

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

LUCAS MAX PARREIRA SCHULZ

**ANÁLISE ESTRUTURAL E ECONÔMICA DE
MÉTODOS CONSTRUTIVOS SEMELHANTES
PARA EDIFÍCIOS EXECUTADOS EM
ALVENARIA ESTRUTURAL**

Belo Horizonte

2023

Lucas Max Parreira Schulz

**"ANÁLISE ESTRUTURAL E ECONÔMICA DE MÉTODOS CONSTRUTIVOS
SEMELHANTES PARA EDIFÍCIOS EXECUTADOS EM ALVENARIA
ESTRUTURAL "**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Orientador: Prof. Roberto Márcio da Silva

Belo Horizonte

2023



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

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

Aos **vinte e sete dias** do mês de **dezembro de 2023**, às 20h, o estudante **Lucas Max Parreira Schulz**, matrícula 2018698669, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise Estrutural e Econômica de Métodos Construtivos Semelhantes para Edifícios Executados em Alvenaria Estrutural**”.

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: (85)

Examinador(a): Alba Bruna Cintra De Grandi



Documento assinado eletronicamente por **Roberto Marcio da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 08/01/2024, às 15:28, 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 08/01/2024, às 19:25, 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 09/01/2024, às 13:15, 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 **2946381** e o código CRC **D4A067D4**.

Resumo

Algumas decisões na construção civil, são de extrema importância para obtenção de excelência no custo-benefício final de uma obra. O objetivo deste trabalho, consiste em analisar e comparar os resultados obtidos em dois métodos semelhantes de execução de um edifício residencial de cinco pavimentos, localizado em um terreno de 367 m² na região do bairro Padre Eustáquio, cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. No primeiro método analisado, encontra-se a edificação predial em sua totalidade, executada em alvenaria estrutural, tanto suas paredes internas, quanto as paredes externas. Já no segundo método, o edifício é desenvolvido parte em alvenaria estrutural, sendo suas paredes externas em blocos estruturais de concreto, e o restante, ou seja, as paredes internas, optando pela confecção em divisórias de drywall. Para obtenção dos resultados do estudo deste trabalho, foram efetuados todos os cálculos e análises necessárias conforme exigido nas normas brasileiras incidentes para os métodos construtivos empregados em tal edifício, e serão demonstrados a seguir. Pôde-se se observar, que no primeiro caso, onde a construção é em sua totalidade executada em blocos estruturais de concreto, pontos positivos como, lajes mais simples e econômicas, dispensando escoramento, e blocos de concreto e argamassas para assentamento estruturais com resistência relativamente baixa, resultando em um método mais econômico. Já os pontos negativos para tal, podem ser listados pela impossibilidade de efetuar qualquer alteração nos cômodos internos do imóvel, e também dificultar a compatibilização de projetos complementares à edificação. No segundo caso, tendo a elaboração do empreendimento em alvenaria estrutural e paredes de drywall, temos como principal ponto favorável, a possibilidade de modificação completa de todos os cômodos presentes no interior do apartamento, e a facilitação de adequação dos projetos complementares. Porém, temos os ônus, onde os blocos de concreto e argamassas para assentamento estruturais presentes nas paredes externas, terão resistência mais alta, acompanhado de lajes mais espessas, resistentes e com necessidade de escoramentos, e também divisórias em drywall com maior custo comparado ao assentamento em blocos estruturais. Contudo, conclui-se que ambos processos construtivos são eficazes, o que determinará a escolha, será a análise mediante fatores relacionados ao padrão de moradia exigida para o local, sendo economicamente distintos.

Palavras-Chave: Alvenaria estrutural; Drywall; Custo-benefício; Construção civil.

Abstract

Your decisions in civil construction are extremely important to obtain excellence in the final cost-benefit of a work. The objective of this work is to analyze and compare the results obtained in two similar methods of execution of a residential building with five floors, located in a plot of 367 m² in the neighborhood of Padre Eustáquio, city of Belo Horizonte, state of Minas Gerais. In the first method analyzed, there is the building in its entirety, executed in structural masonry, both its internal walls and external walls. In the second method, the building is developed partly in structural masonry, with its external walls in concrete blocks, and the rest, that is, the internal walls, opting for the manufacture of drywall partitions. In order to obtain the study results of this work, all the necessary calculations and analyzes were approved as required in the Brazilian norms applicable to the construction methods used in such a building, and will be demonstrated below. It could be observed that in the first case, where the construction is entirely carried out in incorporated concrete blocks, positive points such as simpler and compulsory slabs, dispensing with shoring, and concrete blocks and mortars for laying with relatively low resistance, caused in a more economical method. The negative points for this, however, can be marked by the impossibility of simulating any alteration in the internal rooms of the property, and also hindering the compatibility of complementary projects to the building. In the second case, having the development of structural masonry and drywall walls, we have as main favorable point, the possibility of complete modification of all the rooms present inside the apartment, and the facilitation of improvement of complementary projects. However, we have the onus, where the concrete blocks and mortar for integrated settlements present on the external walls, will have higher resistance, accompanied by thicker, more resistant slabs and with the need for shoring, and also divisions in drywall with higher cost compared to the settlement in independent blocks. However, it is concluded that both construction processes are effective, which will determine the choice, will be the analysis through factors related to the standard of training required for the location, being economic differentiated.

Keywords: Structural masonry; Drywall; Cost benefit; Construction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVO	10
2.1	Objetivo Geral	10
2.2	Objetivos Específicos	10
3	REVISÃO DA LITERATURA	10
3.1	A Alvenaria e seu Desenvolvimento	10
3.2	Alvenaria Estrutural.....	11
3.3	Componentes da Alvenaria Estrutural.....	12
3.3.1	Blocos estruturais.....	12
3.3.2	Argamassa.....	13
3.3.3	Graute	14
3.3.4	Armadura	15
3.4	Modulação	16
3.5	Vantagens e Desvantagens da Alvenaria Estrutural	17
3.6	Drywall	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	Arquitetura do Edifício	21
4.2	Dimensionamento Completo Apenas em Alvenaria Estrutural.....	23
4.2.1	Modulação da alvenaria.....	23
4.2.2	Determinação das cargas verticais e tensões normais	27
4.2.3	Ação do vento e desaprumo.....	30
4.2.4	Verificação das estruturas de contraventamento	35
4.2.5	Resistência dos prismas, blocos e argamassas.....	35

4.2.6	Verificação das tensões de cisalhamento e tração	38
4.2.7	Dimensionamento da fundação em radier	41
4.3	Dimensionamento em Alvenaria Estrutural e Drywall.....	42
4.3.1	Modulação da alvenaria.....	42
4.3.2	Determinação das cargas verticais e tensões normais	46
4.3.3	Ação do vento e desaprumo.....	48
4.3.4	Verificação das estruturas de contraventamento	53
4.3.5	Resistência dos prismas, blocos e argamassas.....	54
4.3.6	Verificação das tensões de cisalhamento e tração	56
4.3.7	Dimensionamento da fundação em radier	59
4.4	Levantamento de Custos Básicos de Ambos Métodos	60
5	CONCLUSÃO	62
6	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICE A	65
	APÊNDICE B	106

1 INTRODUÇÃO

O método construtivo em alvenaria, pode ser identificado em edificações milenares, sendo um dos mais tradicionais até hoje encontrados no âmbito. No início de sua aplicação, eram utilizados tijolos de barro com baixa resistência ou pedra, de forma empírica (Ramalho; Corrêa, 2003).

Ainda segundo Ramalho e Corrêa (2003), passa-se a desenvolver peças de cerâmica cozida e de outras matérias primas com resistência elevada, porém, ainda sim sendo projetados empiricamente.

Contudo, mediante um aumento expressivo em pesquisas nas últimas décadas, a alvenaria passou a ser escolhida no mercado de engenharia atual, como um material com especificações cientificamente rigorosas (Ramalho; Corrêa, 2003).

Diante do exposto sobre a alvenaria estrutural, conhecendo sua significativa relevância no aspecto econômico comparado a outros métodos construtivos estruturais tradicionais, o presente trabalho fará um comparativo geral entre duas formas de execução em alvenaria estrutural de um empreendimento predial residencial de cinco pavimentos, localizado em um terreno de 367 m² na região do bairro Padre Eustáquio, cidade de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais. Trata-se de um lote plano, com condições ideais para uma construção térrea iniciada desde sua base por blocos estruturais de concreto.

Inicialmente, executou-se a modulação da alvenaria em planta e vistas, com blocos vazados estruturais de concreto da família 29 e com 14 cm de espessura, de todos os pavimentos do prédio, demonstrando as 1^a e 2^a fiadas, detalhando a vista modulada de todas as paredes, sejam elas cegas ou com aberturas, e ainda efetuando o cálculo do quantitativo de todos os blocos.

Posteriormente, foi determinado conforme ABNT NBR 6120/2019, as cargas verticais e tensões normais nas paredes em todos os andares, utilizando dos procedimentos de paredes isoladas e de grupos isolados de paredes.

O próximo passo, consistiu em determinar os esforços solicitantes, e as tensões normais e de cisalhamento nas bases das paredes do pavimento térreo, devido à força do vento de acordo com a ABNT NBR 6123/1988, e ao desaprumo, considerando o modelo de paredes isoladas com abas.

Em seguida, por meio do parâmetro ALFA, avaliou-se de acordo com o procedimento de paredes isolados com abas, as estruturas de contraventamento do edifício nas duas direções, determinando se estariam adequadas, ou se necessitariam de uma análise dos efeitos de 2ª ordem.

Após, especificou-se a resistência ideal do prisma de acordo com o procedimento de grupos isolados de paredes, ação do vento e desaprumo, para o pavimento térreo, ou seja, na pior situação, para atender as prescrições da ABNT NBR 16868-1:2020. Posteriormente, também foi verificado se todas as tensões de tração e cisalhamento nas bases das paredes no pavimento térreo, estariam dentro dos limites admissíveis conforme ABNT NBR 16868-1:2020.

Para finalizar, foi efetuado o dimensionamento da fundação no modelo de radier, demonstrando os esforços e soluções obtidas em software estrutural específico para tal.

Todos os resultados obtidos e citados acima, foram encontrados para ambos os modelos construtivos em alvenaria estrutural, sendo o primeiro caso onde todas as paredes da edificação consistem em blocos estruturais de concreto, e no segundo caso, com todas as paredes internas da edificação em divisórias de *drywall*, mantendo as paredes externas com os blocos utilizados no primeiro caso. Assim, iniciou-se uma análise comparativa estrutural e financeira básica, para determinar os prós e contras, juntamente com o custo-benefício da aplicação dos dois modelos construtivos apresentados.

O seguinte trabalho, tem sua criação idealizada, com o intuito de ampliar as formas de trabalhabilidade com a alvenaria estrutural em edificações, possibilitando ao construtor a escolha de um dos métodos apresentados, de acordo com a demanda local do empreendimento. Podendo assim obter diversos benefícios, como maior rapidez na execução, economia num geral, menor ocupação de canteiro de obra com materiais, flexibilidade de alterações no projeto interno do imóvel, entre outros.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Analisar e comparar, principalmente a estrutura e relação financeira/econômica, por meio de um estudo de diferentes procedimentos incluídos na alvenaria estrutural, as vantagens e desvantagens de ambos os métodos construtivos apresentados neste trabalho.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar e analisar o resultado obtido para as resistências finais dos blocos nos métodos utilizados;
- Verificar a necessidade de diferentes lajes para cada modelo apresentado;
- Ponderar a necessidade de armação e grauteamento de alguma parede por influência da força de cisalhamento e tração;
- Expor o comparativo entre os custos principais obtidos com o material utilizado em cada método executado.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 A Alvenaria e seu Desenvolvimento

Um sistema construtivo extremamente tradicional, a alvenaria, pode ser encontrada em estruturas milenares, desde os primórdios da humanidade, onde a princípio era desenvolvida de forma empírica e com diversos materiais, como pedra, argila e outros (Ramalho; Corrêa, 2003).

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), a alvenaria utilizada para diversos fins, hoje pode ser admirada e estudada em monumentos históricos que desafiam o tempo.

Para exemplificar a antiguidade das construções em alvenaria, citamos as Pirâmides de Guizé, são elas, Quéfren, Quéops e Miquerinos, com sua base material em blocos de pedras, com suas construções datadas em aproximadamente 2600 anos antes de Cristo (Ramalho; Corrêa, 2003).

