

- tensão normal resultante no lado esquerdo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = 0,001 + 0,257 = 0,258 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado direito:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = 0,001 - 0,257 = -0,256 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{59,86}{1,4224} = 42,08 \text{ kN/m}^2 = 0,042 \text{ Mpa}$$

- para as demais paredes, a tabela 14 apresenta as tensões normais e de cisalhamento atuantes.

Tabela 14: Tensões atuantes nas paredes da direção X do 1º pavimento

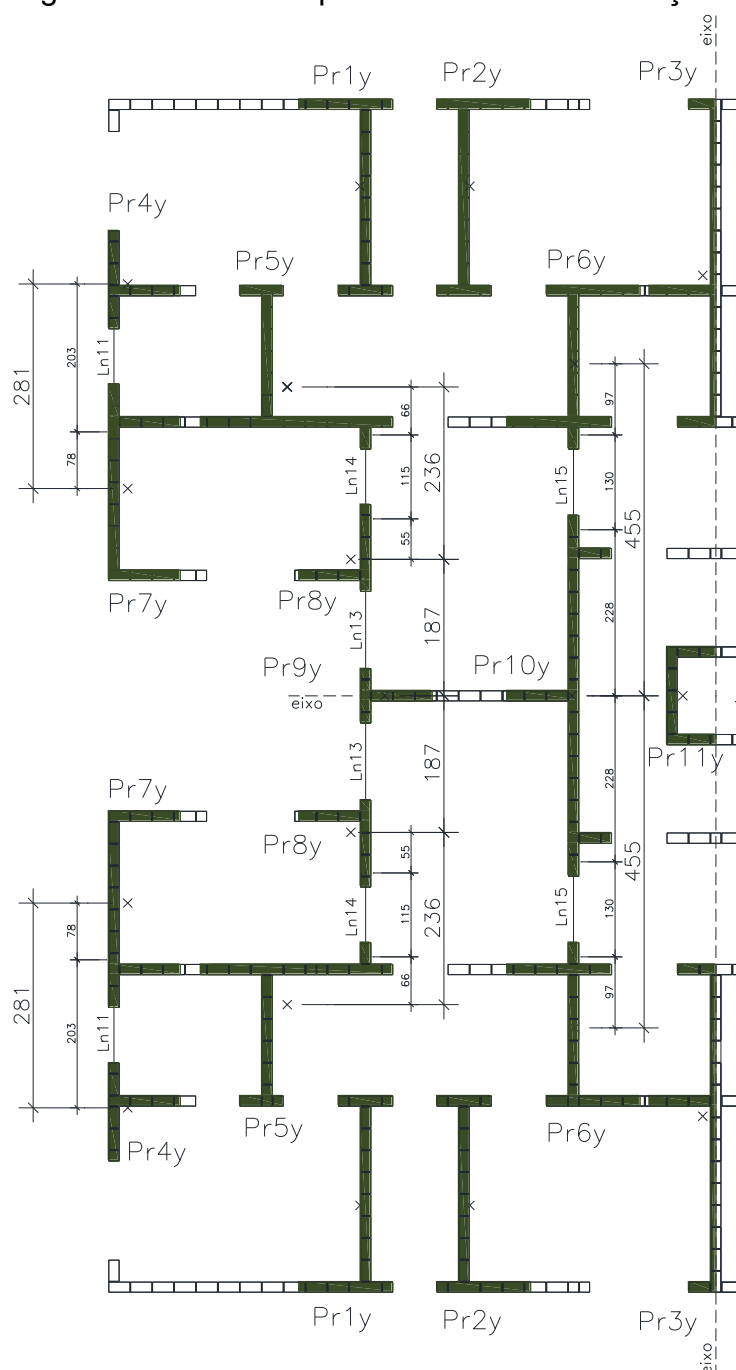
Parede	$\sigma_{\text{nor, Hor}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Esq}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Dir}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}}$ (MPa)	σ_{cis} (MPa)
Pr1x	±0,195	±0,428	±0,366	±0,233	±0,561	0,125
Pr2x	±0,061	±0,240	±0,350	±0,301	±0,289	0,071
Pr3x	±0,017	±0,195	±0,195	±0,212	±0,178	0,019
Pr4x	±0,088	±0,045	±0,117	±0,043	±0,205	0,010
Pr5x	±0,021	±0,092	±0,092	±0,113	±0,071	0,008
Pr6x	±0,065	±0,086	±0,086	±0,150	±0,021	0,009
Pr7x	±0,001	±0,257	±0,257	±0,258	±0,256	0,042
Pr8x	±0,025	±0,171	±0,208	±0,196	±0,182	0,031
Pr9x	±0,048	±0,034	±0,069	±0,014	±0,117	0,007
Pr10x	±0,051	±0,059	±0,024	±0,111	±0,027	0,006
Pr11x	0,000	±0,097	±0,051	±0,097	±0,051	0,006
Pr12x	0,000	±0,094	±0,063	±0,094	±0,063	0,011
Pr13x	0,000	±0,035	±0,035	±0,035	±0,035	0,002

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6.3 Tensões devido aos esforços horizontais na direção Y (90° e 270°)

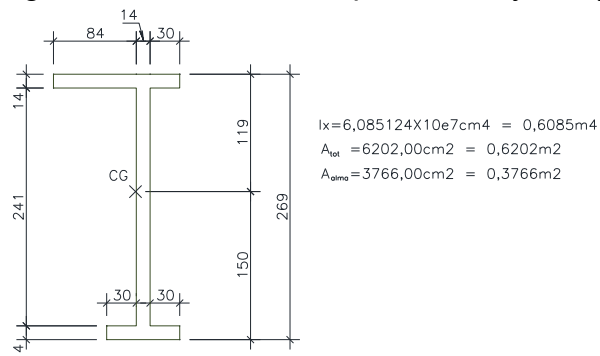
O mesmo procedimento realizado no item 6.6.2 deste trabalho é repetido para a determinação das tensões devido aos esforços horizontais atuantes na direção Y. A figura 52 mostra os pórticos e paredes isoladas resistentes da direção Y, as figuras 53 a 62 apresentam as geometrias das paredes e a figura 63 mostra uma parte da estrutura lançada no *Ftool*, que se repete de acordo com a simetria.

Figura 52: Pórticos e paredes isoladas na direção Y



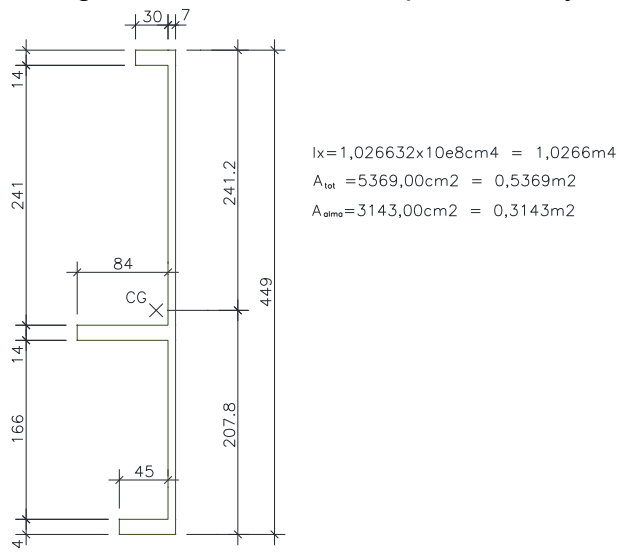
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 53: Geometria da parede Pr1y=Pr2y



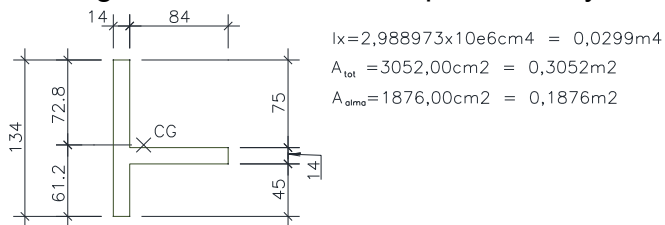
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 54: Geometria da parede Pr3y



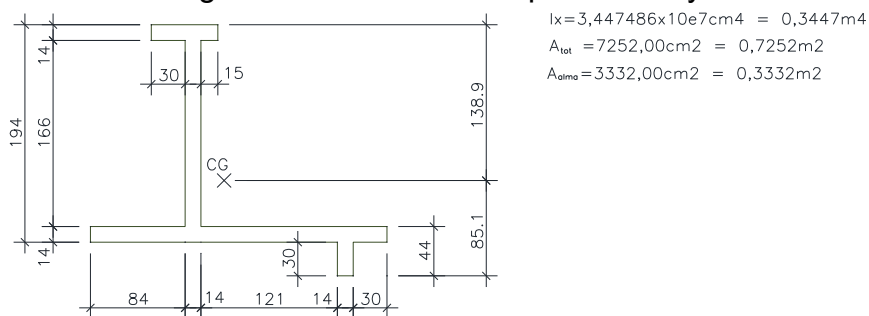
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55: Geometria da parede Pr4y



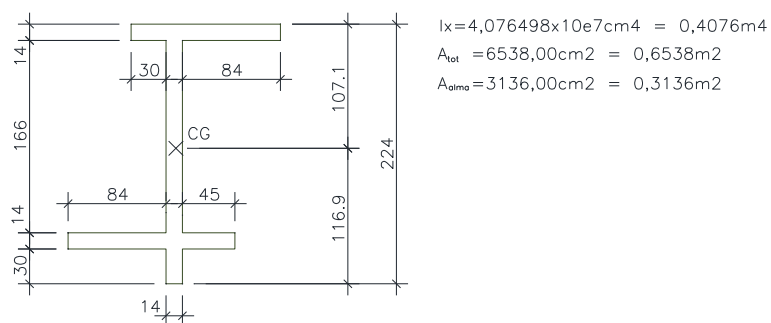
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56: Geometria da parede Pr5y



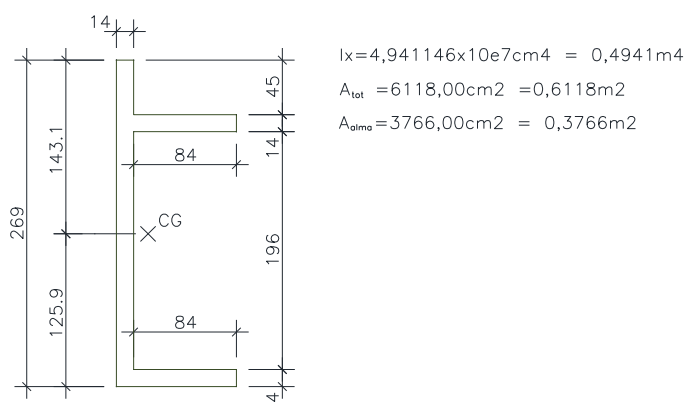
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 57: Geometria da parede Pr6y



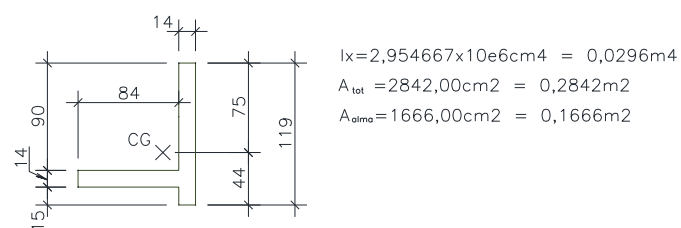
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 58: Geometria da parede Pr7y



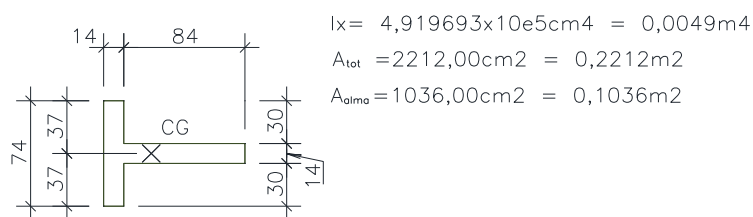
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 59: Geometria da parede Pr8y



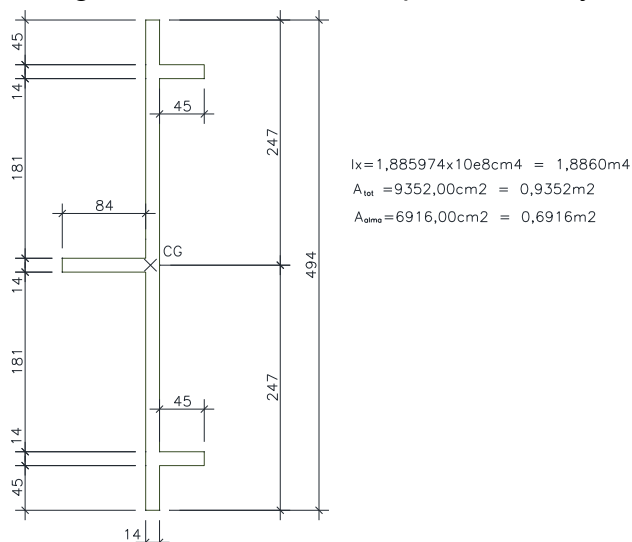
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 60: Geometria da parede Pr9y



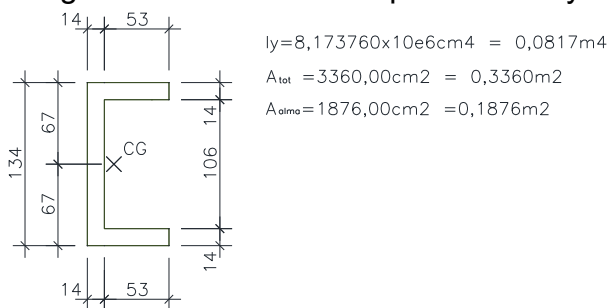
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 61: Geometria da parede Pr10y

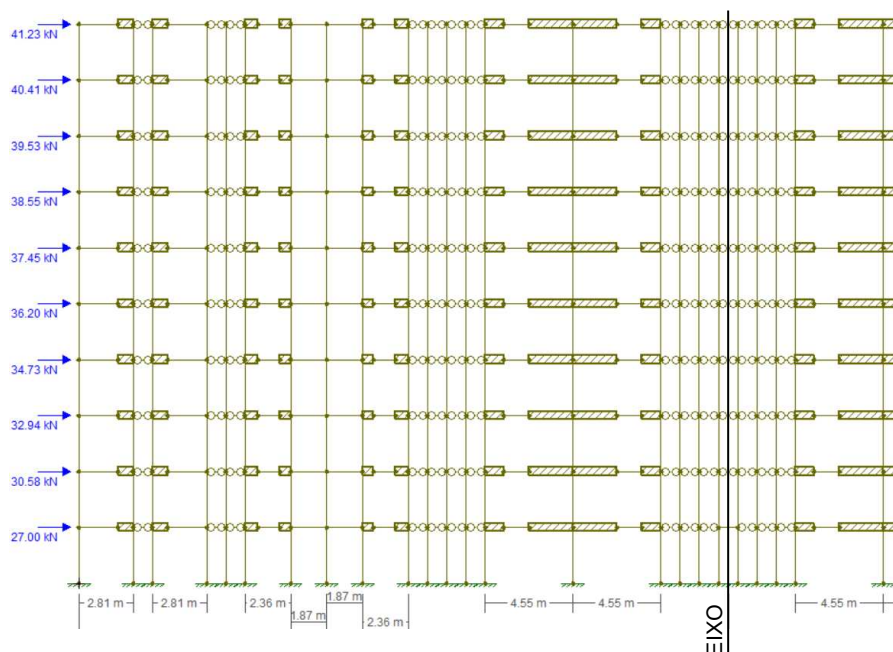


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 62: Geometria da parede Pr11y



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63: Lançamento dos pórticos e paredes isoladas da direção Y no *Ftool*

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 15 mostra os esforços máximos obtidos pelo *Ftool*, atuantes nas paredes do primeiro pavimento devido a atuação das forças horizontais no sentido Y+ (de baixo para cima), onde, para as forças normais, o sinal negativo representa a compressão da parede e o sinal positiva representa a tração. Quando o vento atua na direção Y- (de cima para baixo) esses sinais são invertidos, tendo compressão onde havia tração e vice-versa.