Figura 1 – Pirâmides de Guizé



Fonte: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/> (acesso em 01/12/2023)

3.2 Alvenaria Estrutural

A alvenaria estrutural vem sendo utilizada no Brasil desde a década de 60, e mesmo que de forma empírica, obteve um sucesso expressivo nas edificações. Somente em 1977, criou-se a primeira comissão para elaboração de uma norma brasileira para projeto de alvenaria estrutural. (Parsekian; Soares, 2010).

De acordo com Parsekian e Soares (2010), nos casos de empreendimentos prediais residenciais de pequeno e médio porte, e com vãos moderados, executados em alvenaria estrutural, a redução de custos é expressiva em relação aos métodos estruturais convencionais.

Ainda conforme Parsekian e Soares (2010), na maioria dos casos, edifícios construídos em larga escala, utilizam do sistema em alvenaria estrutural, sendo extremamente viável mediante planejamento, controle, rapidez e racionalização do empreendimento.

Tal método é recomendado principalmente para construções que não haja previsão de alteração na arquitetura do edifício, ou caso houver, que sejam pequenas modificações (Parsekian; Soares, 2010).

Figura 2 – Edifício em alvenaria estrutural



Fonte: <https://www.focomagazine.com.br/> (acesso em 01/12/2023)

3.3 Componentes da Alvenaria Estrutural

Os principais componentes utilizados em uma parede de alvenaria estrutural, são os blocos estruturais, argamassas, grautes e armaduras. Entende-se como elemento, a junção de dois ou mais componentes, formando assim a estrutura da alvenaria (Pinheiro, 2018).

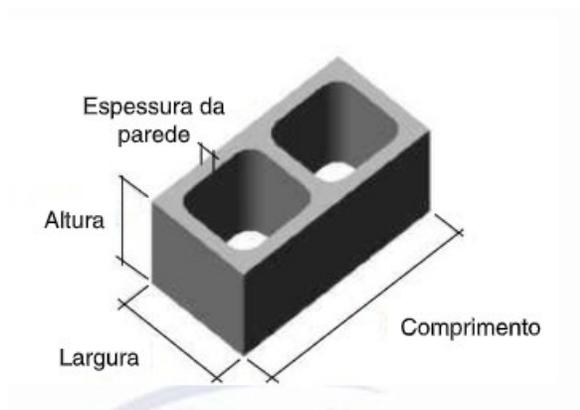
3.3.1 Blocos estruturais

Os blocos estruturais são denominados unidades, onde são encarregados pela caracterização da resistência das estruturas. Tal componente, pode ser comumente encontrado no Brasil, produzido nos seguintes materiais: concreto, cerâmica ou sílico-calcáreo (Ramalho; Corrêa, 2003).

De acordo com a ABNT NBR 6136:2016 - Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos, para os blocos de concreto serem considerados como estruturais, essas unidades devem possuir resistência característica mínima à compressão axial de 4 MPa.

Para Parsekian e Soares (2010), os blocos estruturais cerâmicos devem ter resistência mínima de 3 MPa, sendo que os mais encontrados comumente no atual cenário, são aqueles com resistência de 6 MPa.

Figura 3 – Bloco estrutural de concreto



Fonte: ABNT NBR 6136:2016

Figura 4 – Bloco estrutural cerâmico



Fonte: www.ceramicaformigari.com.br/ (acesso em 05/12/2023)

3.3.2 Argamassa

A principal função da argamassa na alvenaria estrutural, é a junção entre os blocos, fazendo com que o apoio entre eles, seja uniforme. Na maioria dos casos, a argamassa de assentamento é composta por cimento, cal e areia (Parsekian; Soares, 2010).

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), além da função de solidarização dos blocos, a argamassa de assentamento, também exerce funções de transmissão e uniformização das tensões entre os blocos, absorção de pequenas deformações e prevenção da entrada de vento e água nas edificações.

De acordo com a ABNT NBR 16868-1:2020, a resistência da argamassa de assentamento, é definida conforme tabela F.1 presente no Anexo F, proporcionalmente escolhida conforme o bloco destinado à parede, partindo de 4 MPa.

Figura 5 – Argamassas estruturais



Fonte: <https://www.precon.com.br/> (acesso em 06/12/2023)

3.3.3 Graute

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), o graute é um concreto com agregados miúdos, de alta fluidez, onde é utilizado em eventuais necessidades de ocupação dos vazios dos blocos.

O lançamento do graute é destinado aos furos verticais dos blocos estruturais ou nos blocos canaletas presentes nas cintas, vergas e contravergas. Suas principais funções são de aumentar a resistência à compressão de uma parede, e havendo armadura, unificá-la às paredes (Parsekian; Soares, 2010).

Conforme indicado na tabela presente no Anexo F da ABNT NBR 16868-1:2020, é recomendado a utilização do graute com resistência superior a 15 MPa.

Figura 6 – Inserção de graute em bloco estrutural



Fonte: <https://rangellage.com.br/> (acesso em 06/12/2023)

3.3.4 Armadura

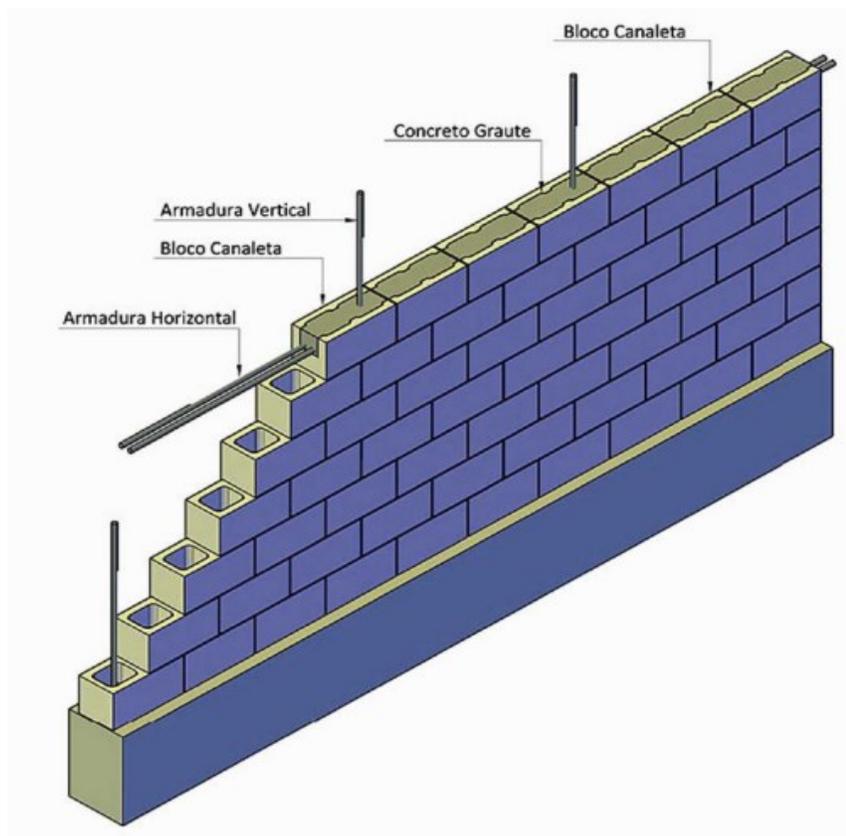
Segundo Sampaio (2010), as armaduras são as barras de aço que convencionalmente também são utilizadas nas estruturas de concreto armado.

Podem ser aplicadas em situações em que haja necessidade do aumento da capacidade de carga da parede, ou também, em ocasiões que o esforço de tração nas paredes ultrapasse os limites aceitáveis para a alvenaria não armada (Sampaio, 2010).

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), tais barras de aço, sempre serão envolvidas pelo graute, para que ambos trabalhem em sincronia com os outros componentes da alvenaria estrutural.

Excepcionalmente, as armaduras podem ser inseridas nas juntas das argamassas de assentamento, porém, o diâmetro mínimo da mesma não poderá ser inferior a 3,8 mm, e o diâmetro máximo não deverá ultrapassar 50% da espessura da junta de argamassa (Ramalho; Corrêa, 2003).

Figura 7 – Posição das armaduras nos blocos estruturais



Fonte: <https://edisciplinas.usp.br/> (acesso em 08/12/2023)

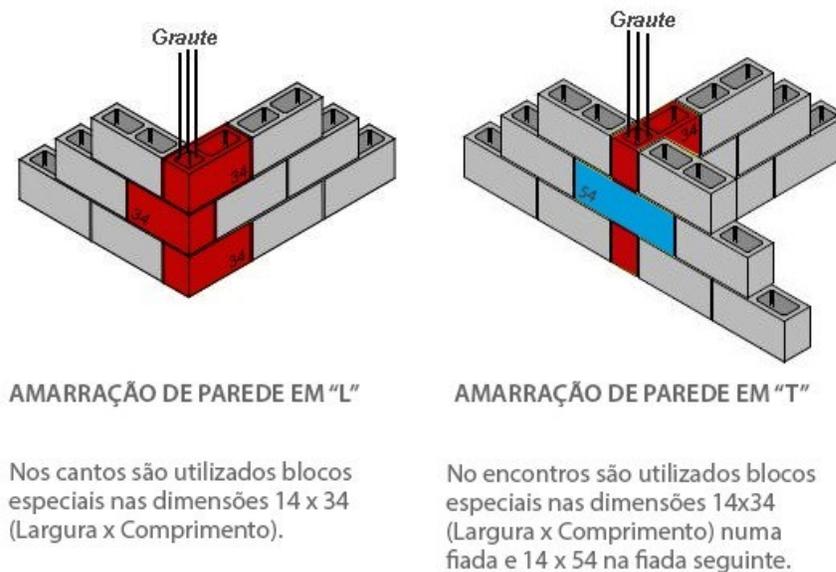
3.4 Modulação

Como não é permitido a quebra de blocos em projetos de alvenaria estrutural, faz-se necessário que as dimensões arquitetônicas do projeto, sejam de acordo com o padrão modular dos blocos, ou seja, devem possuir medidas múltiplas da dimensão padrão (Parsekian; Soares, 2010).

É de fundamental importância a modulação das paredes, para que se possa obter economia e racionalidade na obra, eliminando cortes e enchimentos nos blocos. Caso não haja, os efeitos negativos são diversos (Ramalho; Corrêa, 2003).

Ramalho e Corrêa (2003) cita como pontos negativos da não modulação, o aumento do custo de mão de obra e defasagem no dimensionamento da estrutura em geral, onde as paredes trabalhando isoladamente, penalizam a distribuição das ações nas paredes e a economia do conjunto.

Figura 8 – Demonstração de amarração dos blocos estruturais



AMARRAÇÃO DE PAREDE EM "L"

Nos cantos são utilizados blocos especiais nas dimensões 14 x 34 (Largura x Comprimento).

AMARRAÇÃO DE PAREDE EM "T"

No encontros são utilizados blocos especiais nas dimensões 14x34 (Largura x Comprimento) numa fiada e 14 x 54 na fiada seguinte.

Fonte: <https://comunidade.altoqi.com.br/> (acesso em 10/12/2023)

3.5 Vantagens e Desvantagens da Alvenaria Estrutural

Citamos a seguir as principais vantagens do sistema de alvenaria estrutural comparado aos sistemas convencionais de estruturas de concreto armado, conforme Ramalho e Corrêa (2003):

- a) Economia de fôrmas

Utilizadas apenas para os casos em que houver necessidade para as lajes, onde são fôrmas lisas, baratas e reaproveitáveis.

b) Redução significativa nos revestimentos

Como os blocos estruturais possuem grande controle de qualidade e execução, os revestimentos são reduzidos de forma significativa. Comumente nas paredes internas, o revestimento tem sido uma camada de gesso aplicada diretamente sobre os blocos.

c) Redução nos desperdícios de material e mão de obra

Devido as paredes não poderem receber significativas modificações posteriores na arquitetura, como aberturas ou rasgos para passagens de instalações complementares, a redução do desperdício é considerável.

d) Redução do número de especialidades

Dispensam a presença de profissionais inutilizados para a obra, como armadores e carpinteiros.

e) Flexibilidade no ritmo de execução da obra

Caso as lajes sejam de pré-moldados, o tempo de cura não estará vinculado ao ritmo da obra, porém, deverá ser respeitado para as peças de concreto armado.

Mesmo diante das relevantes vantagens do sistema, temos também algumas desvantagens da alvenaria estrutural comparada às estruturas de concreto armado convencionais, segundo Ramalho e Corrêa (2003):

a) Dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso

Ao utilizar das paredes como parte da estrutura, conseqüentemente, as mesmas não poderão receber modificações significativas mediante projeto arquitetônico.

b) Interferência entre projetos de arquitetura/estruturas/instalações

Tratando-se de uma obra em alvenaria estrutural, os projetos sofrem com grandes interferências. Como por exemplo, o fato de não poder furar paredes sem um controle cuidadoso, afeta diretamente os projetos de instalações hidráulicas e elétricas.

c) Necessidade de uma mão de obra bem qualificada

É de extrema importância ter uma mão de obra qualificada, com instrumentos adequados, para uma correta execução da alvenaria estrutural. Faz-se necessário um treinamento prévio da equipe de trabalho, afim de evitar riscos com falhas na execução.

3.6 Drywall

Segundo a Associação Brasileira do Drywall (2012), o nome comumente dito como *drywall*, se trata de chapas de gesso com dimensões maiores, onde são encontrados comprimentos e espessuras variadas, de acordo com a necessidade e arquitetura do empreendimento.

Tais chapas são compostas por massa de gesso e aditivos prensadas entre duas lâminas acartonadas, e possuem três tipos de chapas principais, sendo elas: Standard (ST) para uso geral, Resistente à Umidade (RU) para áreas molhadas e úmidas, e a chapa Resistente ao Fogo (RF) indicada para áreas com riscos de incêndio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL, 2012).

As paredes de *drywall* ou paredes de gesso acartonado, são compostas por perfis metálicos de aço galvanizado leves e resistentes, entre duas placas/chapas de *drywall*, fixadas por parafusos autoperfurantes, e com fitas entre as juntas ou emendas de placas (BERNARDI, 2014).

Figura 9 – Parede de *drywall*



Fonte: <https://portaldaconstrucao.com/> (acesso em 12/12/2023)

4 METODOLOGIA

O presente trabalho, consiste no estudo comparativo prático e real entre dois modelos semelhantes de construção de um edifício residencial de 5 (cinco) pavimentos em alvenaria estrutural, sendo

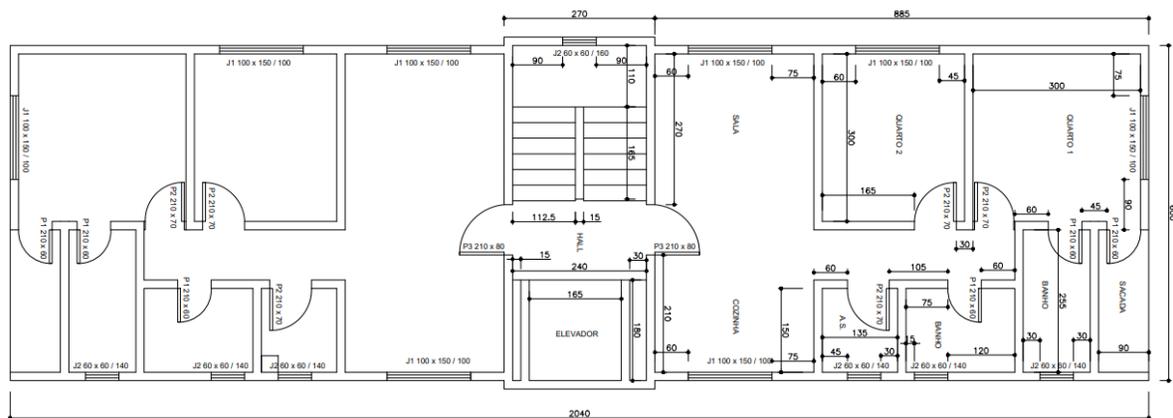
um modelo construtivo em sua totalidade composto por blocos estruturais de concreto, e no outro, as paredes externas do edifício em alvenaria estrutural e as divisórias dos cômodos internos em *drywall*.

A seguir será apresentado a arquitetura do edifício em planta para os dois casos citados acima, e assim será demonstrado os resultados obtidos mediante dimensionamento estrutural de ambos os métodos.

4.1 Arquitetura do Edifício

O edifício em análise possui cinco pavimentos, sendo dois apartamentos por andar, totalizando em dez apartamentos. Os apartamentos possuem dois quartos, dois banheiros, sala, cozinha, área de serviço e sacada. O prédio também é composto por um hall principal com escada e elevador acessando todos os andares. O apartamento mede 8,85 metros de comprimento, por 6,00 metros de largura, com área total de 53,10 m² cada. Todo o edifício, mede 20,40 metros de comprimento, por 6,30 metros de largura, contando a saliência externa do hall principal. A área total construída do edifício é de 616,05 m².

Figura 10 – Planta baixa do edifício

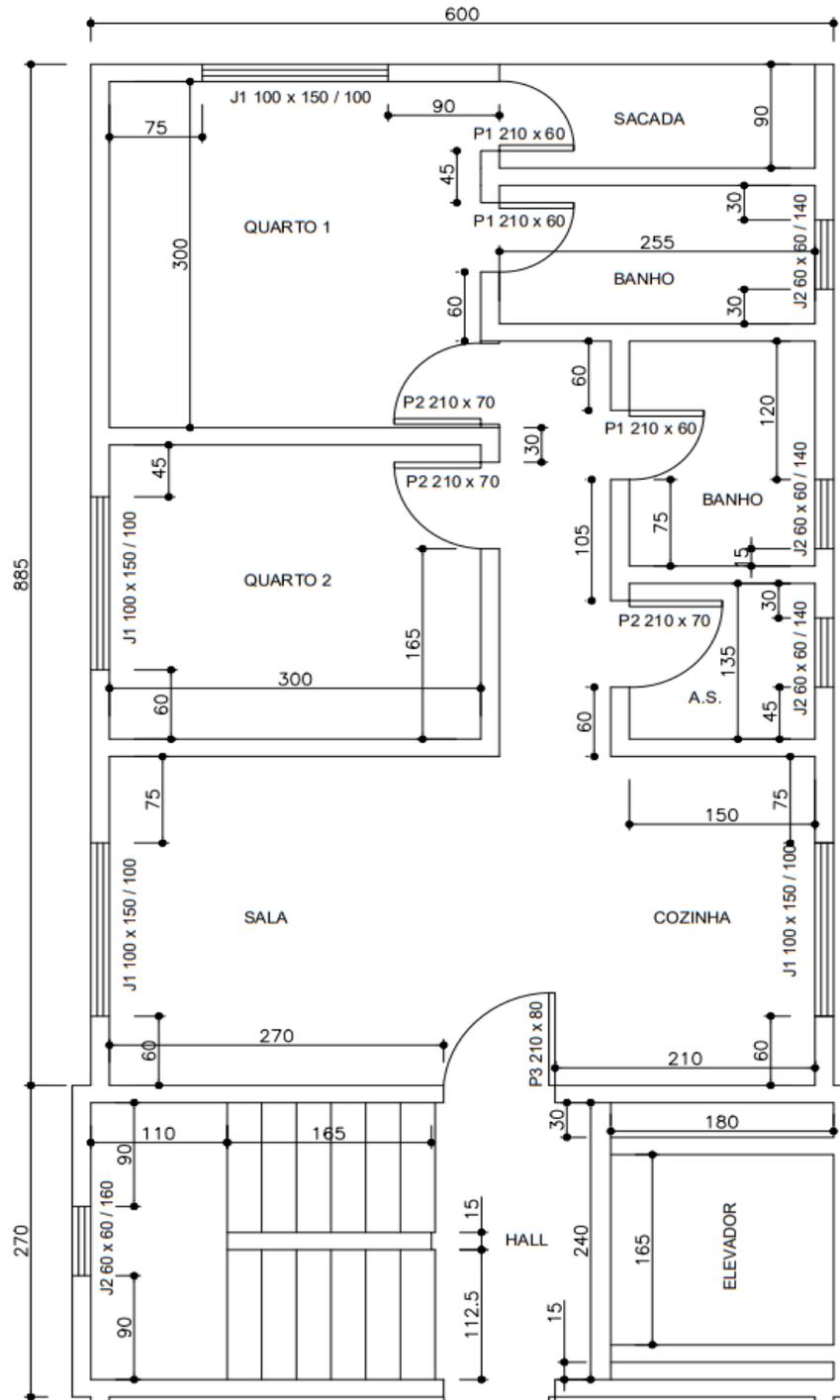


LEGENDA

JANELA	PORTA
J1 100 x 150 / 100	P2 210 x 70
Altura x Largura / Peitoril	Altura x Largura

Fonte: Autor, 2023

Figura 11 – Planta baixa do edifício ampliada no apartamento e hall principal



Fonte: Autor, 2023

4.2 Dimensionamento Completo Apenas em Alvenaria Estrutural

Comumente, este é o método que a maioria das construtoras utilizam em suas edificações, onde todas as paredes presentes no edifício são compostas por blocos estruturais. Neste tópico será demonstrado a modulação da alvenaria em todo o empreendimento em 1ª e 2ª fiada, e duas vistas moduladas. Cargas verticais e tensões normais presentes nas paredes, considerando os procedimentos de paredes isoladas e grupos isolados de paredes. Ações do vento e desaprumo utilizando do modelo de paredes isoladas com abas. Verificação da estrutura de contraventamento do edifício por meio do parâmetro Alfa. Especificação da resistência dos prismas no pavimento térreo, atendendo as prescrições da ABNT NBR 16868-1:2020. Verificação das tensões de cisalhamento e de tração nas bases das paredes no pavimento térreo conforme limites também estabelecidos pela ABNT NBR 16868-1:2020. Para mais detalhes, verificar memória de cálculo presente no Apêndice A.

4.2.1 Modulação da alvenaria

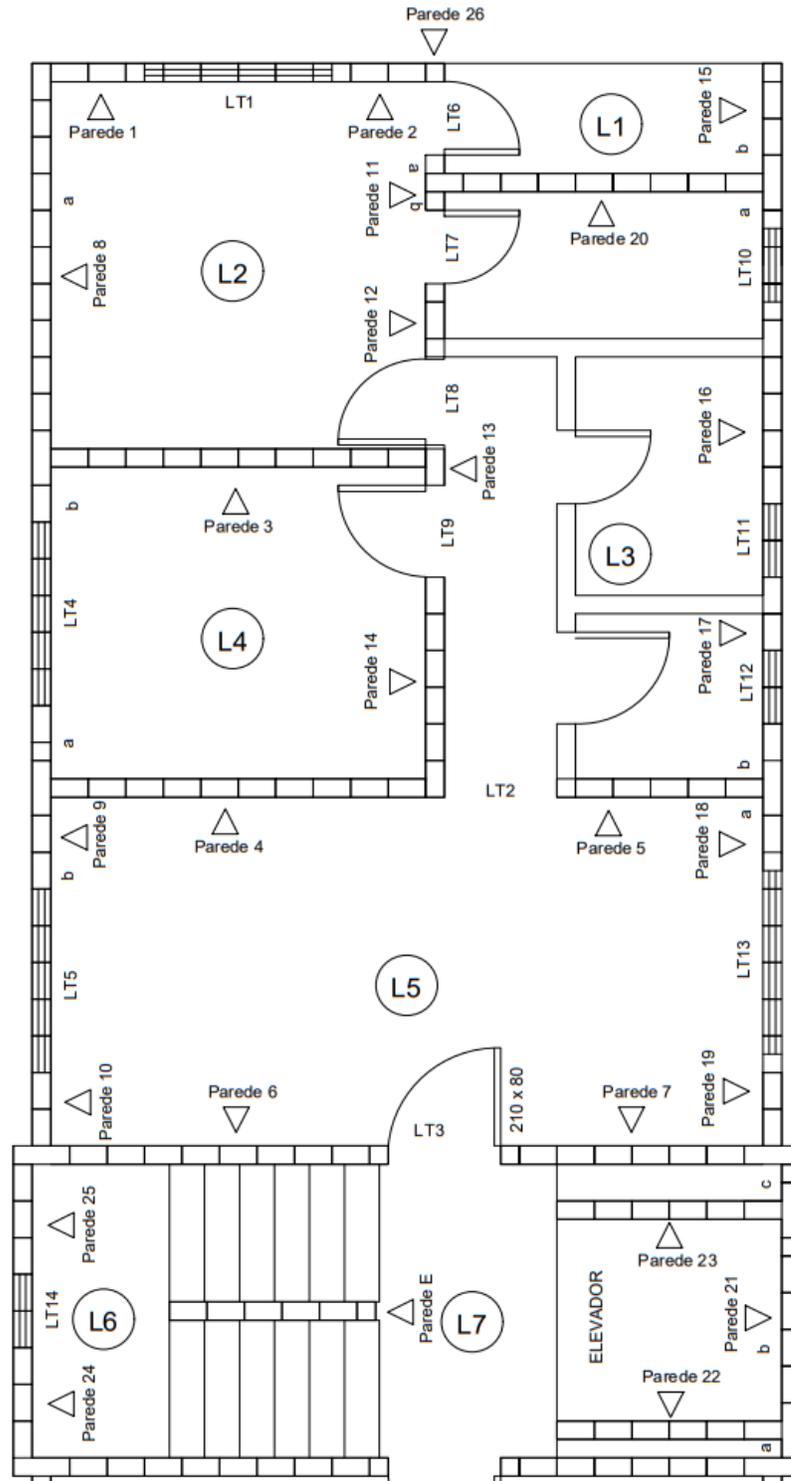
Para a modulação da alvenaria, foram utilizados blocos estruturais de concreto com espessura de 14 centímetros e altura de 19 centímetros. Para se fazer a amarração das paredes, foram adquiridos blocos com comprimentos de 14, 29 e 44 cm. As paredes internas dos banheiros e área de serviço não serão dimensionadas em alvenaria estrutural, levando em conta os pequenos vãos entre eles e a utilização de lajes pré-fabricadas no apartamento, onde os esforços são distribuídos em apenas uma direção. Tais paredes serão de *drywall*, também pelo fato de facilitar a passagem de instalações elétricas e hidráulicas para os cômodos citados. Como todos os apartamentos possuem medidas exatamente iguais, serão demonstradas as modulações apenas de uma parte relevante do edifício, afim de visualizar com nitidez, conforme figuras 12 e 13. A legenda abaixo refere-se as mesmas figuras citadas anteriormente. Nas figuras 14 e 15, temos as vistas moduladas de paredes com aberturas do edifício.