Tabela 15: Esforços horizontais na direção Y do primeiro pavimento

Parede	I_x (m ⁴)	A_{tot} (m ²)	A_{alma} (m ²)	Y_{Baixo} (m)	Y_{Cima} (m)	Normal (kN)	Momento (kNm)	Cortante (kN)
Pr1y	0,6085	0,6202	0,3766	1,50	1,19	0,00	108,70	18,19
Pr2y	0,6085	0,6202	0,3766	1,50	1,19	0,00	75,09	9,34
Pr3y	1,0266	0,5369	0,3143	2,08	2,41	0,00	103,46	10,46
Pr4y	0,0299	0,3052	0,1876	0,61	0,73	-56,74	13,22	6,78
Pr5y	0,3447	0,7252	0,3332	0,85	1,39	-88,05	63,65	12,46
Pr6y	0,4076	0,6538	0,3136	1,17	1,07	-111,81	53,39	9,49
Pr7y	0,4941	0,6118	0,3766	1,26	1,43	56,74	110,68	28,58
Pr8y	0,0295	0,2842	0,1666	0,44	0,75	11,85	9,61	5,33
Pr9y	0,0049	0,2212	0,1036	0,30	0,30	1,37	2,05	1,38
Pr10y	1,8860	0,9352	0,6916	2,47	2,47	1,98	231,69	40,80
Pr11y	0,0817	0,3360	0,1876	0,67	0,67	0,00	8,22	0,82

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os cálculos das tensões normais e de cisalhamento nas paredes resistentes da direção Y, os resultados obtidos foram:

- para a parede Pr1y=Pr2y:
 - tensões normais devido aos esforços horizontais na direção Y+ (na direção Y- todos os valores trocam de sinal):

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{nor, Hor} = \frac{\text{Normal}}{A_{tot}} = \frac{0}{0,6202} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

- tensão normal devido ao momento no lado de baixo:

$$\sigma_{nor, Baixo} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{Baixo})} = \frac{108,70}{(0,6085/1,50)} = 267,95 \text{ kN/m}^2 = 0,268 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Cima}} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{\text{Cima}})} = \frac{-108,70}{(0,6085/1,19)} = -212,57 \text{ kN/m}^2 = -0,213 \text{ Mpa}$$

- tensão normal resultante no lado de baixo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Baixo}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = 0 + 0,268 = 0,268 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Cima}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = 0 - 0,212 = -0,213 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{18,19}{0,3766} = 48,30 \text{ kN/m}^2 = 0,048 \text{ Mpa}$$

- para a parede Pr3y:

- tensões normais devido aos esforços horizontais na direção Y+:

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{\text{nor, Hor}} = \frac{\text{Normal}}{A_{\text{tot}}} = \frac{0,00}{0,5369} = 0,00 \text{ kN/m}^2$$

- tensão normal devido ao momento no lado de baixo:

$$\sigma_{\text{nor, Baixo}} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{\text{Baixo}})} = \frac{103,46}{(1,0266/2,08)} = 209,41 \text{ kN/m}^2 = 0,209 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Cima}} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{\text{Cima}})} = \frac{-103,46}{(1,0266/2,41)} = -243,07 \text{ kN/m}^2 = -0,243 \text{ Mpa}$$

- tensão normal resultante no lado de baixo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Baixo}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = 0 + 0,209 = 0,209 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Cima}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = 0 - 0,243 = -0,243 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{10,46}{0,3143} = 33,28 \text{ kN/m}^2 = 0,033 \text{ Mpa}$$

- para a parede Pr10y:

- tensões normais devido aos esforços horizontais na direção Y+:

- tensão normal devido à força normal:

$$\sigma_{\text{nor, Hor}} = \frac{\text{Normal}}{A_{\text{tot}}} = \frac{1,98}{0,9352} = 2,17 \text{ kN/m}^2 = 0,002 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado de baixo:

$$\sigma_{\text{nor, Baixo}} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{\text{Baixo}})} = \frac{231,69}{(1,8860/2,47)} = 303,43 \text{ kN/m}^2 = 0,303 \text{ Mpa}$$

- tensão normal devido ao momento no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Cima}} = \frac{\text{Momento}}{(I_x/Y_{\text{Cima}})} = \frac{-231,69}{(1,8860/2,47)} = -303,43 \text{ kN/m}^2 = -0,303 \text{ Mpa}$$

- tensão normal resultante no lado de baixo:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Baixo}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Esq}} = 0,002 + 0,303 = 0,305 \text{ MPa}$$

- tensão normal resultante no lado de cima:

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Cima}} = \sigma_{\text{nor, Hor}} + \sigma_{\text{nor, Dir}} = 0,002 - 0,303 = -0,301 \text{ MPa}$$

- tensão de cisalhamento:

$$\sigma_{\text{cis}} = \frac{\text{Cortante}}{A_{\text{alma}}} = \frac{40,80}{0,6916} = 58,99 \text{ kN/m}^2 = 0,059 \text{ Mpa}$$

- para as demais paredes, a tabela 16 apresenta as tensões normais e de cisalhamento atuantes nas paredes da direção Y no primeiro pavimento.

Tabela 16: Tensões atuantes nas paredes da direção Y no 1º pavimento

Parede	$\sigma_{\text{nor, Hor}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Baixo}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Cima}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Hor, Baixo}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor, Hor, Cima}}$ (MPa)	σ_{cis} (MPa)
Pr1y	0,000	±0,268	±0,213	±0,268	±0,213	0,048
Pr2y	0,000	±0,185	±0,147	±0,185	±0,147	0,025
Pr3y	0,000	±0,209	±0,243	±0,209	±0,243	0,033
Pr4y	±0,186	±0,271	±0,322	±0,085	±0,508	0,036
Pr5y	±0,121	±0,157	±0,256	±0,036	±0,378	0,037
Pr6y	±0,171	±0,153	±0,140	±0,018	±0,311	0,030
Pr7y	±0,093	±0,282	±0,321	±0,375	±0,228	0,076
Pr8y	±0,042	±0,143	±0,244	±0,185	±0,202	0,032
Pr9y	±0,006	±0,125	±0,125	±0,131	±0,119	0,013
Pr10y	±0,002	±0,303	±0,303	±0,306	±0,301	0,059
Pr11y	±0,000	±0,067	±0,067	±0,067	±0,067	0,004

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.6.4 Resumo de tensões acumuladas nas paredes do 1º pavimento

As tabelas 17 e 18 apresentam o resumo das tensões normais devido aos esforços verticais atuantes nos grupos isolados de paredes do primeiro pavimento (obtidas na tabela 8 no item 6.4 deste trabalho), e das tensões normais e de

cisalhamento devido aos esforços horizontais atuantes na estrutura (obtidas nas tabelas 14 e 16 dos itens 6.6.2 e 6.6.3 deste trabalho). Para as tensões normais, o sinal negativo representa uma tensão de compressão e o sinal positivo representa uma tensão de tração.

Tabela 17: Resumo de tensões nas paredes resistentes da direção X

Parede	Grupo	$\sigma_{\text{nor,Vert}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor,Hor,Esq}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor,Hor,Dir}}$ (MPa)	σ_{cis} (MPa)
Pr1x	1	-0,830	$\pm 0,233$	$\pm 0,561$	0,125
Pr2x	2	-0,904	$\pm 0,301$	$\pm 0,289$	0,071
Pr3x	3	-0,842	$\pm 0,212$	$\pm 0,178$	0,019
Pr4x	4	-0,966	$\pm 0,043$	$\pm 0,205$	0,010
Pr5x	1	-0,830	$\pm 0,113$	$\pm 0,071$	0,008
Pr6x	2	-0,904	$\pm 0,150$	$\pm 0,021$	0,009
Pr7x	3	-0,842	$\pm 0,258$	$\pm 0,256$	0,042
Pr8x	5	-0,866	$\pm 0,196$	$\pm 0,182$	0,031
Pr9x	5	-0,866	$\pm 0,014$	$\pm 0,117$	0,007
Pr10x	8	-1,144	$\pm 0,111$	$\pm 0,027$	0,006
Pr11x	7	-1,086	$\pm 0,097$	$\pm 0,051$	0,006
Pr12x	6	-1,140	$\pm 0,094$	$\pm 0,063$	0,011
Pr13x	9	-0,839	$\pm 0,035$	$\pm 0,035$	0,002

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 18: Resumo de tensões nas paredes resistentes da direção Y

Parede	Grupo	$\sigma_{\text{nor,Vert}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor,Hor,Baixo}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{nor,Hor,Cima}}$ (MPa)	σ_{cis} (MPa)
Pr1y	1	-0,830	$\pm 0,268$	$\pm 0,213$	0,048
Pr2y	2	-0,904	$\pm 0,185$	$\pm 0,147$	0,025
Pr3y	3	-0,842	$\pm 0,209$	$\pm 0,243$	0,033
Pr4y	4	-0,966	$\pm 0,085$	$\pm 0,508$	0,036
Pr5y	5	-0,866	$\pm 0,036$	$\pm 0,378$	0,037
Pr6y	3	-0,842	$\pm 0,018$	$\pm 0,311$	0,030
Pr7y	5	-0,866	$\pm 0,375$	$\pm 0,228$	0,076
Pr8y	8	-1,144	$\pm 0,185$	$\pm 0,202$	0,032
Pr9y	6	-1,140	$\pm 0,131$	$\pm 0,119$	0,013
Pr10y	6	-1,140	$\pm 0,306$	$\pm 0,301$	0,059
Pr11y	9	-0,839	$\pm 0,067$	$\pm 0,067$	0,004

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.7 Estabilidade global da estrutura

Para uma análise da estabilidade global, é feita a classificação da estrutura quanto a sua deslocabilidade, buscando uma estrutura indeslocável, onde os esforços de segunda ordem correspondem a menos de 10% dos esforços de primeira ordem, permitindo que os esforços de segunda ordem sejam desprezados. Para essa classificação, foram utilizados os métodos do parâmetro alfa (α) e do parâmetro gama z (γ_z), seguindo as recomendações da NBR 6118:2023.

6.7.1 Parâmetro alfa (α)

De acordo com a NBR 6118:2023, o valor do parâmetro alfa (α) é dado em função da altura total do edifício (H_{tot}), da somatória das cargas verticais atuantes na estrutura (N_k), do módulo de elasticidade da alvenaria estrutural (E) e da inércia equivalente da estrutura (I). Para o cálculo de alfa, fui utilizada a equação da norma:

$$\alpha = H_{tot} * \sqrt{\frac{N_k}{EI_{eq}}}$$

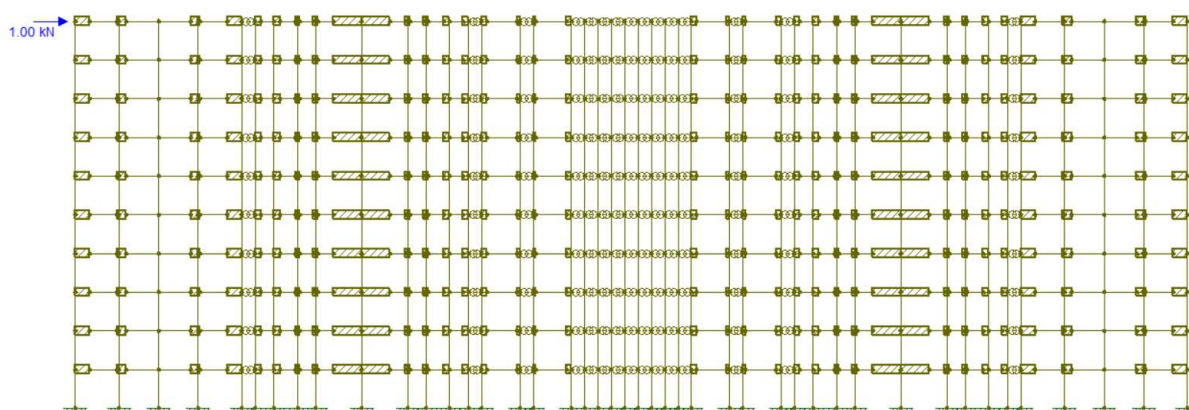
Onde:

- $H_{tot} = n_{pav} * h_{pav} = 10 * 2,9 = 29 \text{ m}$
- $N_k = n_{pav} * \Delta P = 10 * 2218,76 = 22187,60 \text{ kN}$
(ΔP é o peso total do pavimento, calculado na tabela 11 do item 6.5 deste trabalho)
- $E = 800 * 7 = 5600 \text{ MPa} = 5600000 \text{ kN/m}^2$

A da inércia equivalente (I_{eq}) foi calculada em função da flecha (f) resultante da aplicação de uma força horizontal (p) aplicada no último pavimento da estrutura. Para a determinação dessa flecha, os pórticos das direções X e Y foram novamente lançados no *software Ftool*, onde foi aplicada a força horizontal (p) no valor de 1 kN no último pavimento, como mostrado nas figuras 64 e 65. As flechas obtidas por esses lançamentos no *Ftool* foram:

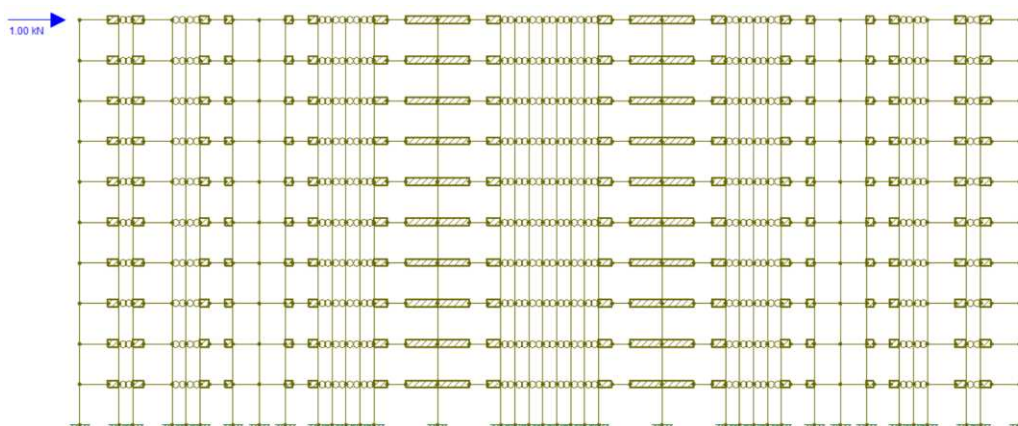
- para a direção X: $f = 5,97 \times 10^{-6} \text{ m}$;
- e para a direção Y: $f = 14,51 \times 10^{-6} \text{ m}$

Figura 64: Pórticos da direção X no *Ftool* para cálculo do parâmetro α



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 65: Pórticos da direção Y no *Ftool* para cálculo do parâmetro α



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a definição das flechas em função da força de 1 kN aplicada nas estruturas da direção X e Y, as inércias equivalentes foram calculadas por meio da fórmula:

$$f = \frac{pL^3}{3EI_{eq}} \therefore I_{eq} = \frac{pL^3}{3Ef}$$

Onde:

- f = flecha resultante (m)
- p = força horizontal aplicada (kN)
- L = altura do edifício (m)
- E = módulo de elasticidade da alvenaria (kN/m²)
- I_{eq} = inércia equivalente (m⁴)

Com isso, as inércias e os valores de alfa obtidos foram:

- para a direção X:

$$I_{eq,x} = \frac{1 * 29^3}{3 * 5,6 \times 10^6 * 5,97 \times 10^{-6}} = 243,09 \text{ m}^4$$

$$\alpha_x = 29 * \sqrt{\frac{22.187,57}{5,6 \times 10^6 * 243,09}} = 0,118$$

- para a direção Y:

$$I_{eq,y} = \frac{1 * 29^3}{3 * 5,6 \times 10^6 * 14,51 \times 10^{-6}} = 100,05 \text{ m}^4$$

$$\alpha_y = 29 * \sqrt{\frac{22.187,57}{5,6 \times 10^6 * 243,09}} = 0,182$$

De acordo com a NBR 6118:2023, a estrutura pode ser considerada de nós fixos (indeslocável) quando seu parâmetro de instabilidade α for menor que 0,60 para edifícios com mais de quatro pavimentos. Como no edifício em estudo foram apresentados os valores de α menores que 0,6 para as duas direções analisadas, a estrutura foi classificada como indeslocável e os esforços de segunda ordem foram desprezados.