LEGENDA


PAREDE EM BLOCOS (ESTRUTURAL)

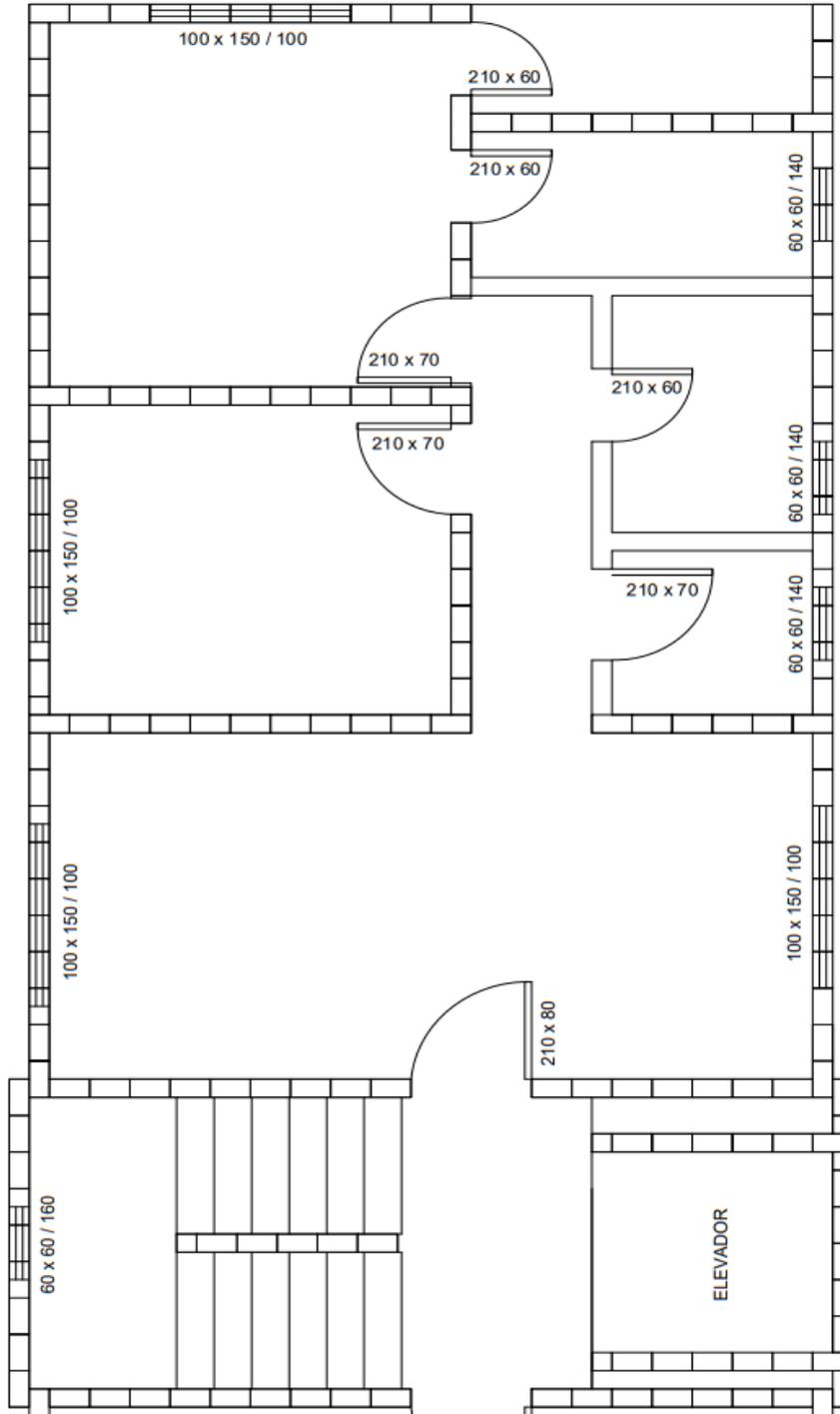

PAREDE EM DRYWALL (VEDAÇÃO)

Figura 12 – Modulação em 1ª fiada



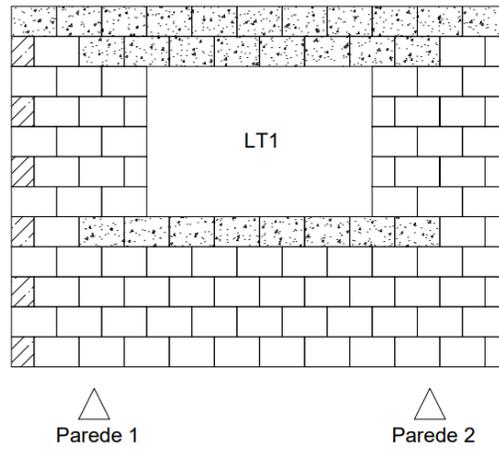
Fonte: Autor, 2023

Figura 13 – Modulação em 2ª fiada



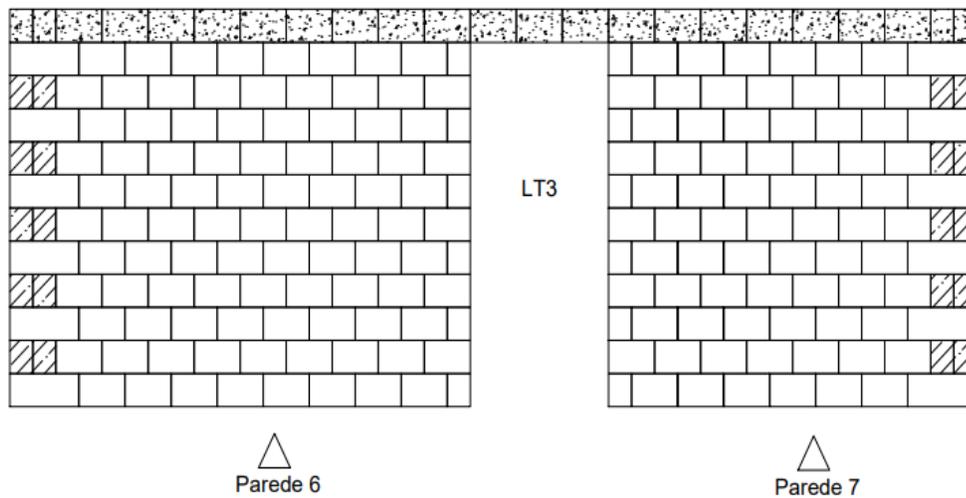
Fonte: Autor, 2023

Figura 14 – Vista modulada paredes 1 e 2



Fonte: Autor, 2023

Figura 15 – Vista modulada paredes 6 e 7



LEGENDA

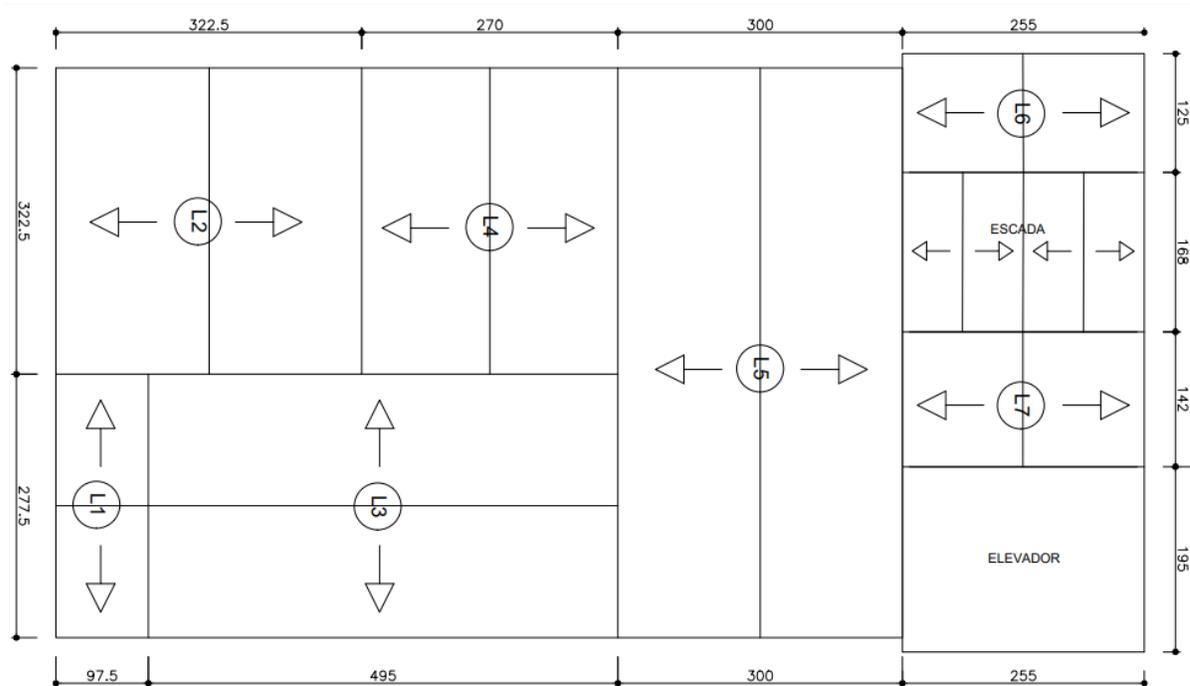
-  BLOCO GRAUTEADO
-  BLOCO NA PERPENDICULAR

Fonte: Autor, 2023

4.2.2 Determinação das cargas verticais e tensões normais

Após a modulação da alvenaria, determinamos a disposição das lajes conforme os cômodos do apartamento, assim enquadrando as cargas de acordo com a NBR 6120/2019. As setas na figura 16, determinam as posições das vigotas e direção das cargas nas lajes.

Figura 16 – Disposição das lajes pré-moldadas



Fonte: Autor, 2023

Com a definição das cargas incidentes em cada laje, juntamente com o peso próprio da alvenaria e a carga oriunda dos lintéis, que são os intervalos superiores e inferiores entre as aberturas das paredes, encontramos as cargas totais e as tensões normais nas paredes por pavimento e também no andar térreo, ou seja, as tensões normais máximas. Primeiramente o cálculo das tensões é executado pelo procedimento de paredes isoladas, posteriormente é utilizado o método de grupo isolado de paredes, para assim obter uma eficiência maior dos resultados, reduzindo as tensões finais. Temos nas tabelas de 1 a 4, os resultados obtidos para os procedimentos citados acima.

Tabela 1 – Reações dos lintéis

LT	Tipo	Vão (m)	P.P (kN/m)	Sentido	Reação de laje (kN/m)		Reação total (kN/m)	Reação (kN) RA = RB
					Laje	Reação		
LT 1	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	HOR	2	6,60	9,34	7,00
LT 2	PA (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	5	6,15	6,54	2,94
LT 3	P3 (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	5 e 7	6,15 + 5,90	12,44	5,60
LT 4	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 5	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 6	P1 (60 X 220)	0,60	0,39	VER	1	5,65	6,04	1,81
LT 7	P1 (60 X 220)	0,60	0,39	VER	3	5,68	6,07	1,82
LT 8	P2 (75 X 220)	0,75	0,39	VER	3	5,68	6,07	2,28
LT 9	P2 (75 X 220)	0,75	0,39	VER	3	5,68	6,07	2,28
LT 10	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 11	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 12	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 13	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 14	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	0	0,00	3,53	1,06

Fonte: Autor, 2023

Tabela 2 – Resumo de carregamento vertical atuante para um pavimento

Par.	Comp. (m)	Peso próprio (kN/m)	Ação da laje (kN/m)	Ação dos lintéis (kN/m)	Carga total (kN/m)	Tensão normal (kN/m ²)
1	0,90	4,70	6,60	7,00/0,90 = 7,78	19,08	19,08/0,14 = 136,28
2	0,75	4,70	6,60	7,00/0,75 = 9,33	20,63	20,63/0,14 = 147,35
3	3,30	4,70	12,13	0,00	16,83	16,83/0,14 = 120,21
4	3,30	4,70	11,68	2,94/3,30 = 0,89	17,27	17,27/0,14 = 123,35
5	1,80	4,70	6,15	2,94/1,80 = 1,63	12,48	12,48/0,14 = 89,14
6	2,85	4,70	21,95	5,60/2,85 = 1,96	28,61	28,61/0,14 = 204,35
7	2,25	4,70	12,05	5,60/2,25 = 2,49	19,24	19,24/0,14 = 137,43
8a	3,15	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
8b	0,60	4,70	0,00	2,05/0,60 = 3,41	8,11	8,11/0,14 = 57,92
9a	0,75	4,70	0,00	2,05/0,75 = 2,73	7,43	7,43/0,14 = 53,07
9b	0,75	4,70	0,00	2,05/0,75 = 2,73	7,43	7,43/0,14 = 53,07
10	0,60	4,70	0,00	2,05/0,60 = 3,41	8,11	8,11/0,14 = 57,93
11a	0,22	4,70	5,65	1,81/0,22 = 8,22	18,57	18,57/0,14 = 132,64
11b	0,22	4,70	5,68	1,82/0,22 = 8,27	18,65	18,65/0,14 = 133,21
12	0,60	4,70	5,68	4,1/0,60 = 6,83	17,21	17,21/0,14 = 122,93
13	0,30	4,70	5,68	4,56/0,30 = 15,20	25,58	25,58/0,14 = 182,71
14	1,80	4,70	5,68	2,28/1,80 = 1,27	11,65	11,65/0,14 = 83,21
15b	0,90	4,70	5,65	0,00	10,35	10,35/0,14 = 73,93

Tabela 2 – Resumo de carregamento vertical atuante para um pavimento (continuação)

Par.	Comp. (m)	Peso próprio (kN/m)	Ação da laje (kN/m)	Ação dos lintéis (kN/m)	Carga total (kN/m)	Tensão normal (kN/m ²)
15a	0,45	4,70	5,68	$2,76/0,45 = 6,13$	16,51	$16,51/0,14 = 117,95$
16	1,65	4,70	5,68	$5,52/1,65 = 3,35$	13,73	$13,73/0,14 = 98,07$
17	0,60	4,70	5,68	$5,52/0,60 = 9,20$	19,58	$19,58/0,14 = 139,86$
18b	0,60	4,70	5,68	$2,76/0,60 = 4,60$	14,98	$14,98/0,14 = 107,00$
18a	0,60	4,70	0,00	$2,05/0,60 = 3,42$	8,12	$8,12/0,14 = 58,00$
19	0,75	4,70	0,00	$2,05/0,75 = 2,73$	7,43	$7,43/0,14 = 53,10$
20	2,70	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21a	0,30	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21b	1,65	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21c	0,45	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
22	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
23	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
24	1,05	4,70	0,00	$1,06/1,05 = 1,00$	5,70	$5,70/0,14 = 40,71$
25	1,05	4,70	0,00	$1,06/1,05 = 1,00$	5,70	$5,70/0,14 = 40,71$
26	0,15	4,70	5,65	$1,81/0,15 = 12,06$	22,41	$22,41/0,14 = 160,07$
E	1,65	4,70	8,00	0,00	12,70	$12,70/0,14 = 90,71$

Fonte: Autor, 2023

Tabela 3 – Distribuição de ações verticais considerando grupos isolados por pavimento

Grupo	Parede	Comp. (m)	Carga média do grupo (kN/m)	Tensão normal (kN/m ²)
1	1, 3, 8a, 8b e 13	8,10	12,35	$12,35/0,14 = 88,23$
2	2 e 26	0,90	20,93	$20,93/0,14 = 149,50$
3	4, 9a, 9b e 14	6,45	13,81	$13,81/0,14 = 98,67$
4	6,10 e 24	4,65	19,87	$19,87/0,14 = 141,92$
5	11a, 11b, 15a, 15b e 20	4,35	8,65	$8,65/0,14 = 61,79$
6	12	0,60	17,21	$17,21/0,14 = 122,93$
7	16	1,65	13,73	$13,73/0,14 = 98,07$
8	17	0,60	19,58	$19,58/0,14 = 139,86$
9	5, 18a, 18b	3,00	12,11	$12,11/0,14 = 86,49$
10	7, 19, 21b, 21c, 23	6,59	10,21	$10,21/0,14 = 72,98$
ESCADA	E	1,65	12,70	$12,70/0,14 = 90,71$

Fonte: Autor, 2023

Tabela 4 – Ações verticais considerando grupos isolados no andar térreo

Grupo	Carga Média do Grupo (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	61,75	441,15
2	104,65	747,50
3	69,05	493,21
4	99,35	709,64
5	43,25	308,92
6	86,05	614,64
7	68,65	490,35
8	97,90	699,29
9	60,55	432,50
10	51,05	364,64
ESCADA	63,50	453,57

Fonte: Autor, 2023

4.2.3 Ação do vento e desaprumo

Inicialmente para obtenção das forças horizontais do vento nas direções X e Y, conforme ABNT NBR 6123:1988, iremos inserir alguns dados, como, dimensões do edifício total e por pavimentos, localização geográfica, fatores topográficos, tipo de empreendimento, entre outros, para assim encontrarmos a velocidade do vento característica (V_k) e após, a força de arrasto (F_a).

Para as forças horizontais de desaprumo, primeiramente calcula-se o ângulo de desaprumo conforme altura máxima do edifício, e em seguida, encontra-se a força de desaprumo multiplicando pela soma das cargas verticais dos grupos isolados de paredes.

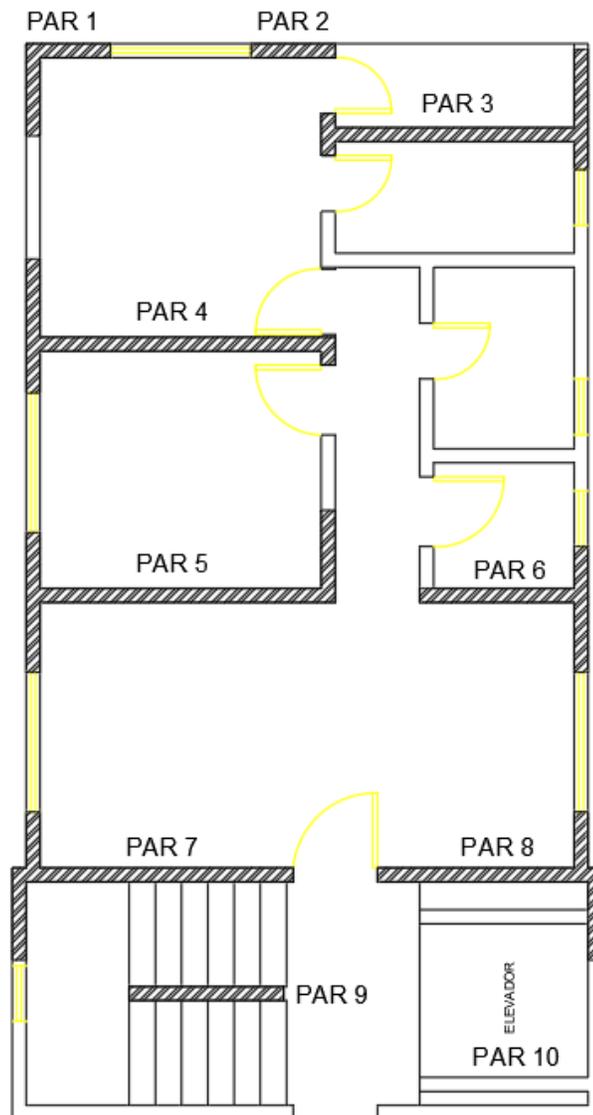
Tabela 5 – Resumo com somatório das forças de desaprumo e vento

Pavimento	$F_{desaprumo}$ (kN)	Fa_x (kN)	Carga total direção X (kN)	Fa_y (kN)	Carga total direção Y (kN)
5°	2,81	17,41	20,22	3,40	6,21
4°	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
3°	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
2°	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
1°	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03

Fonte: Autor, 2023

Com a obtenção das cargas de vento e desaprumo, o próximo passo será calcular as tensões normais e de cisalhamento nas bases das paredes do pavimento térreo, considerando o modelo de paredes isoladas com abas. Neste modelo, são determinadas as áreas de influência nas paredes do prédio, para assim extrair os momentos de inércia influentes e as distâncias entre o centro de gravidade das peças.

Figura 17 – Paredes de contraventamento na direção X



Fonte: Autor, 2023

De acordo com a figura 17, que demonstra as áreas de análise das influências das forças do vento, será extraído para a direção X, os valores de esforço cortante, momento fletor e tensões. Tais resultados são encontrados nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Ações para vento atuando na direção X

Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia Y-Y (m^4)	Inércia relativa (%)	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _x	G1	0,44	0,019	0,24	0,00	0,23	1,76
Par 2 _x	G2	0,75	0,009	0,12	0,00	0,12	0,88
Par 3 _x	G5	0,31	0,639	8,17	0,00	7,96	60,05
Par 4 _x	G1	0,44	0,883	11,29	0,00	10,99	82,98
Par 5 _x	G3	0,49	1,247	15,95	0,00	15,53	117,23
Par 6 _x	G9	0,43	0,147	1,88	0,00	1,83	13,82
Par 7 _x	G4	0,71	0,610	7,80	0,00	7,60	57,33
Par 8 _x	G10	0,36	0,327	4,18	0,00	4,07	30,72
Par 9 _x	ESC	0,45	0,056	0,72	0,00	0,70	5,29