6.7.2 Parâmetro gama z (γ_z)

Seguindo as recomendações da NBR 6118:2023, para a classificação da estrutura como indeslocável, o valor do parâmetro gama z deve ser inferior a 1,10. Para o cálculo do gama z, utilizou-se da equação da norma:

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

Onde:

- $M_{1,tot,d}$ é o acréscimo de momento devido ao deslocamento horizontal, dado pela somatória dos momentos das forças horizontais consideradas;
- $\Delta M_{tot,d}$ é o momento de primeira ordem, dado pela soma dos produtos das forças horizontais de cada pavimento pelos seus respectivos deslocamentos.

Os cálculos de $M_{1,tot,d}$ e $\Delta M_{tot,d}$ das direções X e Y se dão em função: das alturas (h) de cada pavimento; das forças horizontais (F) aplicadas em cada pavimento; do peso total (P) de cada pavimento; e do deslocamento horizontal (e) devido a aplicação das forças horizontais. Esses cálculos foram realizados por meio das fórmulas:

- $M_{1,tot,d} = \sum M_1$
 - Onde: $M_1 = h * F$ (calculado para cada pavimento)
- $\Delta M_{tot,d} = P * \sum e$

O peso total (P) do pavimento tipo e as forças horizontais (F) de cada pavimento foram calculadas nas tabelas 11 e 12 do item 6.5 deste trabalho. Já os deslocamentos horizontais (e) foram definidos por meio do lançamento no *Ftool* das estruturas das direções X e Y, realizados nos itens 6.6.2 e 6.6.3 deste trabalho. Levando em consideração os dados para o cálculo desse parâmetro para as duas direções (tabelas 19 e 20), os resultados obtidos do gama z foram:

- para a direção X:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - 16,44 / 5.930,86} = 1,003$$

- e para a direção Y:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - 27,55 / 6.071,70} = 1,005$$

Tabela 19: Dados para o cálculo do parâmetro γ_z da direção X

Direção	Pavimento	h (m)	F (KN)	M ₁ (KNm)	P (KN)	e (m)	$\Delta M_{tot,d}$ (KNm)
X	1º pav.	2,90	26,40	76,57	2.218,76	0,000032	16,44
	2º pav.	5,80	29,90	173,40		0,000107	
	3º pav.	8,70	32,19	280,03		0,000210	
	4º pav.	11,60	33,94	393,65		0,000330	
	5º pav.	14,50	35,37	512,80		0,002461	
	6º pav.	17,40	36,59	636,58		0,000595	
	7º pav.	20,30	37,65	764,36		0,000730	
	8º pav.	23,20	38,61	895,68		0,000860	
	9º pav.	26,10	39,47	1.030,18		0,000983	
	10º pav.	29,00	40,26	1.167,58		0,001101	
		$M_{1,tot,d} =$		5.930,86	$\sum e =$	0,007409	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20: Dados para o cálculo do parâmetro γ_z da direção Y

Direção	Pavimento	h (m)	F (KN)	M ₁ (KNm)	P (KN)	e (m)	$\Delta M_{tot,d}$ (KNm)
Y	1º pav.	2,90	27,00	78,30	2.218,76	0,000065	27,55
	2º pav.	5,80	30,58	177,39		0,000225	
	3º pav.	8,70	32,94	286,55		0,000453	
	4º pav.	11,60	34,73	402,89		0,000727	
	5º pav.	14,50	36,20	524,90		0,001030	
	6º pav.	17,40	37,45	651,67		0,001347	
	7º pav.	20,30	38,55	782,54		0,001669	
	8º pav.	23,20	39,53	917,05		0,001987	
	9º pav.	26,10	40,41	1.054,83		0,002301	
	10º pav.	29,00	41,23	1.195,58		0,002610	
		$M_{1,tot,d} =$		6.071,70	$\sum e =$	0,012415	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como o edifício em análise apresentou valores de γ_z menores que 1,10 nas duas direções, a estrutura foi classificada como sendo indeslocável e os esforços de segunda ordem foram desconsiderados.

6.8 Definição do bloco adotado no 1º pavimento

Levando em consideração as recomendações da NBR 16868-1:2020, para a determinação do bloco necessário no primeiro pavimento, foi definida a resistência mínima do prisma ($f_{pk,min}$) por meio de combinações dos esforços horizontais e verticais. Para essas combinações, foram consideradas a força horizontal e a força accidental como ações variáveis, onde a NBR 8681:2003 permite a aplicação do coeficiente de ponderação Ψ_0 (0,6 para a força horizontal e 0,5 para a força accidental) na solicitação devido à ação secundária. Para separar a força accidental dos esforços verticais, foi considerado que a força permanente corresponde a 75% da carga vertical total e a força accidental corresponde aos outros 25%. Com isso, as combinações feitas foram:

- para a força horizontal como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,5 * Q_{ac} + 1,4 * G)}{1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 * l_{ef}}\right)^3} + \frac{1,4 * Q_{hor}}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Hor}}{2,0}$$

- para a força accidental como variável principal:

$$\frac{(1,4 * Q_{ac} + 1,4 * G)}{1 - \left(\frac{h_{ef}}{40 * t_{ef}}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,6 * Q_{hor}}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Aci}}{2,0}$$

Onde: Q_{ac} é a tensão normal devido a força accidental; G é a tensão normal devido a força permanente; Q_{hor} é a tensão normal máxima devido a força horizontal; h_{ef} é a altura efetiva do pavimento; t_{ef} é a espessura efetiva da parede; $f_{k, Hor}$ é a resistência necessária do prisma quando considerado a força horizontal como variável principal; e $f_{k, Aci}$ é a resistência necessária do prisma quando considerada a força accidental como variável principal. Para esses cálculos, foram considerados:

- $h_{ef} = 2,80$ m (altura da parede)
- $t_{ef} = 0,14$ m (espessura do bloco)
- $Q_{ac} = \sigma_{nor, Vert} * 25\%$
- $G = \sigma_{nor, Vert} * 75\%$
- $Q_{ac} =$ maior tensão normal devido aos esforços horizontais
 - $\sigma_{nor, Hor, Esq}$ ou $\sigma_{nor, Hor, Dir}$ para as paredes da direção X
 - $\sigma_{nor, Hor, Cima}$ ou $\sigma_{nor, Hor, Baixo}$ para as paredes da direção Y
- $f_{pk, min} =$ maior resistência necessária obtida ($f_{k, Hor}$ ou $f_{k, Aci}$)

Considerando as tensões normais atuantes nas direções X e Y, obtidas nas tabelas 17 e 18 deste trabalho, os resultados obtidos foram:

- para a parede Pr1x:

- forças horizontais como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,5 * 0,25 * 0,830 + 1,4 * 0,75 * 0,830)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,561}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Hor}}{2,0}$$

$$f_{k, Hor} \geq 4,82 \text{ Mpa}$$

- ação accidental como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,25 * 0,830 + 1,4 * 0,75 * 0,830)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,6 * 0,561}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Aci}}{2,0}$$

$$f_{k, Aci} \geq 4,69 \text{ Mpa}$$

$$\Rightarrow f_{pk, min} = 4,82 \text{ MPa}$$

- para a parede Pr2x:

- força horizontal como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,5 * 0,25 * 0,904 + 1,4 * 0,75 * 0,904)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,301}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Hor}}{2,0}$$

$$f_{k, Hor} \geq 4,42 \text{ Mpa}$$

- força acidental como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,25 * 0,904 + 1,4 * 0,75 * 0,904)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,6 * 0,301}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Aci}}{2,0}$$

$$f_{k, Aci} \geq 4,61 \text{ Mpa}$$

$$\Rightarrow f_{pk, min} = 4,61 \text{ MPa}$$

- para a parede Pr1y:

- força horizontal como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,5 * 0,25 * 0,830 + 1,4 * 0,75 * 0,830)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,268}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Hor}}{2,0}$$

$$f_{k, Hor} \geq 4,04 \text{ Mpa}$$

- força acidental como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,25 * 0,830 + 1,4 * 0,75 * 0,830)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,6 * 0,268}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Aci}}{2,0}$$

$$f_{k, Aci} \geq 4,23 \text{ Mpa}$$

$$\Rightarrow f_{pk, min} = 4,23 \text{ MPa}$$

- para a parede Pr2y:

- força horizontal como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,5 * 0,25 * 0,904 + 1,4 * 0,75 * 0,904)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,185}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Hor}}{2,0}$$

$$f_{k, Hor} \geq 4,11 \text{ Mpa}$$

- força acidental como variável principal:

$$\frac{(1,4 * 0,25 * 0,904 + 1,4 * 0,75 * 0,904)}{1 - \left(\frac{2,80}{40 * 0,14}\right)^3} + \frac{1,4 * 0,6 * 0,185}{1,5} \leq \frac{0,7 * f_{k, Aci}}{2,0}$$

$$f_{k, Aci} \geq 4,43 \text{ Mpa}$$

$$\Rightarrow f_{pk, min} = 4,43 \text{ MPa}$$

- para as demais paredes do primeiro pavimento nas direções X e Y, os cálculos das resistências mínimas necessárias do prisma ($f_{pk,min}$) foram representados nas tabelas 21 e 22.

Tabela 21: Cálculo das resistências necessárias das paredes na direção X

Paredes	G (MPa)	Q _{ac} (MPa)	Q _{hor} (MPa)	f _{k,Hor} (MPa)	f _{k,Aci} (MPa)	f _{pk,min} (MPa)
Pr1x	0,623	0,208	0,561	4,82	4,69	4,82
Pr2x	0,678	0,226	0,301	4,42	4,61	4,61
Pr3x	0,632	0,211	0,212	3,93	4,19	4,19
Pr4x	0,725	0,242	0,205	4,41	4,74	4,74
Pr5x	0,623	0,208	0,113	3,62	3,98	3,98
Pr6x	0,678	0,226	0,150	4,02	4,37	4,37
Pr7x	0,632	0,211	0,258	4,06	4,26	4,26
Pr8x	0,649	0,216	0,196	3,99	4,27	4,27
Pr9x	0,649	0,216	0,117	3,77	4,14	4,14
Pr10x	0,858	0,286	0,111	4,87	5,41	5,41
Pr11x	0,814	0,271	0,097	4,60	5,12	5,12
Pr12x	0,855	0,285	0,094	4,81	5,36	5,36
Pr13x	0,629	0,210	0,035	3,45	3,89	3,89

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22: Cálculo das resistências necessárias das paredes na direção Y

Paredes	G (MPa)	Q _{ac} (MPa)	Q _{Hor} (MPa)	f _{k,hor} (MPa)	f _{k,Aci} (MPa)	f _{pk,min} (MPa)
Pr1y	0,623	0,208	0,268	4,04	4,23	4,23
Pr2y	0,678	0,226	0,185	4,11	4,43	4,43
Pr3y	0,632	0,211	0,243	4,02	4,24	4,24
Pr4y	0,725	0,242	0,508	5,22	5,23	5,23
Pr5y	0,649	0,216	0,378	4,47	4,56	4,56
Pr6y	0,632	0,211	0,311	4,20	4,35	4,35
Pr7y	0,649	0,216	0,375	4,46	4,56	4,56
Pr8y	0,858	0,286	0,202	5,12	5,55	5,55
Pr9y	0,855	0,285	0,131	4,91	5,42	5,42
Pr10y	0,855	0,285	0,306	5,38	5,70	5,70
Pr11y	0,629	0,210	0,067	3,53	3,94	3,94

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a definição do bloco de concreto a ser utilizado nas paredes do primeiro pavimento, leva-se em consideração a maior resistência mínima necessária dentre as paredes. Com a análise das tabelas 21 e 22, percebeu-se que a parede Pr10y apresentou a maior resistência necessária, com o valor de 5,70 Mpa. De acordo com a NBR 16868-1:2020, para atingir essa resistência mínima no prisma, faz-se necessária a utilização de um bloco de concreto 8 Mpa, argamassa 6 MPa e graute 20 Mpa.