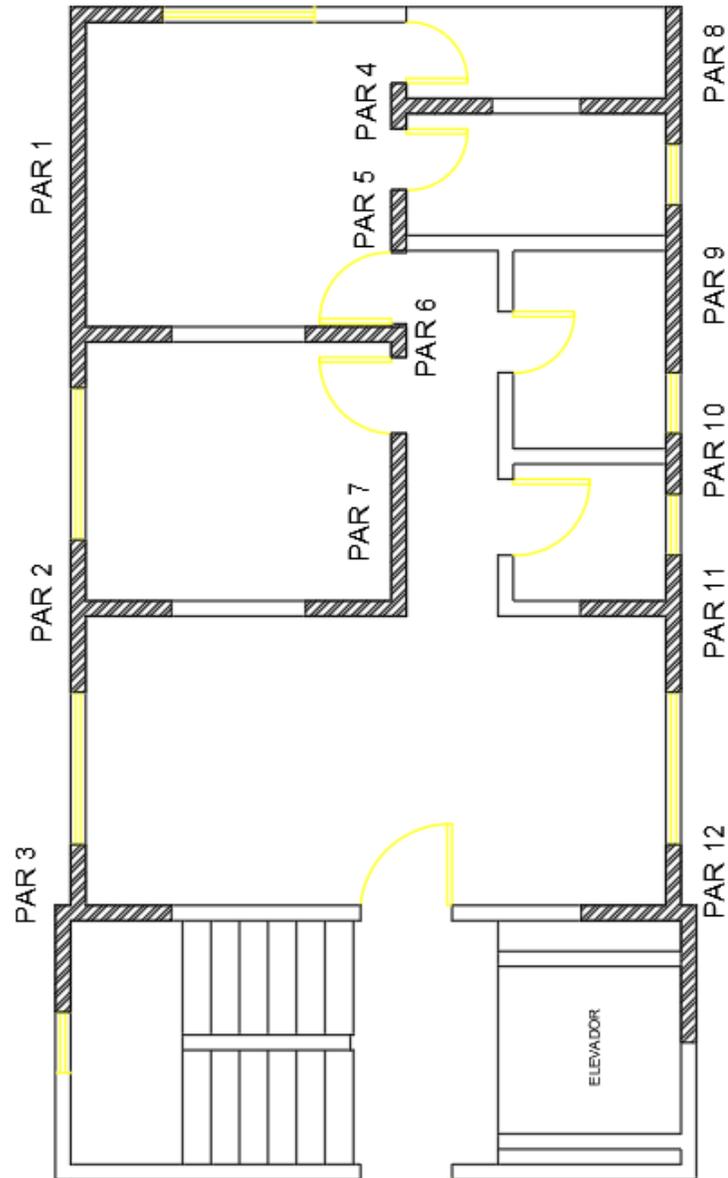
Fonte: Autor, 2023

Tabela 7 – Resumo das tensões para vento atuando em X

Parede	Área Normal (m^2)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão de cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal à esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal à direita (MPa)
Par 1 _x	0,26	0,01	0,00	0,002	0,03	0,06
Par 2 _x	0,14	0,01	0,00	0,001	0,04	0,04
Par 3 _x	0,64	0,09	0,00	0,019	0,16	0,11
Par 4 _x	0,71	0,12	0,00	0,022	0,12	0,19
Par 5 _x	0,82	0,14	0,00	0,031	0,14	0,17
Par 6 _x	0,45	0,03	0,00	0,007	0,12	0,05
Par 7 _x	0,67	0,09	0,00	0,017	0,10	0,18
Par 8 _x	0,58	0,05	0,00	0,011	0,15	0,08
Par 9 _x	0,25	0,02	0,00	0,003	0,08	0,08

Fonte: Autor, 2023

Figura 18 – Paredes de contraventamento na direção Y



Fonte: Autor, 2023

De acordo com a figura 18, onde se faz presente as áreas de análise das influências das forças do vento, será extraído para a direção Y, os valores de esforço cortante, momento fletor e tensões, demonstrados nas tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Ações para vento atuando na direção Y

Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia X-X (m^4)	Inércia relativa (%)	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _y	G1	0,44	1,253	36,35	0,00	11,02	83,02
Par 2 _y	G3	0,49	0,043	1,25	0,00	0,38	2,85
Par 3 _y	G4	0,71	0,059	1,71	0,00	0,52	3,91
Par 4 _y	G5	0,31	0,001	0,04	0,00	0,01	0,09
Par 5 _y	G6	0,61	0,003	0,08	0,00	0,02	0,18
Par 6 _y	G1	0,44	0,001	0,02	0,00	0,01	0,05
Par 7 _y	G3	0,49	0,132	3,83	0,00	1,16	8,75
Par 8 _y	G5	0,31	0,038	1,10	0,00	0,33	2,51
Par 9 _y	G7	0,49	0,056	1,62	0,00	0,49	3,70
Par 10 _y	G8	0,70	0,003	0,09	0,00	0,03	0,21
Par 11 _y	G9	0,43	0,033	0,96	0,00	0,29	2,19
Par 12 _y	G10	0,36	0,102	2,95	0,00	0,89	6,74

Fonte: Autor, 2023

Tabela 9 – Resumo das tensões para vento atuando em Y

Parede	Área Normal (m^2)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão de cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)
Par 1 _y	0,80	0,10	0,00	0,020	0,13	0,12
Par 2 _y	0,35	0,01	0,00	0,002	0,05	0,05
Par 3 _y	0,40	0,01	0,00	0,002	0,06	0,05
Par 4 _y	0,19	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 5 _y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 6 _y	0,17	0,00	0,00	0,000	0,01	0,01
Par 7 _y	0,40	0,02	0,00	0,004	0,04	0,08
Par 8 _y	0,33	0,01	0,00	0,002	0,04	0,05
Par 9 _y	0,25	0,01	0,00	0,002	0,06	0,05
Par 10 _y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 11 _y	0,33	0,01	0,00	0,001	0,05	0,04
Par 12 _y	0,44	0,02	0,00	0,003	0,07	0,06

Fonte: Autor, 2023

4.2.4 Verificação das estruturas de contraventamento

Será avaliado por meio do parâmetro ALFA, se as estruturas de contraventamento do Edifício nas duas direções estão adequadas e se será necessário análise dos efeitos de 2ª ordem. Para essa análise, foi utilizado o procedimento de paredes isoladas com abas.

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}}, \text{ onde:}$$

α = parâmetro de instabilidade (adimensional) H = altura total do edifício (m)

P = peso total da edificação (kN) EI = rigidez a flexão (kN.m²)

$$\alpha_x = 12,5 \sqrt{\frac{4968}{3200 \times 10^3 \times 7,82}} = 0,18 < 0,7 \rightarrow \text{estrutura **indeslocável** em X.}$$

$$\alpha_y = 12,5 \sqrt{\frac{4968}{3200 \times 10^3 \times 3,45}} = 0,27 < 0,7 \rightarrow \text{estrutura **indeslocável** em Y.}$$

Conforme resultados obtidos com o parâmetro de instabilidade ALFA, percebe-se a não necessidade de verificação dos efeitos de segunda ordem, uma vez que ambas direções das estruturas do edifício, são consideradas indeslocáveis.

4.2.5 Resistência dos prismas, blocos e argamassas

Para encontrarmos a resistência dos prismas, atenderemos as prescrições da ABNT NBR 16868-1:2020 no pavimento térreo, ou seja, considerando a pior situação, adotando o procedimento de grupos isolados de paredes e a ação do vento para o modelo de paredes isoladas com abas.

1ª Hipótese:

- Tensões horizontais como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)
- Sobrecarga na laje como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,5$)
- $S_d, \text{ compressão simples} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times 0,5 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$
- $S_d, \text{ compressão na flexão} = 1,4 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$

2ª Hipótese:

- Sobrecarga na laje como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)
- Tensões horizontais como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,6$)
- $S_{d, \text{compressão simples}} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$
- $S_{d, \text{compressão na flexão}} = 1,4 \times 0,6 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$

Equação de interação para encontrar f_{pk} do prisma:

$$\frac{S_{d, \text{compressão simples}}}{R_{d, \text{compressão simples}}} + \frac{S_{d, \text{compressão na flexão}}}{R_{d, \text{compressão na flexão}}} \leq 1$$

Tabela 10 – Resumo do dimensionamento à flexo-compressão em X

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão na flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
			S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1_X	0,44	0,06	0,54	0,08	1,83	0,62	0,05	2,00
P2_X	0,75	0,04	0,92	0,06	2,97	1,05	0,04	3,33
P3_X	0,31	0,16	0,38	0,22	1,60	0,43	0,13	1,60
P4_X	0,44	0,19	0,54	0,27	2,18	0,62	0,16	2,22
P5_X	0,49	0,17	0,60	0,24	2,31	0,69	0,14	2,40
P6_X	0,43	0,12	0,53	0,16	1,94	0,60	0,10	2,05
P7_X	0,71	0,15	0,87	0,21	3,10	0,99	0,13	3,32
P8_X	0,36	0,16	0,44	0,22	1,79	0,50	0,13	1,82
P9_X	0,45	0,08	0,55	0,11	1,92	0,63	0,07	2,08

Fonte: Autor, 2023

Tabela 11 – Resumo do dimensionamento à flexo-compressão em Y

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão na flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
			S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1_y	0,44	0,13	0,54	0,18	2,01	0,62	0,18	2,25
P2_y	0,49	0,05	0,60	0,07	1,99	0,69	0,04	2,20
P3_y	0,71	0,06	0,87	0,08	2,85	0,99	0,05	3,18
P4_y	0,31	0,02	0,38	0,02	1,22	0,43	0,01	1,37
P5_y	0,61	0,02	0,75	0,03	2,37	0,85	0,02	2,68
P6_y	0,44	0,01	0,54	0,02	1,70	0,62	0,01	1,93
P7_y	0,49	0,08	0,60	0,11	2,07	0,69	0,06	2,25
P8_y	0,31	0,05	0,38	0,07	1,32	0,43	0,04	1,43
P9_y	0,49	0,06	0,60	0,08	2,01	0,69	0,05	2,22
P10_y	0,70	0,02	0,86	0,03	2,72	0,98	0,02	3,07
P11_y	0,43	0,05	0,53	0,07	1,76	0,60	0,04	1,94
P12_y	0,36	0,07	0,44	0,10	1,56	0,50	0,06	1,68

Fonte: Autor, 2023

Tabela 12 – Resumo dos blocos e argamassas recomendados

Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)	Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)
P1_y	2,25	3	4	P1_x	2,00	3	4
P2_y	2,20	3	4	P2_x	3,33	4	4
P3_y	3,18	4	4	P3_x	1,60	3	4
P4_y	1,37	3	4	P4_x	2,22	3	4
P5_y	2,68	4	4	P5_x	2,40	3	4
P6_y	1,93	3	4	P6_x	2,05	3	4
P7_y	2,25	3	4	P7_x	3,32	4	4
P8_y	1,43	3	4	P8_x	1,82	3	4
P9_y	2,22	3	4	P9_x	2,08	3	4

Tabela 12 – Resumo dos blocos e argamassas recomendados (continuação)

Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)	Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)
P10 _y	3,07	4	4				
P11 _y	1,94	3	4				
P12 _y	1,68	3	4				

Fonte: Autor, 2023

4.2.6 Verificação das tensões de cisalhamento e tração

Após definição dos blocos e argamassas, verifica-se as tensões de cisalhamento e de tração nas bases das paredes no pavimento térreo, onde estando dentro dos limites admissíveis da ABNT NBR 16868-1:2020, não haverá necessidade de dimensionar e detalhar as armaduras nas paredes.

Para $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = 0,15 + 0,5 \times 0,9 \times \sigma_{comp. \text{ simples perm.}}$

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} = \gamma_f \times \sigma_{\text{cisalhamento}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$$

$$R_{d, \text{ cisalhamento}} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} < R_{d, \text{ cisalhamento}}$$

Tabela 13 – Verificação das tensões de cisalhamento em X

Par	Força cortante (kN)	Área de cisalhamento (m ²)	Tensão de cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,23	0,14	0,002	0,00	0,20	0,10	OK
P2 _x	0,12	0,14	0,001	0,00	0,15	0,08	OK
P3 _x	7,96	0,43	0,019	0,03	3,68	1,84	OK
P4 _x	10,99	0,50	0,022	0,03	5,05	2,52	OK
P5 _x	15,53	0,50	0,031	0,04	7,09	3,54	OK
P6 _x	1,83	0,27	0,007	0,01	0,92	0,46	OK
P7 _x	7,60	0,45	0,017	0,02	3,52	1,76	OK
P8 _x	4,07	0,36	0,011	0,02	1,93	0,97	OK
P9 _x	0,70	0,25	0,003	0,00	0,42	0,21	OK

Fonte: Autor, 2023

Tabela 14 - Verificação das tensões de cisalhamento em Y

Parede	Força cortante (kN)	Área de cisalhamento (m ²)	Tensão de cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	11,02	0,56	0,020	0,03	0,25	0,12	OK
P2 _y	0,38	0,23	0,002	0,00	0,27	0,13	OK
P3 _y	0,52	0,27	0,002	0,00	0,34	0,17	OK
P4 _y	0,01	0,07	0,000	0,00	0,20	0,10	OK
P5 _y	0,02	0,09	0,000	0,00	0,31	0,15	OK
P6 _y	0,01	0,05	0,000	0,00	0,25	0,12	OK
P7 _y	1,16	0,27	0,004	0,01	0,27	0,13	OK
P8 _y	0,33	0,20	0,002	0,00	0,20	0,10	OK
P9 _y	0,49	0,25	0,002	0,00	0,27	0,13	OK
P10 _y	0,03	0,09	0,000	0,00	0,34	0,17	OK
P11 _y	0,29	0,20	0,001	0,00	0,24	0,12	OK
P12 _y	0,89	0,32	0,003	0,00	0,22	0,11	OK

Fonte: Autor, 2023

Conforme resultados demonstrados nas tabelas, conclui-se que todas as paredes atenderam aos requisitos exigidos na ABNT NBR 16868-1:2020 quanto aos esforços de cisalhamento. A seguir será realizado à verificação aos esforços de tração.