6.9 Verificação do cisalhamento e da tração atuante no 1º pavimento

Para a verificação da necessidade de armadura de tração nas paredes, é feita a comparação das tensões normais de tração (f_t) atuantes nas paredes com a resistência característica à tração da alvenaria (f_{tk}), onde se a metade de f_{tk} for maior que a metade de f_t , conclui-se que a parede resiste aos esforços de tração solicitantes sem a necessidade de armadura. O valor de f_{tk} é determinado pelos parâmetros dados pela NBR 16868-1:2020 em função da resistência média à compressão da argamassa adotada (f_a), já os valores de f_t são determinados por meio da combinação das tensões normais devido a força permanente (G) e as tensões normais devido a força horizontal (Q_{hor}), sendo:

- os parâmetros de norma para determinação do f_{tk} :
 - $1,5 < f_a < 3,4 \rightarrow f_{tk} = 0,10 \text{ MPa};$
 - $3,5 < f_a < 7,0 \rightarrow f_{tk} = 0,20 \text{ MPa};$
 - $f_a > 7,0 \rightarrow f_{tk} = 0,25 \text{ MPa};$
- e a combinação das tensões normais para a determinação de f_t :

$$-0,9 * G + 1,4 * Q_{hor} \leq \frac{f_t}{2,0}$$

Para a verificação da resistência ao cisalhamento das paredes no primeiro pavimento, é comparada a tensão de cisalhamento atuante (σ_{cis}), com a resistência característica ao cisalhamento (f_{vk}), onde se o valor de f_{vk} encontrado for superior à σ_{cis} , conclui-se que a parede resiste aos esforços de cisalhamento sem a necessidade de armadura. Os valores de σ_{cis} foram determinados nas tabelas 17 e 18 no item 6.6.4 deste trabalho e o valor de f_{vk} é dado pela NBR 16868-1:2020 em função da resistência média à compressão da argamassa adotada (f_a), onde:

- $1,5 < f_a < 3,4 \rightarrow f_{vk} = (0,10 + 0,5 * 0,9 * G) \text{ MPa} \leq 1,0 \text{ MPa};$
- $3,5 < f_a < 7,0 \rightarrow f_{vk} = (0,15 + 0,5 * 0,9 * G) \text{ MPa} \leq 1,4 \text{ MPa};$
- $f_a > 7,0 \rightarrow f_{vk} = (0,35 + 0,5 * 0,9 * G) \text{ MPa} \leq 1,7 \text{ MPa}.$

Considerando a argamassa adotada com resistência (f_a) de 6,0 MPa, os resultados das verificações da necessidade de armaduras de tração e cisalhamento nas paredes foram:

- para a parede Pr1x:
 - verificação da tração:

$$\frac{f_t}{2,0} = (-0,9 * 0,623 + 1,4 * 0,561) = 0,22 \text{ MPa}$$

$$f_a = 6,0 \text{ MPa} \rightarrow \frac{f_{tk}}{2,0} = \frac{0,20}{2,0} = 0,10 \text{ MPa} < \frac{f_t}{2,0} \therefore \text{não ok}$$
 - verificação do cisalhamento:

$$f_a = 6,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = (0,15 + 0,5 * 0,9 * 0,623) = 0,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cis} = 0,125 \text{ MPa} < f_{vk} \therefore \text{ok}$$
- para a parede Pr2x:
 - verificação da tração:

$$\frac{f_t}{2,0} = -0,9 * 0,678 + 1,4 * 0,301 = -0,19 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{tk}}{2,0} = 0,10 \text{ MPa} > \frac{f_t}{2,0} \therefore \text{ok}$$
 - verificação do cisalhamento:

$$f_{vk} = (0,15 + 0,5 * 0,9 * 0,678) = 0,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cis} = 0,071 \text{ MPa} < f_{vk} \therefore \text{ok}$$
- para a parede Pr1y:
 - verificação da tração:

$$\frac{f_t}{2,0} = -0,9 * 0,623 + 1,4 * 0,268 = -0,19 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{tk}}{2,0} = 0,10 \text{ MPa} > \frac{f_t}{2,0} \therefore \text{ok}$$
 - verificação do cisalhamento:

$$f_{vk} = (0,15 + 0,5 * 0,9 * 0,623) = 0,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cis} = 0,048 \text{ MPa} < f_{vk} \therefore \text{ok}$$

- para a parede Pr2y:

- verificação da tração:

$$\frac{f_t}{2,0} = -0,9 * 0,678 + 1,4 * 0,185 = -0,35 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_{tk}}{2,0} = 0,10 \text{ MPa} > \frac{f_t}{2,0} \therefore \text{ok}$$

- verificação do cisalhamento:

$$f_{vk} = (0,15 + 0,5 * 0,9 * 0,678) = 0,46 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cis} = 0,025 \text{ MPa} < f_{vk} \therefore \text{ok}$$

- para as demais paredes das direções X e Y, as tabelas 23 e 24 mostram as verificações das resistências características à tração e ao cisalhamento da alvenaria, onde foi possível perceber a necessidade apenas de armadura de tração na parede Pr1x e nenhuma necessidade de armadura de cisalhamento.

Tabela 23: Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção X

Paredes	Tração					Cisalhamento		
	G (MPa)	Q _{hor} (MPa)	f _t /2 (MPa)	f _{tk} (MPa)	Verific.	σ _{cis} (MPa)	f _{vk} (MPa)	Verific.
Pr1x	0,623	0,561	0,22	0,10	não ok	0,125	0,43	ok
Pr2x	0,678	0,301	-0,19	0,10	ok	0,071	0,46	ok
Pr3x	0,632	0,212	-0,27	0,10	ok	0,019	0,43	ok
Pr4x	0,725	0,205	-0,37	0,10	ok	0,010	0,48	ok
Pr5x	0,623	0,113	-0,40	0,10	ok	0,008	0,43	ok
Pr6x	0,678	0,150	-0,40	0,10	ok	0,009	0,46	ok
Pr7x	0,632	0,258	-0,21	0,10	ok	0,042	0,43	ok
Pr8x	0,649	0,196	-0,31	0,10	ok	0,031	0,44	ok
Pr9x	0,649	0,117	-0,42	0,10	ok	0,007	0,44	ok
Pr10x	0,858	0,111	-0,62	0,10	ok	0,006	0,54	ok
Pr11x	0,814	0,097	-0,60	0,10	ok	0,006	0,52	ok
Pr12x	0,855	0,094	-0,64	0,10	ok	0,011	0,53	ok
Pr13x	0,629	0,035	-0,52	0,10	ok	0,002	0,43	ok

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 24: Verificação de cisalhamento e tração nas paredes da direção Y

Paredes	Tração					Cisalhamento		
	G (MPa)	Q _{hor} (MPa)	f _t /2 (MPa)	f _{tk} (MPa)	Verific.	σ _{cis} (MPa)	f _{vk} (MPa)	Verific.
Pr1y	0,623	0,268	-0,19	0,10	ok	0,048	0,43	ok
Pr2y	0,678	0,185	-0,35	0,10	ok	0,025	0,46	ok
Pr3y	0,632	0,243	-0,23	0,10	ok	0,033	0,43	ok
Pr4y	0,725	0,508	0,06	0,10	ok	0,036	0,48	ok
Pr5y	0,649	0,378	-0,06	0,10	ok	0,037	0,44	ok
Pr6y	0,632	0,311	-0,13	0,10	ok	0,030	0,43	ok
Pr7y	0,649	0,375	-0,06	0,10	ok	0,076	0,44	ok
Pr8y	0,858	0,202	-0,49	0,10	ok	0,032	0,54	ok
Pr9y	0,855	0,131	-0,59	0,10	ok	0,013	0,53	ok
Pr10y	0,855	0,306	-0,34	0,10	ok	0,059	0,53	ok
Pr11y	0,629	0,067	-0,47	0,10	ok	0,004	0,43	ok

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.9.1 Armadura de tração necessária nas paredes do primeiro pavimento

A verificação da resistência das paredes do primeiro pavimento apontou a necessidade de armadura de tração na parede Pr1x, que resiste aos esforços horizontais de direção X e se repete nos quatro cantos da estrutura. Para o cálculo dessa armadura necessária, primeiro foi feita a verificação da presença de esforços de tração (f_t) devido flexo-compressão nos dois lados da parede, considerando as forças horizontais atuando da esquerda para a direita (direção X+) e da direita para a esquerda (direção X-). Na verificação da flexo-compressão, observou-se que:

- para o vento atuando da esquerda para a direita:

$$G = 0,623 \text{ MPa (compressão)}$$

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}} = +0,233 \text{ MPa (tração)}$$

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}} = -0,561 \text{ MPa (compressão)}$$

$$f_{t, \text{esq}} = -0,9 * 0,623 + 1,4 * 0,233 = -0,234 \text{ Mpa} = -234 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{t, \text{dir}} = -0,9 * 0,623 - 1,4 * 0,516 = -1,346 \text{ Mpa} = -1346 \text{ kN/m}^2$$

⇒ Não há presença de tração

- para o vento atuando da direita para a esquerda:

$$G = 0,623 \text{ MPa (compressão)}$$

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Esq}} = -0,233 \text{ MPa (compressão)}$$

$$\sigma_{\text{nor, Hor, Dir}} = +0,561 \text{ MPa (tração)}$$

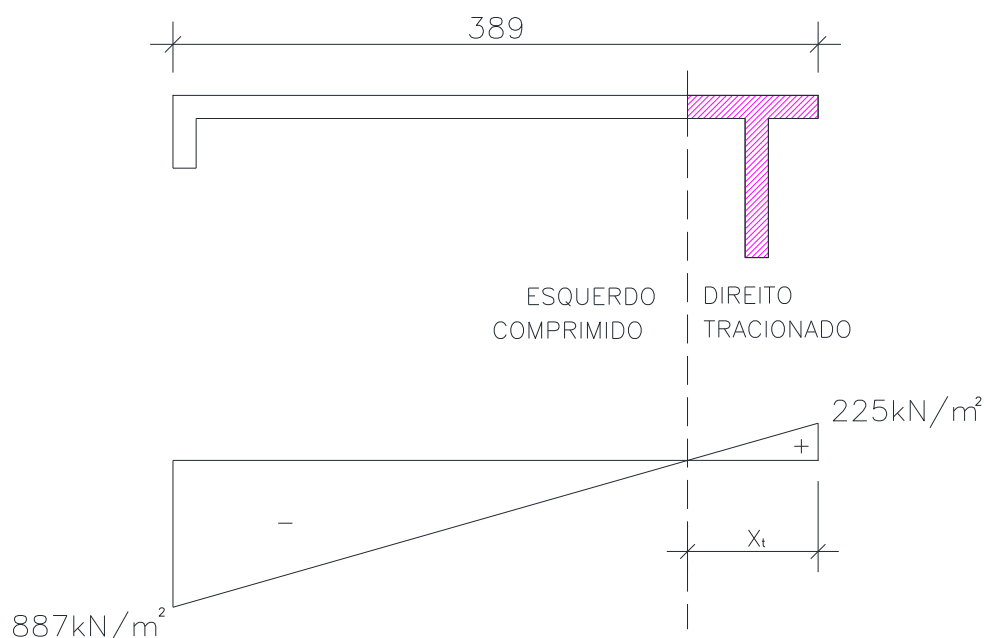
$$f_{t, \text{esq}} = -0,9 * 0,623 - 1,4 * 0,233 = -0,887 \text{ Mpa} = -887 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{t, \text{dir}} = -0,9 * 0,623 + 1,4 * 0,561 = +0,225 \text{ Mpa} = +225 \text{ kN/m}^2$$

⇒ Tração no lado direito da parede

Com a verificação da flexo-compressão para o vento nas duas direções, percebe-se que o esforço de tração só aparece no lado direito da parede, o que torna necessária a armadura de tração apenas neste lado tracionado. A figura 66 mostra a parede Pr1x com o lado tracionado a ser armado.

Figura 66: Parede Pr1x tracionada



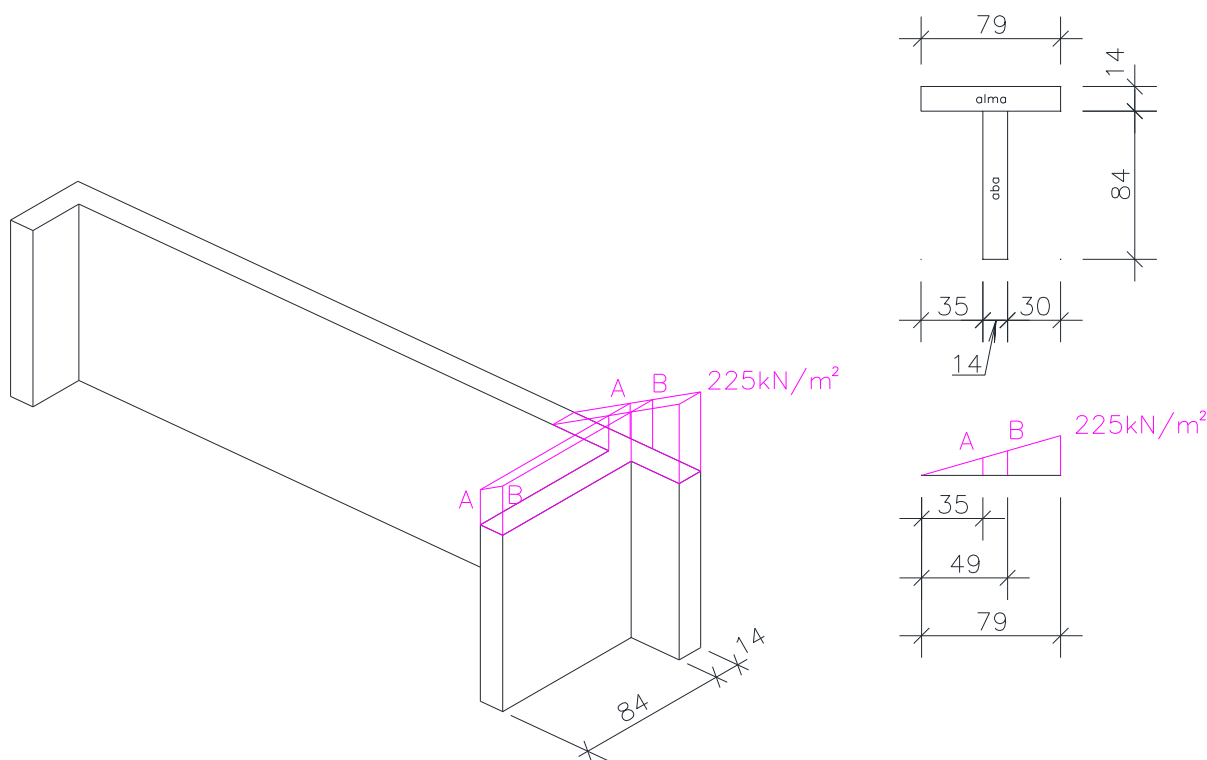
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da armadura necessária para combater aos esforços de tração, primeiro é preciso determinar o comprimento tracionado (X_t), que foi definido por semelhança de triângulo utilizando o diagrama dos esforços resultantes da flexo-compressão, como mostrado na figura 65, tendo como resultado:

$$X_t = \frac{f_{t, \text{dir}}}{f_{t, \text{esq}} + f_{t, \text{dir}}} * l_{\text{pr}} = \frac{225}{887 + 225} * 3,89 = 0,79 \text{ m}$$

Com o comprimento tracionado, tem-se a área tracionada do lado direito da parede, composta por 79 cm da alma e 84 cm de aba (figura 67). Sabendo a área tracionada, foi calculada a força de tração máxima (f_t) que atua no lado tracionado, somando os esforços de tração atuantes na alma ($f_{t,alma}$) e na aba ($f_{t,aba}$) da parede.

Figura 67: Área tracionada da parede Pr1x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da tração da aba ($f_{t,aba}$) e da tração da alma ($f_{t,alma}$), foi utilizado o diagrama de esforços de tração atuantes na parede, conforme mostrado na figura 66. Considerando a tração no ponto A ($\sigma_{t,A}$) a tração no ponto B ($\sigma_{t,B}$), a seção da aba de 14x84 cm e a seção da alma de 79x14 cm, foram definidos os valores de $f_{t,aba}$ e $f_{t,alma}$ para o cálculo da força de tração máxima (f_t) atuante na parede Pr1x. Os cálculos obtidos foram:

- para a tração atuante na aba:

$$\sigma_{t,A} = \frac{0,35}{0,79} * 225 = 99,68 \text{ kN/m}^2 = 100 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{t,B} = \frac{0,49}{0,79} * 225 = 139,56 \text{ kN/m}^2 = 140 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{t,aba} = \frac{100 + 140}{2} * 0,14 * 0,84 = 14,12 \text{ kN}$$

- para a tração atuante na alma:

$$f_{t, \text{alma}} = \frac{0,79 * 0,14 * 225}{2} = 12,44 \text{ kN}$$

- para a tração total atuante na parede Pr1x:

$$f_t = f_{t, \text{alma}} + f_{t, \text{aba}} = 12,44 + 14,12 = 26,56 \text{ kN}$$

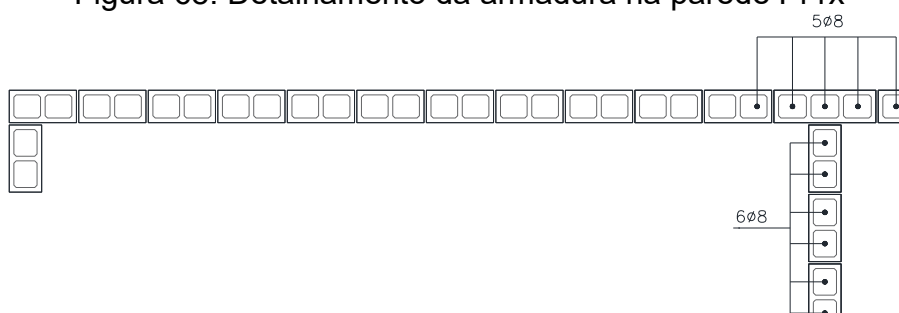
Por fim, pode-se determinar a armadura de tração necessária (A_s) por meio da divisão do esforço de tração atuante (f_t) pela resistência do aço CA-50 (f_{yd}). O valor da armadura necessária deve ser igual ou superior a armadura mínima ($A_{s, \text{min}}$) definida por norma, que corresponde a 0,10% da área da alma da parede. Com isso, os cálculos obtidos foram:

$$A_{s, \text{min}} = 0,10\% * t_{\text{pr}} * l_{\text{alma}} = 0,001 * 14 * 389 = 5,45 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{f_t}{f_{yd}} = \frac{26,56}{43,48} = 0,61 \text{ cm}^2 < A_{s, \text{min}} \therefore \text{adotar } A_s = A_{s, \text{min}}$$

Para suprir a necessidade de uma armadura de 5,45 cm², foram adotadas barras de aço CA-50 de 8 mm de diâmetro. Como cada uma dessas barras correspondem a uma área de 0,50 cm², foram distribuídas 5 barras no comprimento tracionada da alma e 6 barras na aba, totalizando 11 barras de 8 mm (5,5 cm²). A figura 67 mostra o detalhamento da armadura adotada na área tracionada da parede Pr1x.