Para argamassa $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{tk} = 0,20$

$$S_d, \text{ tração na flexão} = \gamma_f \times \sigma_{\text{tração na flexão}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$$

$$R_d, \text{ tração na flexão} = \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$S_d, \text{ tração na flexão} < R_d, \text{ tração na flexão}$$

Tabela 15 – Verificação das tensões de tração em X

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal direita (MPa)	Extremidade Esquerda			Extremidade direita		
				S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,44	0,03	0,06	-0,26	0,10	OK	-0,21	0,10	OK
P2 _x	0,75	0,04	0,04	-0,44	0,10	OK	-0,44	0,10	OK
P3 _x	0,31	0,16	0,11	0,01	0,10	OK	-0,06	0,10	OK
P4 _x	0,44	0,12	0,19	-0,13	0,10	OK	-0,03	0,10	OK
P5 _x	0,49	0,14	0,17	-0,13	0,10	OK	-0,09	0,10	OK
P6 _x	0,43	0,12	0,05	-0,13	0,10	OK	-0,22	0,10	OK
P7 _x	0,71	0,10	0,18	-0,34	0,10	OK	-0,22	0,10	OK
P8 _x	0,36	0,15	0,08	-0,03	0,10	OK	-0,14	0,10	OK
P9 _x	0,45	0,08	0,08	-0,19	0,10	OK	-0,19	0,10	OK

Fonte: Autor, 2023

Tabela 16 – Verificação das tensões de tração em Y

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)	Parte Inferior			Parte Superior		
				S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,44	0,13	0,12	-0,12	0,10	OK	-0,13	0,10	OK
P2 _y	0,49	0,05	0,05	-0,26	0,10	OK	-0,26	0,10	OK
P3 _y	0,71	0,06	0,05	-0,40	0,10	OK	-0,41	0,10	OK
P4 _y	0,31	0,02	0,02	-0,19	0,10	OK	-0,19	0,10	OK
P5 _y	0,61	0,02	0,02	-0,38	0,10	OK	-0,38	0,10	OK
P6 _y	0,44	0,01	0,01	-0,28	0,10	OK	-0,29	0,10	OK
P7 _y	0,49	0,04	0,08	-0,27	0,10	OK	-0,22	0,10	OK
P8 _y	0,31	0,04	0,05	-0,16	0,10	OK	-0,14	0,10	OK
P9 _y	0,49	0,06	0,05	-0,25	0,10	OK	-0,25	0,10	OK
P10 _y	0,7	0,02	0,02	-0,44	0,10	OK	-0,44	0,10	OK
P11 _y	0,43	0,05	0,04	-0,22	0,10	OK	-0,23	0,10	OK
P12 _y	0,36	0,07	0,06	-0,14	0,10	OK	-0,16	0,10	OK

Fonte: Autor, 2023

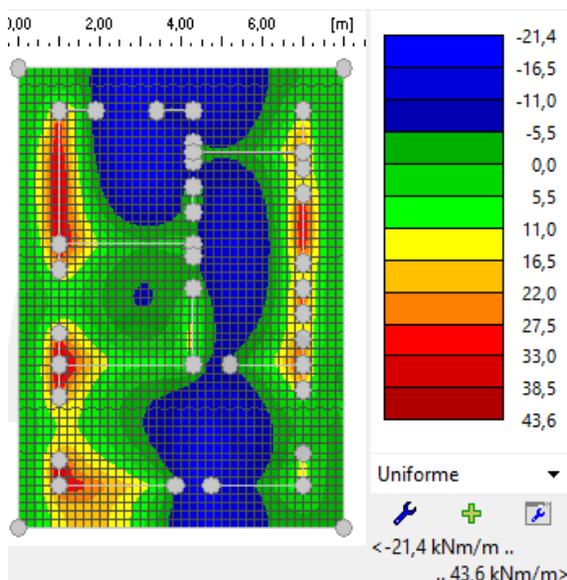
Mediante resultados obtidos, todas as paredes do edifício em questão também atenderam as verificações de tração conforme ABNT NBR 16868-1:2020. Sendo assim, nenhuma parede necessitará receber armaduras para combater aos esforços citados acima.

4.2.7 Dimensionamento da fundação em radier

A fundação escolhida para o empreendimento foi do modelo em radier, no qual basicamente se trata de uma laje apoiada ao solo, que receberá todas as cargas do edifício e transmitirá ao mesmo. O concreto utilizado para execução do radier foi o C30, ou seja, com resistência de 30 MPa, e sua espessura será de 30 cm. Como não há sondagem do solo do terreno, será simulado para o cálculo da fundação, um perfil de solo de argila rijas. Após dimensionamento no software GEO5, chegamos aos seguintes resultados demonstrados abaixo e nas figuras 19 e 20:

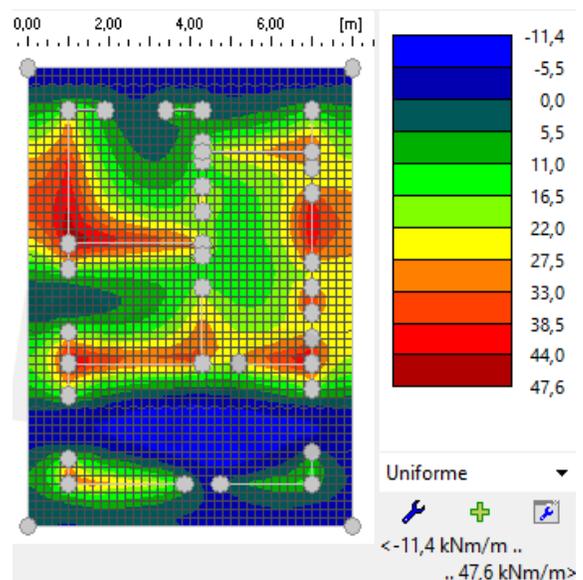
- Momento em X = 4360 kN.cm / $A_s = 3,71 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 20 cm
- Momento em Y = 4760 kN.cm / $A_s = 4,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 20 cm
- Aço CA-50 / Área do radier: 22,4 m x 8,0 m = 179,2 m²

Figura 19 – Momento em X



Fonte: Autor, 2023

Figura 20 – Momento em Y



Fonte: Autor, 2023

4.3 Dimensionamento em Alvenaria Estrutural e *Drywall*

Neste tópico será demonstrado uma opção interessante de composição estrutural de um edifício, onde suas paredes externas são compostas por blocos estruturais de concreto e as paredes internas executadas por placas de gesso acartonadas, estruturadas por perfis metálicos leves, o conhecido *drywall*. A intenção é trazer liberdade de escolha para futuras alterações na arquitetura interna do apartamento, onde segundo variadas pesquisas, acontece com frequência nas edificações residenciais. Como calculado no primeiro modelo, também será apresentado a modulação da alvenaria em todo o empreendimento em 1ª e 2ª fiada, e duas vistas moduladas. Cargas verticais e tensões normais presentes nas paredes, considerando os procedimentos de paredes isoladas e grupos isolados de paredes. Ações do vento e desaprumo utilizando do modelo de paredes isoladas com abas. Verificação da estrutura de contraventamento do edifício por meio do parâmetro Alfa. Especificação da resistência dos prismas no pavimento térreo, atendendo as prescrições da ABNT NBR 16868-1:2020. Verificação das tensões de cisalhamento e de tração nas bases das paredes no pavimento térreo conforme limites também estabelecidos pela ABNT NBR 16868-1:2020. Para mais detalhes, verificar memória de cálculo presente no Apêndice B.

4.3.1 Modulação da alvenaria

Para a modulação da alvenaria, nas paredes externas, foram utilizados blocos estruturais de concreto com espessura de 14 centímetros e altura de 19 centímetros. Para se fazer a amarração das paredes, foram adquiridos blocos com comprimentos de 14, 29 e 44 cm. As paredes internas não serão dimensionadas em alvenaria estrutural, serão de *drywall* e terão a mesma espessura final dos blocos, pelo fato de facilitar a passagem de instalações elétricas e hidráulicas, e possibilitar futuras alterações na arquitetura interna do apartamento. Como todos os apartamentos possuem medidas exatamente iguais, serão demonstradas as modulações apenas de uma parte relevante do edifício, afim de visualizar com nitidez, conforme figuras 21 e 22. A legenda abaixo refere-se as mesmas figuras citadas anteriormente. Nas figuras 23 e 24, temos as vistas moduladas de paredes com aberturas do edifício.