Figura 68: Detalhamento da armadura na parede Pr1x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além da armadura necessária calculada, também foi considerado o grauteamento dos furos das uniões das paredes e das extremidades das aberturas de portas e janelas, com uma armadura de aço CA-50 de 8 mm de diâmetro, com função de enrijecimento, travamento e proteção contra a flambagem. Com isso, a figura 69 apresenta uma parte da estrutura, que se repete de acordo com a simetria, com as armaduras adotadas nas paredes do primeiro pavimento.

Figura 70: Tipo de estrutura e norma em uso no TQS Alvest

Dados do edifício: Projeto TCC - João Vitor Cangussu - UFMG - R00 - 0001

Gerais | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Alvenaria | Gerenciamento

Identificação

Título do edifício: TCC - João Vitor Cangussu

Título do cliente: UFMG

Endereço da obra:

Número do projeto: 1 Prefixo de plantas:

Descrição do projeto

Tipo de estrutura

☐ Concreto Armado/Protendido

☐ Concreto Pré-moldado

☒ Alvenaria Estrutural

☐ Paredes de concreto

☐ Projeto de formas de madeira

Avançado...

Norma em uso

NBR 16868-1: 2020 - Blocos de Concreto e Cerâmicos

NBR 10837: 1989 - Blocos vazados de Concreto

NBR 15961-1: 2011 - Blocos de Concreto

NBR 15812-1: 2010 - Blocos Cerâmicos

NBR 16868-1: 2020 - Blocos de Concreto e Cerâmicos

Criado por: DEPTO. DE ENG. DE ESTRUTURAS DA UFMG

Criado em: 20/07/2023 18:59:41

Modificado em: 28/02/2024 19:41:57

TQS V23.10.62

Descrição do projeto de até 1000 caracteres.

Atualizar Dwg Salvar Dwg

Duplicar Renomear Salvar como modelo

Ok Cancelar

Fonte: TQS Alvest.

Figura 71: Definição da estrutura no TQS Alvest

Dados do edifício: Projeto TCC - João Vitor Cangussu - UFMG - R00 - 0001

Gerais | Pavimentos | Materiais | Cobrimentos | Cargas | Alvenaria | Gerenciamento

Pavimento Tipo

Título: Tipo

Número do projeto: 1

Número de pisos: 10

Pé-direito: 2.9

Classe: Tipo

Título opcional: 1o Pav

Prefixo de plantas:

Tipo

Inserir acima

Inserir abaixo

Apagar

Renomear

Este número, arbitrário, identificará o processamento de formas, grelhas e vigas. Use um número único para cada pavimento.

Atualizar Dwg Salvar Dwg

Duplicar Renomear Salvar como modelo

Ok Cancelar

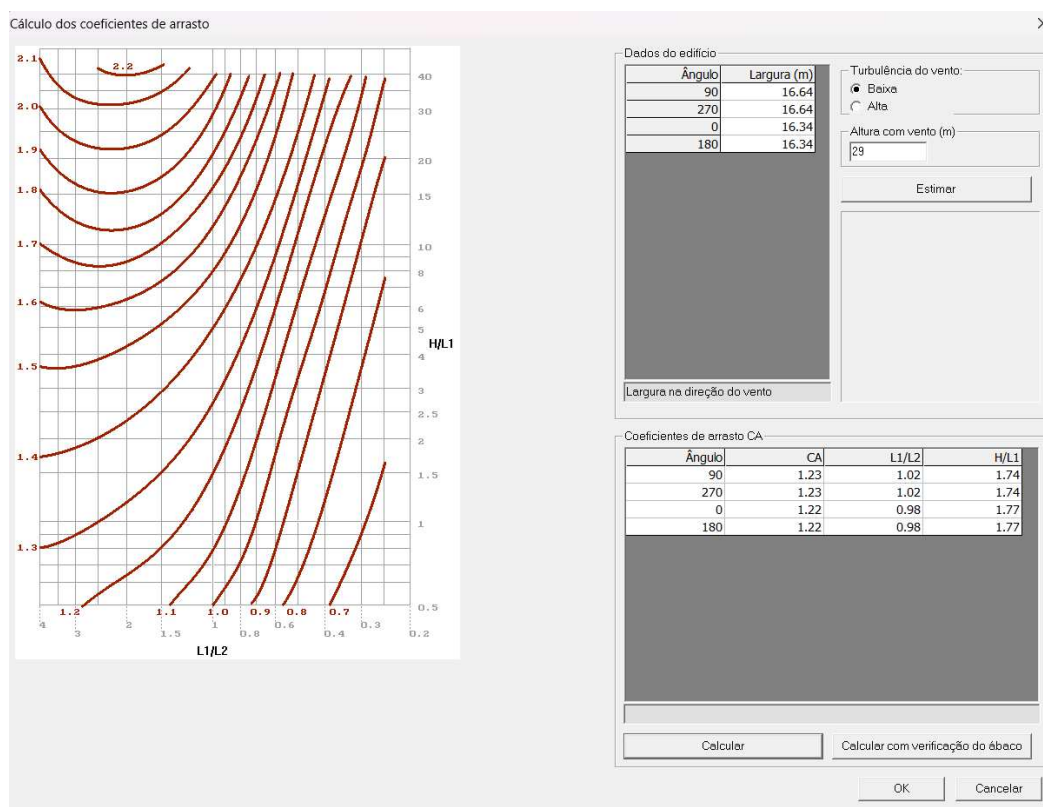
Fonte: TQS Alvest.

Para os parâmetros de cálculo das forças do vento, são definidos: os ângulos de incidência das forças; os coeficientes de arrasto (CA); a velocidade característica

do vento (V_0); o fator do terreno (S_1); a categoria de rugosidade e a classe da edificação (S_2); e o fator estatístico (S_3). Seguindo os mesmos aspectos abordados no modelo 1, as figuras 72 e 73 mostram essas definições feitas para o modelo 2, onde foram definidos:

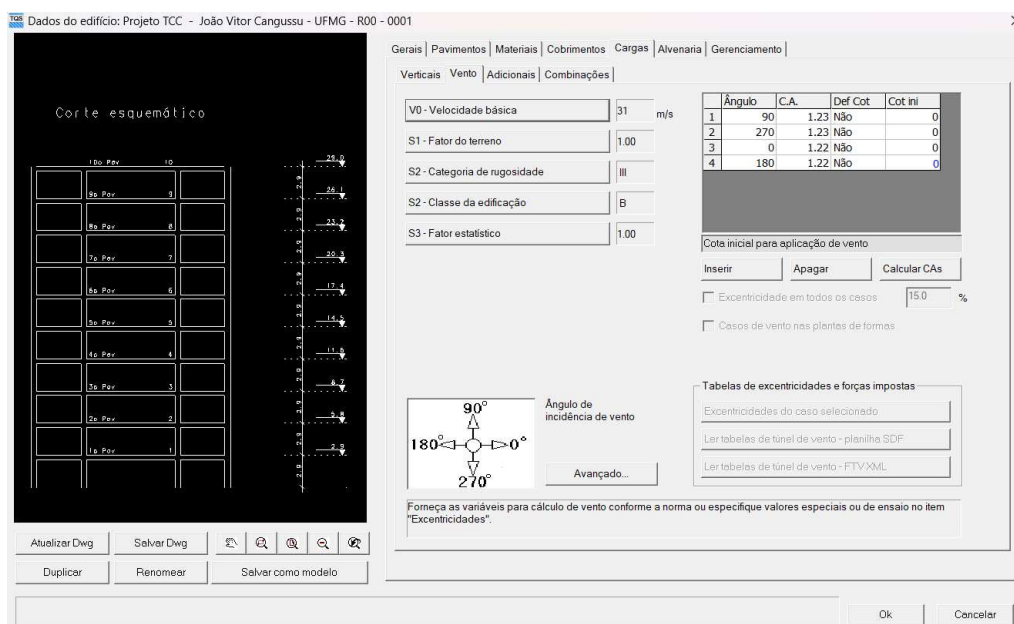
- quatro ângulos de incidência do vento, sendo eles: 0° (X+), 180° (X-), 90° (Y+) e 270° (Y-);
- os coeficientes de arrasto iguais a 1,22 na direção X e 1,23 na direção Y, sendo eles calculados pelo *software* em função da geometria da estrutura e da turbulência do vento;
- a velocidade característica do vento de 31 m/s;
- o fator do terreno igual a 1,0;
- a categoria de rugosidade III;
- a edificação de classe B;
- e o fator estatístico igual a 1,0.

Figura 72: Cálculo dos coeficientes de arrasto no *TQS Alvest*



Fonte: *TQS Alvest*.

Figura 73: Definição dos parâmetros de vento no *TQS Alvest*



Fonte: *TQS Alvest*.

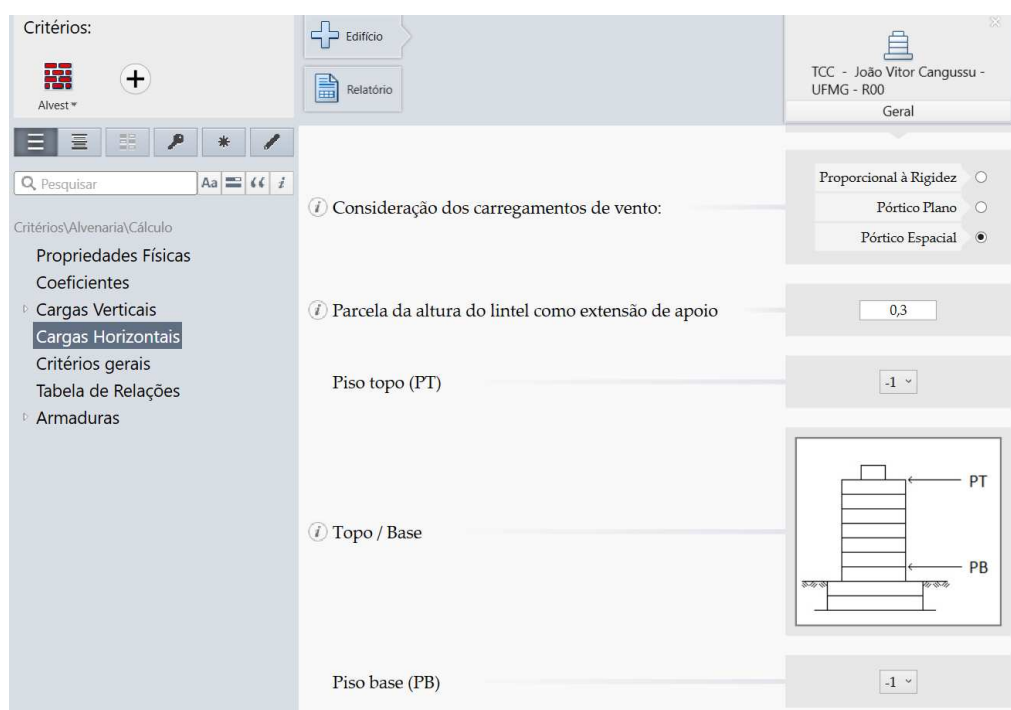
Os critérios de projeto do *software* são pré-definidos em função das recomendações da norma adotada, mas é possível suas alterações de acordo com as vontades do usuário. Para a elaboração do projeto foram necessárias apenas as definições:

- dos critérios de projeto de material, onde foi escolhido a resistência de referência do prisma (f_{pk});
- dos critérios de cálculo das tabelas de reações, onde são definidas as resistências dos materiais (argamassa e graute) e prisma em função da resistência do bloco;
- e dos critérios de cálculo das cargas horizontais, onde o programa possibilita escolher entre os modelos de: carregamentos de vento proporcional a rigidez, pórtico plano e pórtico espacial.

Durante a execução do trabalho, ao adotar o modelo de pórtico plano do *TQS Alvest*, foi observada a ausência de força normal devido a atuação das forças horizontais, o que possibilitou concluir que esse modelo considera as paredes das direções X e Y ligadas por barras horizontais articuladas, trabalhando como paredes isoladas, e não como um pórtico. Com isso, foi definido o modelo de pórtico espacial nos critérios para as cargas horizontais (figura 74), já que esse modelo considera a formação dos pórticos com a interação das paredes por meio dos lintéis e se

assemelha mais com o modelo de pórtico plano adotado no dimensionamento manual (itens 6.6.2 e 6.6.3 deste trabalho).

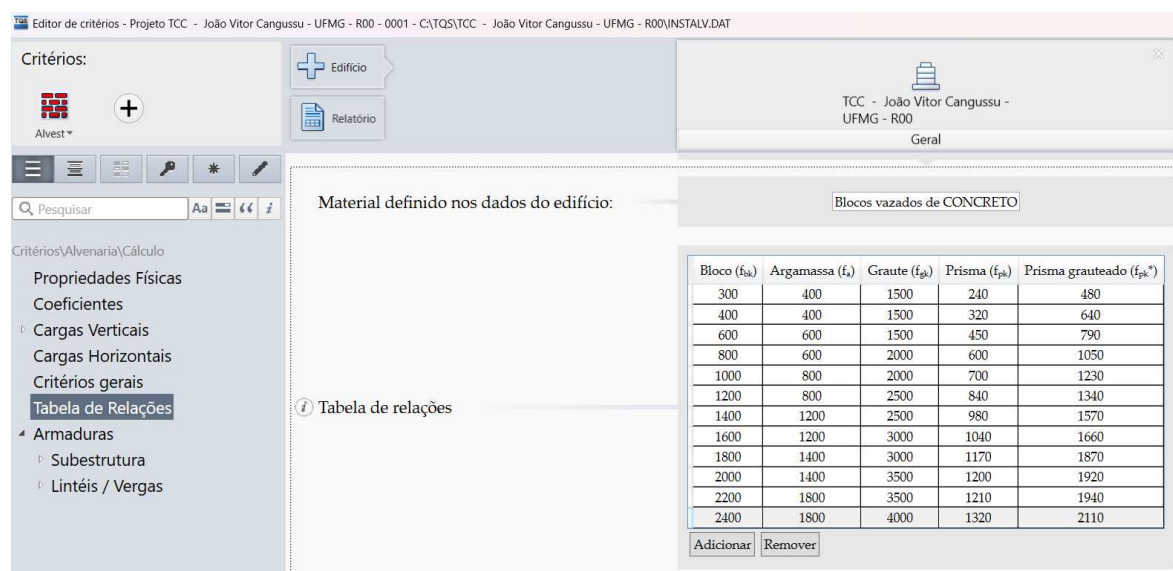
Figura 74: Definição dos critérios para as cargas horizontais



Fonte: TQS Alvest.

Nos critérios de cálculo da tabela de reações, foram definidas as resistências dos materiais conforme o anexo F da NBR 16868-1:2020, como mostrado na figura 75.

Figura 75: Definição da tabela de reações no TQS Alvest



Fonte: TQS Alvest.

Nos critérios de projeto de material foi definido a resistência de referência do prisma igual a 700 tf/m^2 , o que corresponde ao mesmo módulo de elasticidade adotado no dimensionamento do modelo 1, com o valor de 5600 MPa. A figura 76 mostra essa definição feita no *TQS Alvest*.

Figura 76: Definição do fpk de referência no *TQS Alvest*

Fonte: *TQS Alvest*.

Por fim, no catálogo de fabricantes de blocos de alvenaria foram considerados blocos vazados de concreto da família 29, contendo as dimensões (largura x altura x comprimento) de 14x19x29 (bloco inteiro), 14x19x14 (meio bloco) e 14x19x44 (bloco e meio). O *software* possui uma lista de fabricante chamada “CONCRE30” que apresenta esses blocos da família 29, como mostrado na figura 77.

Figura 77: Definição do fabricante para o projeto no *TQS Alvest*

Nome	Família	Elv Long	Elv Trans	Tipo	Compr	Larg	Alt	Área	InérciaX	InérciaY
K3015	30x15	K3015L	K3015T	INT	29,0	14,0	19,0	176	4715	15440
K1515	30x15	K1515L	K1515T	MEIO	14,0	14,0	19,0	96	2368	2368
K4515	30x15	K4515L	K4515T	T	44,0	14,0	19,0	256	7061	48021
KVR15	30x15	KVR15L	KVR15T	VAR	,0	,0	,0	0	0	0
K4515F	30x15	K4515L	K4515T	E/G	44,0	14,0	19,0	508	9161	83973
K4515G2	30x15	K4515L	K4515T	E/G	44,0	14,0	19,0	424	8461	66501
K4515G1	30x15	K4515L	K4515T	E/G	44,0	14,0	19,0	340	7761	65493
K1515G	30x15	K1515L	K1515T	E/G	14,0	14,0	19,0	166	2951	2951
K3015F	30x15	K3015L	K3015T	E/G	29,0	14,0	19,0	337	6056	24550

Fonte: *TQS Alvest*.

7.2 Entrada gráfica do edifício

Após a criação do edifício, é realizada a entrada gráfica de cada pavimento criado. Como o edifício em estudo consiste em uma estrutura com 10 pavimentos tipo, foi feita apenas a entrada gráfica desse pavimento, onde foram feitas:

- a definição dos dados das lajes, portas e janelas;
- o lançamento dos blocos de alvenaria e aberturas de paredes, seguindo o projeto arquitetônico;
- a definição das paredes estruturais;
- o lançamento das lajes sobre as paredes;
- e a definição dos grupos isolados de paredes.

Seguindo os mesmos critérios adotados no modelo 1: as escadas foram definidas com a espessura de 15 cm, carga permanente de 0,10 tf/m e carga acidental de 0,20 tf/m; e as lajes foram definidas com espessura de 10 cm, carga permanente de 0,10 tf/m² e carga acidental de 0,15 tf/m². Para as portas e janelas, foram definidas aberturas com dimensões de 60x220, 75x220, 90x220, 60x60, 75x60, 105x120, 120x120 e 135x120, o que ocasionou na geração dos mesmos lintéis definidos no modelo 1. É importante ressaltar que o padrão do programa é rotular completamente os lintéis, com o valor do “coeficiente para a plastificação à flexão do lintel” igual a zero, o que faz ser necessário alterar esse valor do coeficiente para 1, em cada porta e janela, a fim de considerar os lintéis engastados, como exemplificado na figura 78.

Figura 78: Definição dos dados de aberturas de paredes no *TQS Alvest*

Notas:

1. Para melhorar a visualização das aberturas, na planta, defina as larguras (DimY) maiores que a espessura das paredes (t_parede). Somando à espessura, por exemplo, 10 (dez) centímetros.
2. O exemplo é para uma alvenaria de modulação 39 (comprimento) x 14 (espessura) x 19 (altura). Medidas em cm. Verifique a MODULAÇÃO da alvenaria do projeto.

Dimensionamento do trecho entre Aberturas e entre Pavimentos

☐ Vergas / contra-vergas simples (carga vertical)

☒ Lintel composto (vergas + contra-vergas + fiadas + cintas + lajes) ?

Coeficiente para "Plastificação" à flexão do "Lintel" 1 ?

Biblioteca de desenhos (blocos) personalizados

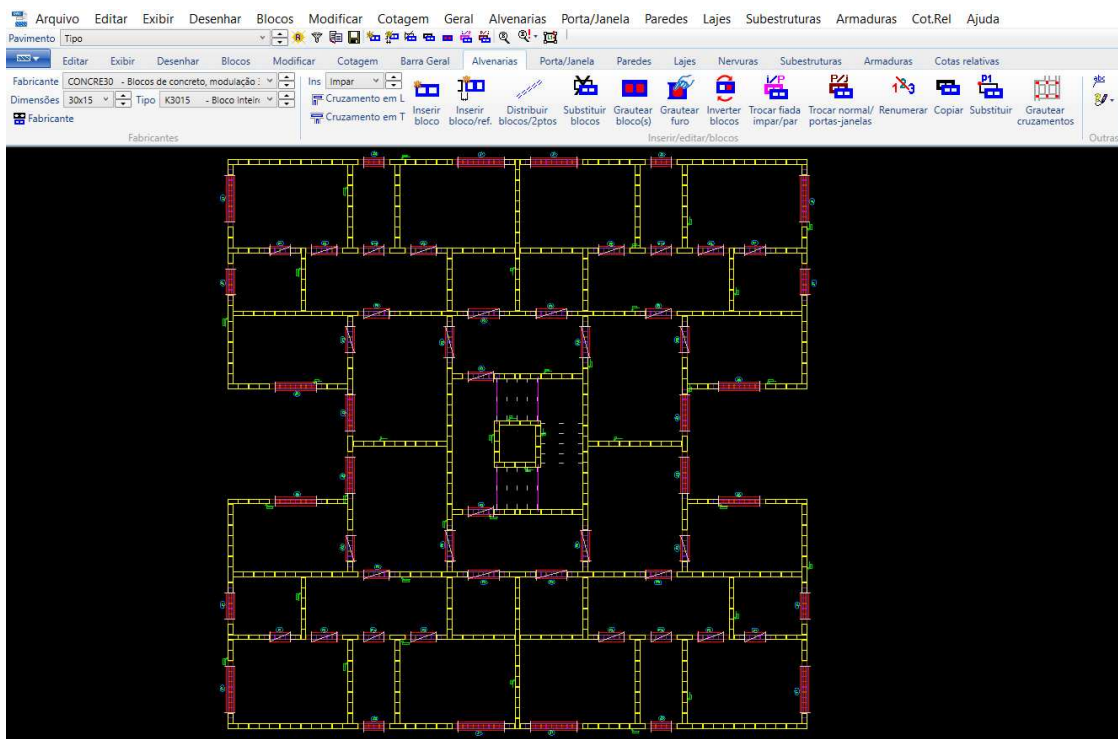
Ok Cancelar

Fonte: *TQS Alvest*.

Em seguida, foi feito o lançamento dos blocos de alvenaria e das aberturas das paredes (figura 79), seguindo o projeto arquitetônico apresentado na figura 1 no item 5.1 deste trabalho. O lançamento da estrutura permite a definição das paredes

estruturais (figura 80), que gera uma linha de carga em seu eixo, representando seu peso próprio e o perímetro, que possibilita a entrada gráfica das lajes (figura 81). Para considerar as lajes içadas sobre as paredes (simplesmente apoiadas), foi feita a articulação dos apoios para não gerar continuidade entre as lajes.

Figura 79: Lançamento da estrutura no TQS Alvest



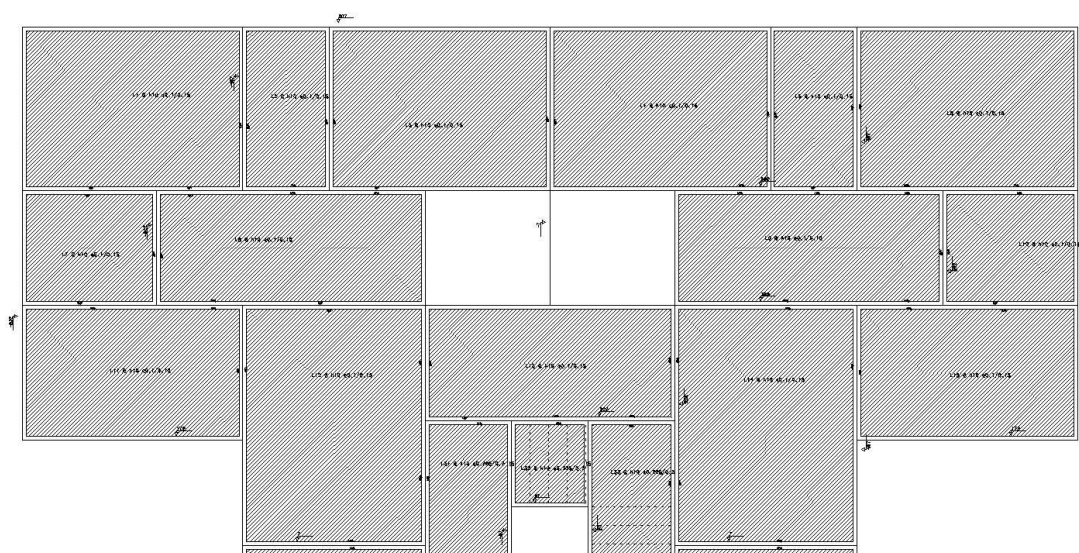
Fonte: TQS Alvest.

Figura 80: Delimitação das paredes no TQS Alvest



Fonte: TQS.

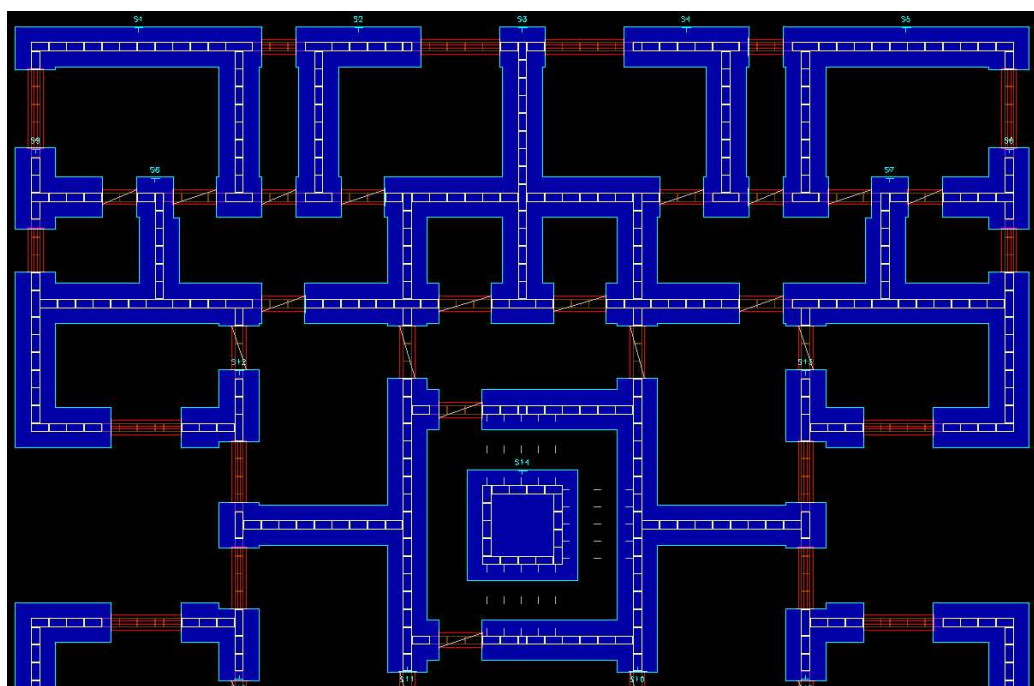
Figura 81: Entrada gráfica das lajes no *TQS Alvest*



Fonte: *TQS Alvest*.

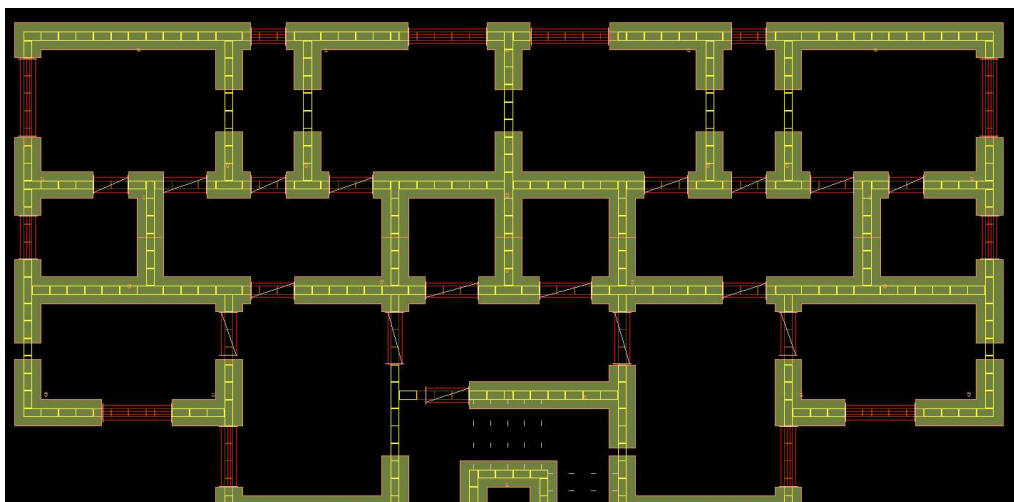
Por fim, o *TQS Alvest* permite a geração automática dos grupos isolados de paredes e das paredes resistentes as forças horizontais atuantes nas direções X e Y, mas é importante sempre verificar as geometrias geradas pelo programa e fazer as alterações necessárias. As figuras 82, 83 e 84 mostram os grupos e as paredes resistentes das direções X e Y, definidos no *software*, que apresentam as mesmas geometrias dos grupos e paredes do modelo 1.

Figura 82: Definição dos grupos de paredes no *TQS Alvest*



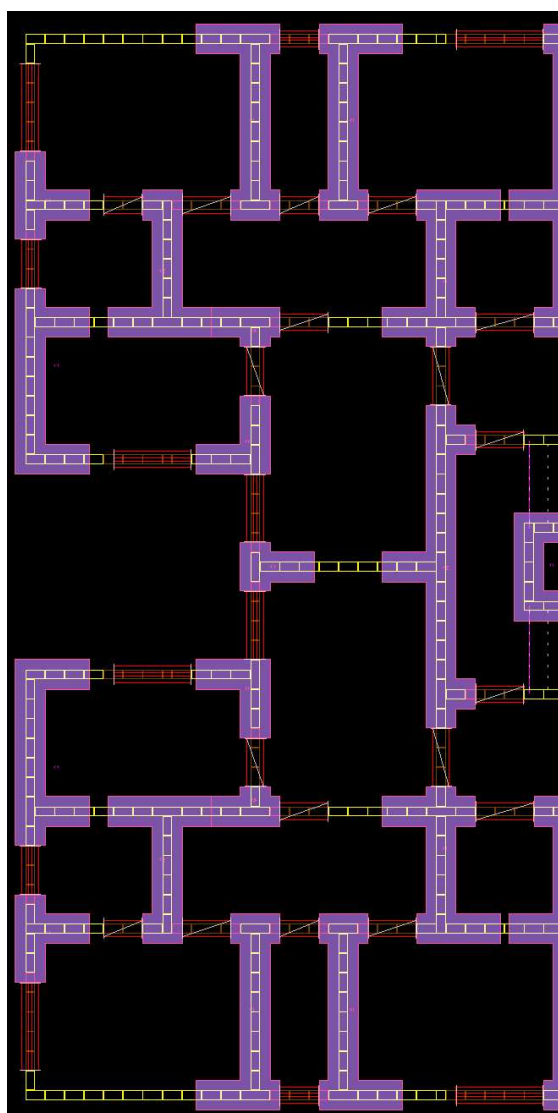
Fonte: *TQS Alvest*.

Figura 83: Definição das paredes resistentes da direção X no *TQS Alvest*



Fonte: *TQS Alvest*.

Figura 84: Definição das paredes resistentes da direção Y no *TQS Alvest*

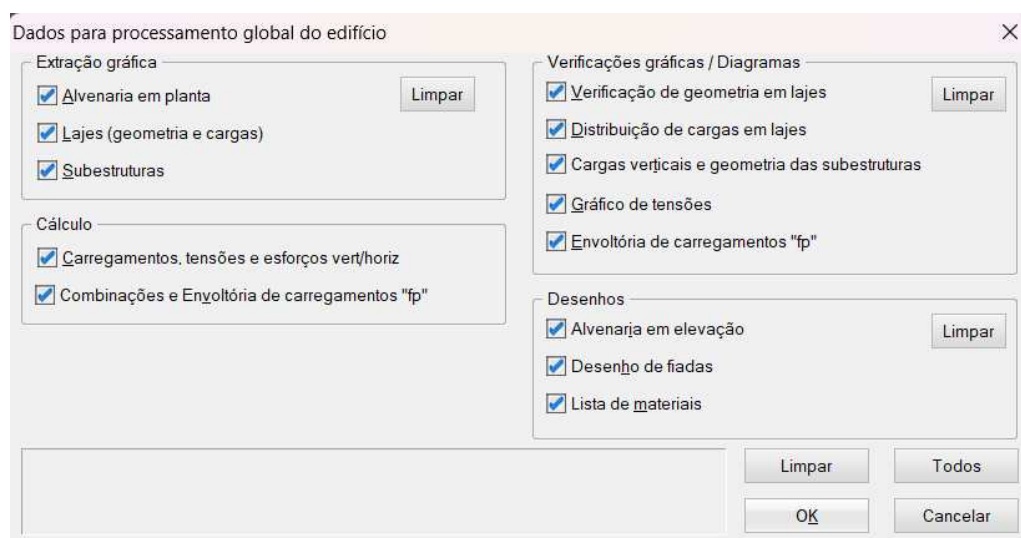


Fonte: *TQS Alvest*.

7.3 Processamento global da estrutura

Com a entrada gráfica do pavimento tipo, o próximo passo foi o processamento global da estrutura (figura 85), que permite visualizar os resultados de cálculo e dimensionamento. Este processamento leva em consideração oito casos de carregamento (tabela 25) e dezessete combinações de carregamento (tabela 26), apresentando o dimensionamento para o pior dos casos de combinação e permitindo a visualização dos resultados para cada um deles. Considerando o modelo de pórtico espacial, o *software* utiliza da técnica do nó mestre, onde as barras verticais são ligadas a um nó “mestre” de forma a simular o efeito de diafragma rígido.

Figura 85: Aba do *software* para o processamento global da estrutura



Fonte: TQS Alvest.

Tabela 25: Casos de carregamentos considerados no processamento global

Número	Caso
1	Todas as permanentes e acidentais
2	Peso próprio
3	Todas as permanentes
4	Todas as acidentais
5	Vento 1 (90° - direção Y+)
6	Vento 2 (270° - direção Y-)
7	Vento 3 (0° - direção X+)
8	Vento 4 (180° - direção X-)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 26: Combinações de carregamentos considerados no TQS Alvest

Número	Combinações
9	ELU1/PERMACID/PP+PERM+ACID
10	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
11	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
12	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
13	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
14	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
15	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
16	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
17	ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
18	FOGO/PERMVAR/PP+PERM+0.6ACID
19	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.7ACID
20	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT1
21	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT2
22	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT3
23	ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT4
24	ELS/CQPERM/PP+PERM+0.6ACID
25	COMBFLU/COMBFLU/PP+PERM+0.6ACID

Fonte: Elaborado pelo autor.

O TQS Alvest considera a pressão do desaprumo nos casos de vento, sendo necessário definir seu valor nos critérios de projeto. Conforme mostrado na figura 86, a pressão do desaprumo (q_i) a ser definida no programa foi calculada em função da carga total (N), altura (H) e largura (L) da edificação. A carga total da edificação foi dada pelo primeiro processamento global (sem a definição do desaprumo), tendo o valor de 2218,7 tf. A altura da edificação é de 29 m e as larguras são de 16,34 m para as cargas atuantes na direção X e 16,64 m para as cargas atuantes na direção Y. Com isso, os cálculos para a pressão do desaprumo foram:

- para a direção X:

$$q_i = \frac{2218,7}{100 * 29 * \sqrt{29}} * \frac{1}{16,34} = 0,009 \text{ tf/m}^2$$

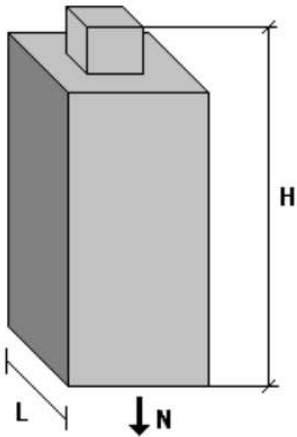
- para a direção Y:

$$q_i = \frac{2218,7}{100 * 29 * \sqrt{29}} * \frac{1}{16,64} = 0,009 \text{ tf/m}^2$$

Figura 86: Cálculo da pressão do desaprumo no TQS Alvest

$$q_i = \frac{N}{100 * H \sqrt{H}} * \frac{1}{L} \text{ (tf/m}^2\text{)}$$

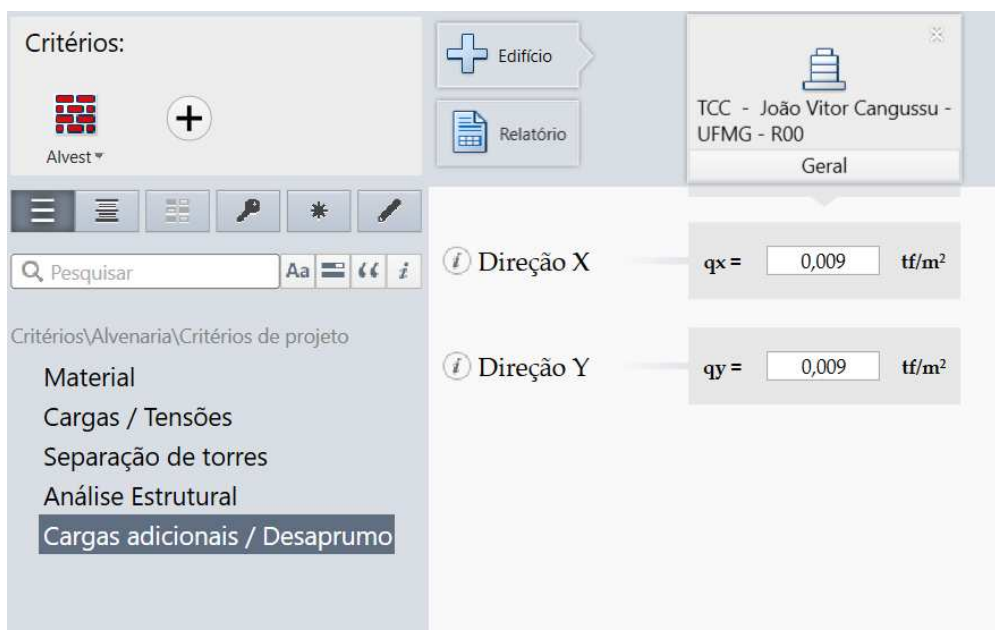
N = Carga total da edificação (tf);
 H = Altura da edificação (a partir da fundação) (m);
 L = Largura da edificação, na direção x;



Fonte: TQS Alvest.

Com isso, foi definida a pressão do desaprumo de 0,009 tf/m² para as direções X e Y (figura 87) para o novo processamento global.

Figura 87: Definição da carga adicional do desaprumo no TQS Alvest



Critérios:

Alvest

Edifício

Relatório

TCC - João Vitor Cangussu - UFMG - R00

Geral

Pesquisar

Critérios\Alvenaria\Critérios de projeto

Material

Cargas / Tensões

Separação de torres

Análise Estrutural

Cargas adicionais / Desaprumo

Direção X

qx = 0,009 tf/m²

Direção Y

qy = 0,009 tf/m²

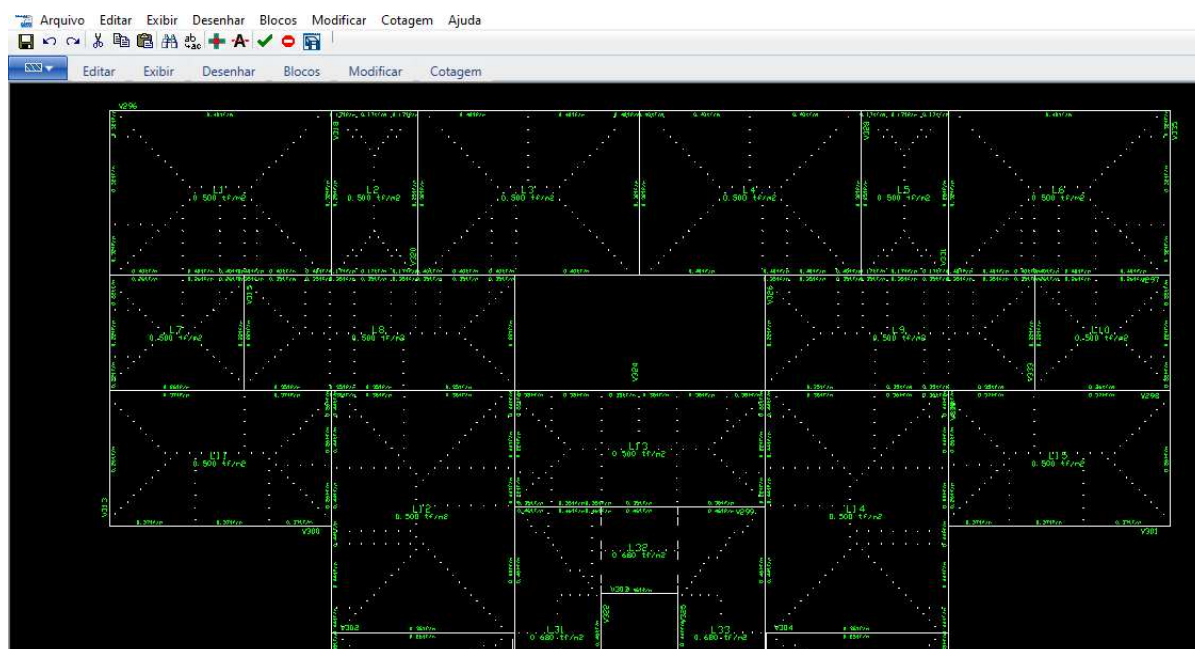
Fonte: TQS Alvest.

7.4 Resultados do processamento global da estrutura

7.4.1 Esforços verticais atuantes nas paredes do 1º pavimento

Após o lançamento e processamento global da estrutura, é possível visualizar o arquivo separado das reações das lajes (figura 88), onde foi possível perceber que o programa calculou as lajes como sendo simplesmente apoiadas sobre as paredes. A tabela 27 mostra os resultados das reações das lajes obtidos pela TQS.

Figura 88: Cálculo das reações das lajes pelo TQS Alvest



Fonte: TQS Alvest.

Tabela 27: Reações das lajes obtidas pelo TQS Alvest

RESUMO DE REAÇÃO DE APOIO DAS LAJES									
Lajes		L1 =L3	L2	L7	L8	L11	L12	L13	ESCADA
R _{laje} (tf/m)	R1	0,40	0,17	0,26	0,35	0,37	0,36	0,35	0,46
	R2	0,32	0,25	0,22	0,22	0,26	0,44	0,22	0,46
	R3	-	-	-	-	-	-	-	0,46
	R4	-	-	-	-	-	-	-	0,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

O programa também permite a visualização dos esforços verticais totais considerados no dimensionamento das paredes. No relatório das cargas verticais nas subestruturas (grupos isolados de paredes), considerando todas as cargas permanentes e acidentais da estrutura, foi possível observar que a carga total acumulada no primeiro pavimento foi de 2218,74 tf.

7.4.2 Esforços horizontais atuantes nas paredes na estrutura

O TQS Alvest calcula os esforços horizontais (F) atuantes nas estruturas em função da pressão do vento (D), da pressão do desaprumo (B), da área da projeção (C) e do coeficiente de arrasto (A). Esse cálculo é feito automaticamente pelo programa, para cada pavimento e direção de atuação, por meio da fórmula:

$$F = (D + B) * C * A$$

A pressão do vento é calculada pelo programa de acordo com os parâmetros definidos na criação do edifício (item 7.1 deste trabalho) e a pressão do desaprumo foi definido de acordo com os cálculos apresentados no item 7.3 deste trabalho. A tabela 28 apresenta os esforços horizontais atuantes nas direções X e Y, considerados para o dimensionamento da estrutura no *TQS Alvest*.

Tabela 28: Esforços horizontais atuantes na estrutura do *TQS Alvest*

Trecho	Fx (tf)	Fy (tf)
1º Pav	2,48	2,55
2º Pav	2,99	3,07
3º Pav	3,27	3,36
4º Pav	3,48	3,57
5º Pav	3,64	3,73
6º Pav	3,77	3,87
7º Pav	3,89	3,99
8º Pav	3,99	4,10
9º Pav	4,08	4,19
10º Pav	4,17	4,28

Fonte: Elaborado pelo autor.

7.4.3 Estabilidade global da estrutura

O relatório de estabilidade global gerado apresentou resultados de gama Z menores que 1,10 e de alfa menores que 0,60, podendo então classificar a estrutura como sendo indeslocável. Como mostrado na figura 89, os resultados do *software* foram:

- para a direção X (0° e 180°): gama z de 1,005 e alfa de 0,118;
- e para a direção Y (90° e 270°): gama z de 1,012 e alfa de 0,194.

Figura 89: Relatório de estabilidade global da estrutura do *TQS Alvest*

Casos de carregamento horizontal							
=====							
Caso	Título						
5	Vento (1) 90°						
6	Vento (2) 270°						
7	Vento (3) 0°						
8	Vento (4) 180°						
Legenda para as tabelas de parâmetros de instabilidade							
=====							
Legenda	Valor						
Caso	Caso simples de vento ou combinação						
Ang	Ângulo de vento (graus)						
CTot	Somatória de cargas verticais (tf - característico)						
M2	Momento de 2a ordem das cargas verticais (tfm - característico)						
CHor	Cargas horizontais (tf - característico)						
M1	Momento de 1a ordem das cargas horizontais (tfm - característico)						
GamaZ	Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. (1/(1-M2/M1*GamaF/GamaF3))						
Parâmetro de estabilidade (GamaZ) para os carregamentos simples de vento							
=====							
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	GamaZ	Alfa
5	90.0	2218.7	5.3	36.7	573.6	1.012	0.194
6	270.0	2218.7	5.3	36.7	573.6	1.012	0.194
7	0.0	2218.7	2.1	35.8	558.6	1.005	0.118
8	180.0	2218.7	2.1	35.8	558.6	1.005	0.118

Fonte: *TQS Alvest*.

7.4.4 Definição do bloco de concreto adotado no 1º pavimento

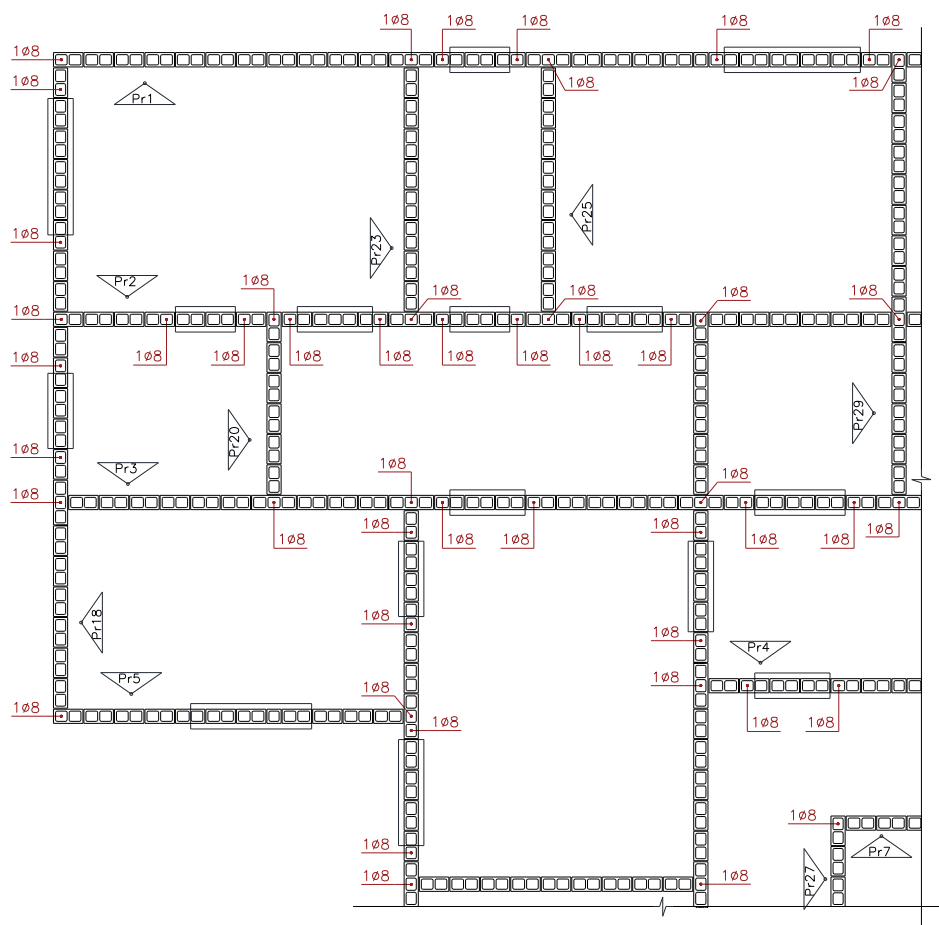
O processamento global da estrutura aponta que um prisma com resistência de 6,0 MPa é o suficiente para resistir aos esforços atuantes das paredes do primeiro pavimento. Com isso, foi definida a utilização o bloco de concreto 8,0 MPa, argamassa de 6,0 MPa e graute de 20,0 MPa.

7.4.5 Necessidade de armadura nas paredes do 1º pavimento

O processamento global da estrutura mostrou não ser necessário nenhum reforço de armação para combater a tração ou cisalhamento. Seguindo os mesmos critérios adotados no modelo 1, também foi considerado o grauteamento dos furos

das uniões das paredes e das extremidades das aberturas de portas e janelas, com uma armadura de aço CA-50 de 8 mm de diâmetro. A figura 90 mostra a armadura adotada nas paredes do primeiro pavimento.

Figura 90: Armaduras adotadas nas paredes do primeiro pavimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

8 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS 1 E 2

Com o objetivo de avaliar a viabilidade da utilização do *TQS Al/vest* na elaboração do projeto de alvenaria estrutural e apresentar suas vantagens e desvantagens em relação ao dimensionamento manual, foi feita a análise comparativa dos resultados apresentados pelos modelos 1 e 2. Para este estudo comparativo, foi levado em consideração os resultados obtidos dos esforços verticais e horizontais atuantes na estrutura, a estabilidade global, o bloco de concreto necessário nas paredes do primeiro pavimento e as armaduras de tração e cisalhamento necessárias nas paredes.

8.1 Esforços verticais atuantes nos modelos 1 e 2

Comparando os esforços verticais atuantes na estrutura, foi possível perceber que as reações das lajes obtidas nos modelos 1 e 2 (tabela 29) apresentaram valores muito próximos, tendo as cargas totais acumuladas nos grupos isolados de paredes iguais a 22187 kN para os dois modelos. Essa semelhança de resultados mostra que os dois modelos adotaram os mesmos critérios para o dimensionamento desses esforços.

Tabela 29: Comparação entre as reações das lajes nos modelos 1 e 2

Lajes	R _{laje} (kN/m)		
	Reações	Modelo 1	Modelo 2
L1 = L3	R1	4,01	4,00
	R2	3,20	3,20
L2	R1	1,70	1,70
	R2	2,49	2,50
L7	R1	2,57	2,60
	R2	2,25	2,20
L8	R1	3,54	3,50
	R2	2,25	2,20
L11	R1	3,65	3,70
	R2	2,62	2,60
L12	R1	3,56	3,60
	R2	4,41	4,40
L13	R1	3,46	3,50
	R2	2,25	2,20
ESCADA	R1	4,56	4,60
	R2	4,56	4,60
	R3	4,56	4,60
	R4	4,56	4,60

Fonte: Elaborado pelo autor.

8.2 Esforços horizontais atuantes nos modelos 1 e 2

Os esforços horizontais atuantes nos modelos 1 e 2 apresentaram valores próximos, sendo essa pequena diferença devido ao fato de que para o cálculo desses esforços no modelo 1 foi considerada a força horizontal equivalente ao desaprumo, já no modelo 2 o *software* considera a pressão do desaprumo. A tabela 30 mostra o comparativo dos esforços horizontais obtidos nos dois modelos.

Tabela 30: Comparação dos esforços horizontais dos modelos 1 e 2

Trecho	Modelo 1		Modelo 2	
	Fx (kN)	Fy (kN)	Fx (kN)	Fy (kN)
1º Pav	26,40	27,00	24,80	25,50
2º Pav	29,90	30,58	29,90	30,70
3º Pav	32,19	32,94	32,70	33,60
4º Pav	33,94	34,73	34,80	35,70
5º Pav	35,37	36,20	36,40	37,30
6º Pav	36,59	37,45	37,70	38,70
7º Pav	37,65	38,55	38,90	39,90
8º Pav	38,61	39,53	39,90	41,00
9º Pav	39,47	40,41	40,80	41,90
10º Pav	40,26	41,23	41,70	42,80

Fonte: Elaborado pelo autor.

8.3 Estabilidade global dos modelos 1 e 2

Para a estabilidade global, a estrutura foi classificada como indeslocável para os dois modelos, já que os valores obtidos para as duas direções foram menores que o limite dos dois parâmetros (conforme tabela 29). Com a análise comparativa dos resultados, foi possível perceber que o *software* apresenta valores de gama z e alfa praticamente iguais aos obtidos pelo cálculo manual, podendo atribuir essa pequena diferença ao fato de que no modelo 2 foi utilizado o modelo de pórtico espacial e no modelo 1 foi utilizado o modelo de pórtico plano.

Tabela 31: Parâmetros de estabilidade global nos modelos 1 e 2

Parâmetro	Limite	Direção	Modelo 1	Classificação	Modelo 2	Classificação
Alfa	$\leq 0,60$	X	0,117	Indeslocável	0,118	Indeslocável
		Y	0,182	Indeslocável	0,194	Indeslocável
Gama Z	$\leq 1,10$	X	1,003	Indeslocável	1,005	Indeslocável
		Y	1,005	Indeslocável	1,012	Indeslocável

Fonte: Elaborado pelo autor.

8.4 Definição do bloco de concreto nos modelos 1 e 2

Quanto a definição do bloco de concreto do primeiro pavimento, os dois modelos mostraram que um prisma com resistência de 6,0 MPa (bloco de concreto 8 MPa,

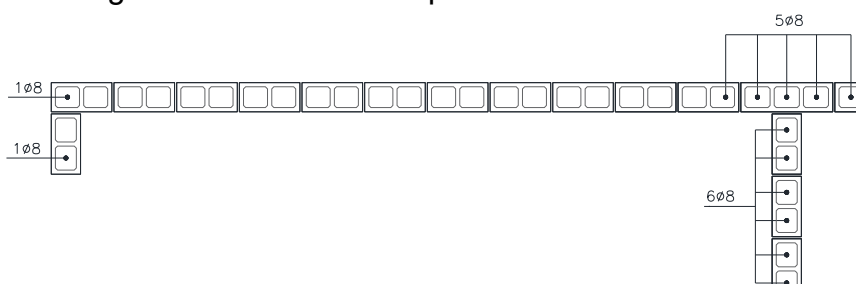
argamassa 6 Mpa e graute 20 MPa) é o suficiente para resistir aos esforços atuantes nas paredes do primeiro pavimento da estrutura.

8.5 Armaduras necessárias nas paredes dos modelos 1 e 2

Na verificação da necessidade de armadura nas paredes do primeiro pavimento, no modelo 2 não foi necessária nenhuma armadura, enquanto no modelo 1 foi necessária uma armadura de tração nas paredes Pr1x. Como os esforços horizontais e verticais atuantes na estrutura apresentam valores muito próximos nos dois modelos, é possível atribuir essa diferença do dimensionamento à tração na flexão ao modelo de pórtico espacial adotado no *TQS Alvest*, que apresenta uma diferente distribuição dos esforços por se tratar de um modelo tridimensional.

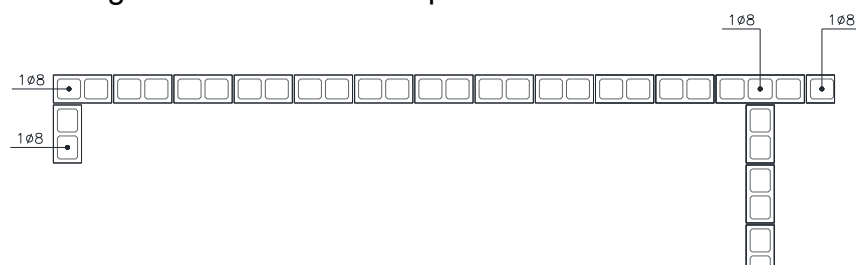
Mesmo não sendo uma recomendação de norma, nos dois modelos foi considerado o grauteamento dos furos de uniões das paredes e de extremidade das aberturas de porta e janela, com armadura de 8 mm, a fim de evitar possíveis patologias causadas pela concentração de cargas e tensões nesses pontos. Com isso, a diferença de armadura dos dois modelos foi dada apenas pelo acréscimo de 9 barras de 8 mm em cada parede Pr1x. As figuras 91 e 92 mostram as armaduras adotadas na parede Pr1x nos modelos 1 e 2, ressaltando essa diferença entre os dois modelos.

Figura 91: Armadura da parede Pr1x do modelo 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 92: Armadura da parede Pr1x do modelo 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o que foi exposto no trabalho, observou-se que a utilização do *TQS Alvest* atende as normas para o dimensionamento e apresenta maior agilidade na elaboração do projeto, quando comparado ao dimensionamento manual, devido a automatização dos cálculos e geração dos relatórios e desenhos. Mas, para a utilização do programa, faz-se necessário um cuidado na definição dos critérios de projeto e entrada gráfica da estrutura para um correto dimensionamento.

Com a elaboração deste trabalho foi possível perceber a importância de conhecer o *software* utilizado para o dimensionamento, sabendo como são feitos os cálculos e tendo uma análise crítica dos resultados apresentados. Essa importância foi ressaltada quando utilizada a opção do modelo de pórtico plano do *TQS Alvest*, onde percebeu-se que, na versão 23.10 do programa, o *software* não considera a formação de pórtico, mas sim paredes isoladas ligadas por barras rotuladas. Ao perceber a falta de forças normais devido a atuação dos esforços horizontais da estrutura, foi feita a definição do modelo de pórtico espacial para o dimensionamento, a fim de considerar a formação dos pórticos.

Durante o estudo realizado, foi feita a análise comparativa dos resultados apresentados nos modelos 1 e 2, com o intuito de apontar as vantagens e desvantagens da utilização de um *software* na elaboração de um projeto em alvenaria estrutural. O dimensionamento com a utilização do *TQS Alvest* apresentou resultados muito próximos aos resultados do dimensionamento manual, tendo uma pequena diferença nas armaduras de tração necessárias nas paredes do primeiro pavimento. Essa diferença se deu pelo fato de que no modelo 2 foi considerado o modelo de pórtico espacial, enquanto no modelo 1 foi considerado o modelo de pórtico plano.

A utilização do pórtico espacial consiste em um dimensionamento mais sofisticado quando comparado com o pórtico plano, levando em consideração as geometrias e comportamentos da estrutura em um modelo tridimensional. Dessa forma, compreendeu-se que o modelo 2 é mais eficaz por apresentar um dimensionamento mais próximo da realidade e por apresentar maior agilidade na elaboração do projeto. Levando em consideração os resultados apresentados neste trabalho, foi possível perceber a importância do constante investimento em *softwares* que auxiliem e aperfeiçoem o dimensionamento estrutural, a fim de otimizar e aprimorar a elaboração de projetos.

REFERÊNCIAS

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.

MOHAMED, Gihad (organizador). **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2020.

RAUBER, Felipe Claus. **Contribuição ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

RAZOR. **História dos softwares: AutoCAD e suas contribuições para as engenharias e arquitetura**. Razor do Brasil LTDA, Passo Fundo, 25 maio. 2020. Disponível em: < <https://razor.com.br/blog/tecnologia/historia-do-autocad/#>>. Acesso em: 17 de mar. 2024.

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.

TQS. **Quem Somos**. Disponível em: <<https://www.tqs.com.br/tqsabout/company>>. Acesso em 15 jan. 2024.

TQS Docs. **Alvenaria estrutural**. TQS Informática LTDA. Disponível em: <<https://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3977&language=pt-BR>>. Acesso em 15 jan. 2024.