LEGENDA

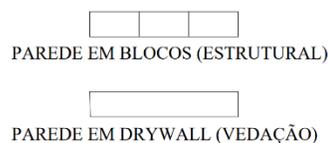
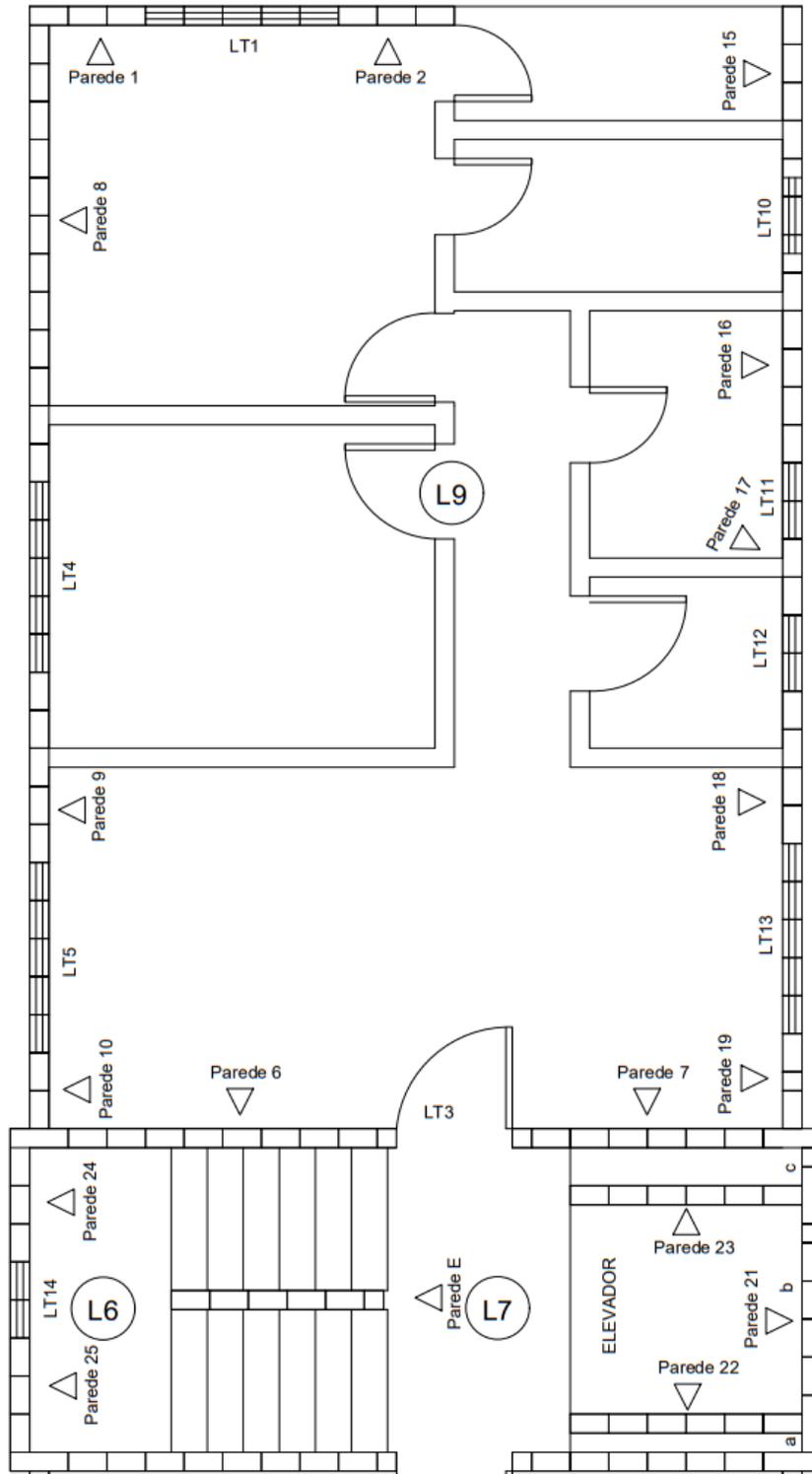
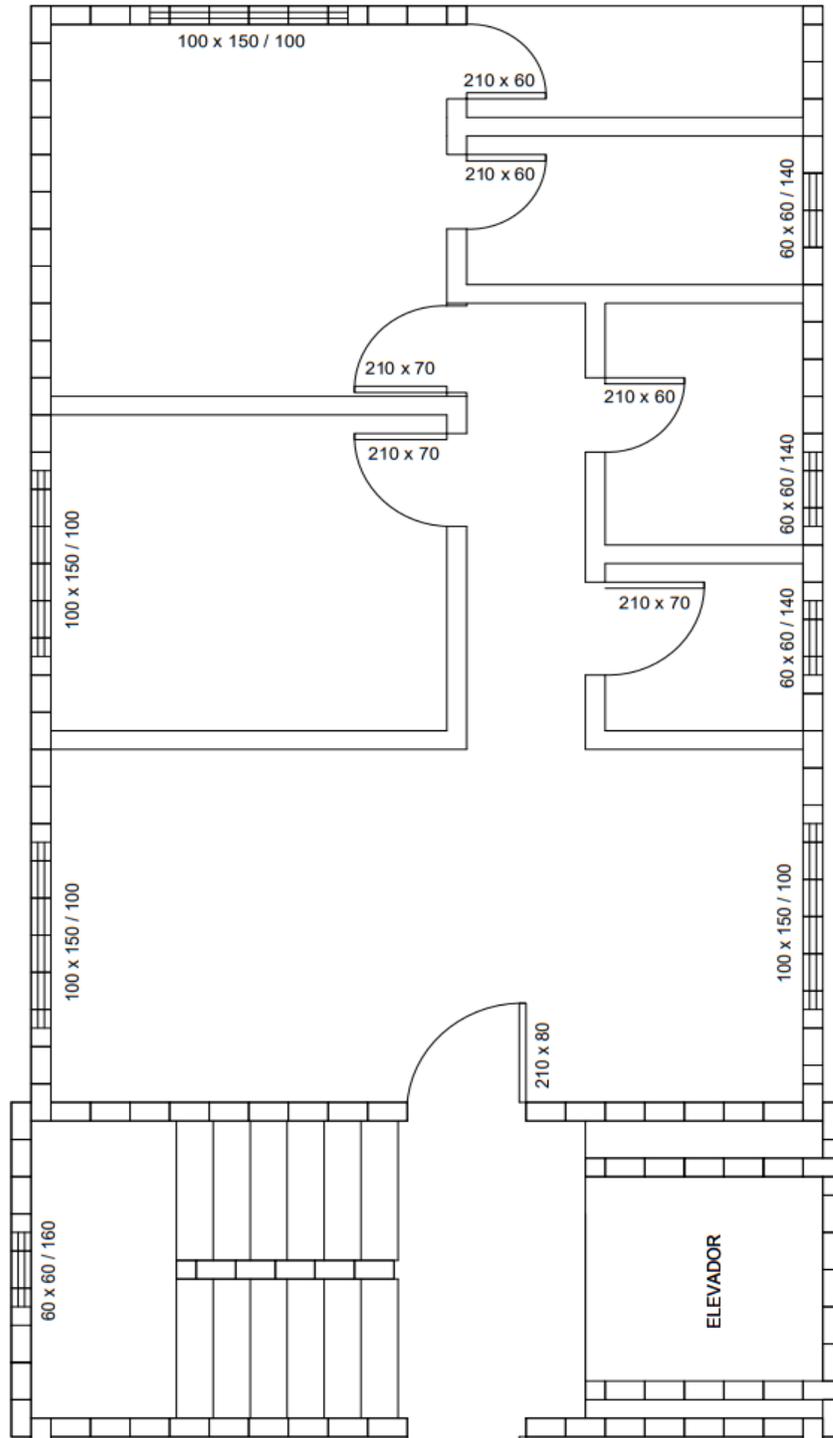


Figura 21 – Modulação em 1ª fiada



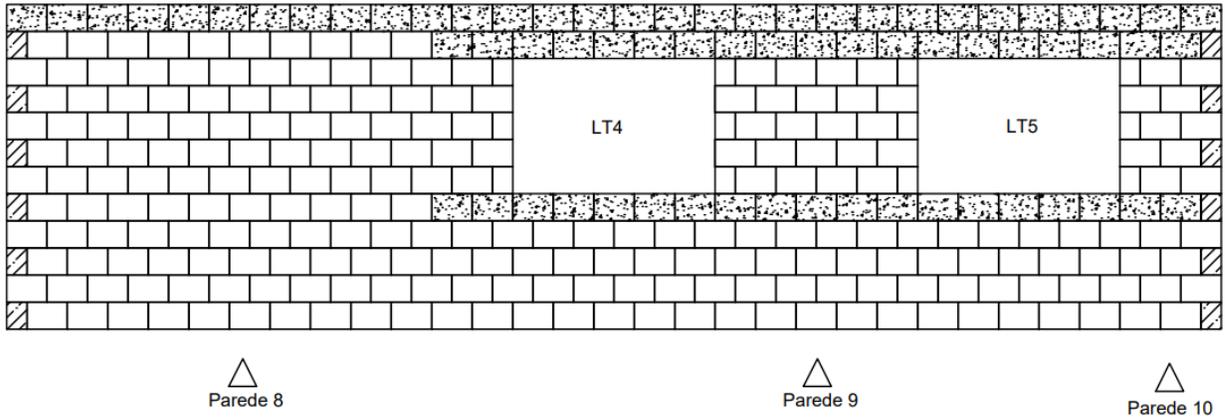
Fonte: Autor, 2023

Figura 22 – Modulação em 2ª fiada



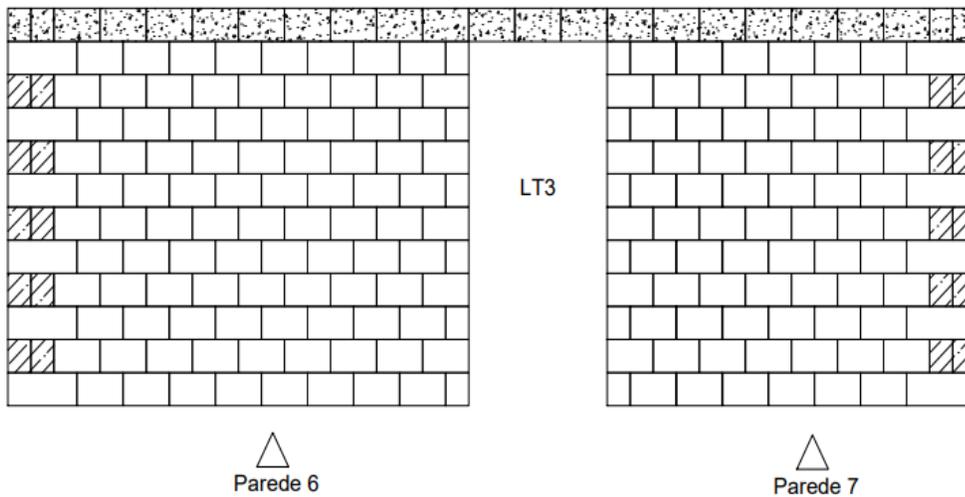
Fonte: Autor, 2023

Figura 23 – Vista modulada paredes 8, 9 e 10



Fonte: Autor, 2023

Figura 24 – Vista modulada paredes 6 e 7



LEGENDA

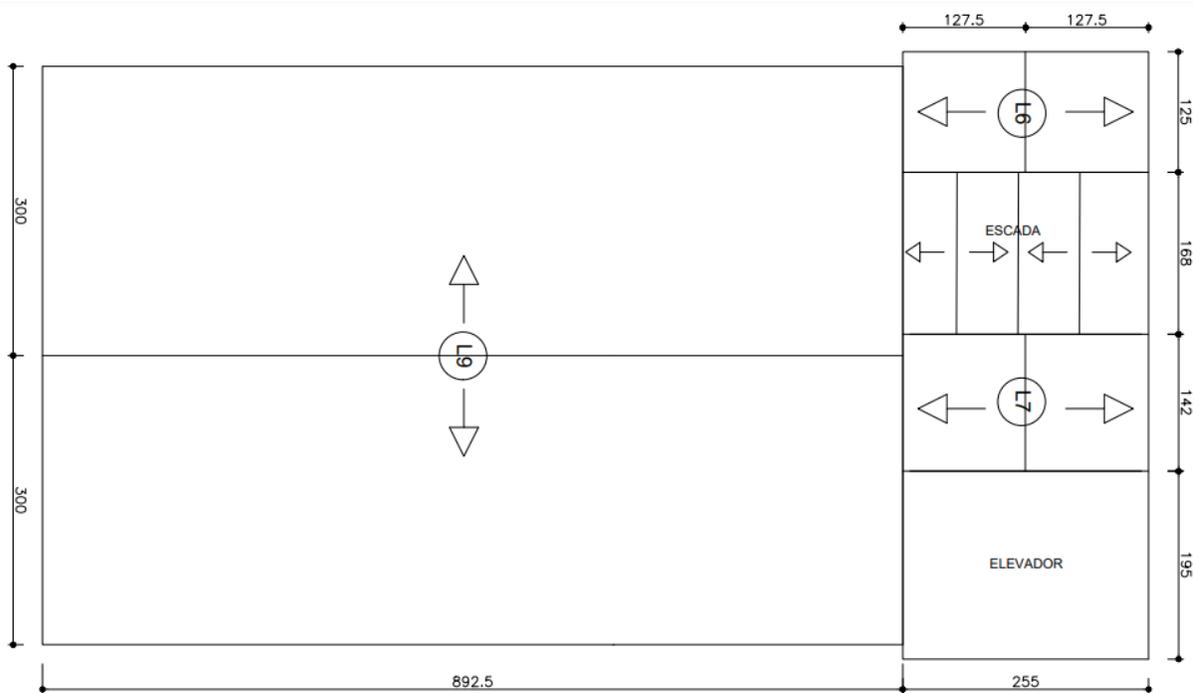
-  BLOCO GRAUTEADO
-  BLOCO NA PERPENDICULAR

Fonte: Autor, 2023

4.3.2 Determinação das cargas verticais e tensões normais

Após a modulação da alvenaria, determinamos a disposição das lajes e enquadrámos as cargas de acordo com a NBR 6120/2019. Diferente do modelo anterior, neste temos apenas uma laje responsável por todo o apartamento, incluindo as paredes de *drywall* no cálculo das cargas.

Figura 25 – Disposição das lajes pré-fabricadas



Fonte: Autor, 2023

Com a definição das cargas incidentes em cada laje, juntamente com o peso próprio da alvenaria e a carga oriunda dos lintéis, que são os intervalos superiores e inferiores entre as aberturas das paredes, encontramos as cargas totais e as tensões normais nas paredes por pavimento e também no andar térreo, ou seja, as tensões normais máximas. Primeiramente o cálculo das tensões é executado pelo procedimento de paredes isoladas, posteriormente é utilizado o método de grupo isolado de paredes, para assim obter uma eficiência maior dos resultados, reduzindo as tensões finais. A seguir temos nas tabelas 17 a 20, os resultados obtidos para os procedimentos citados acima.

Tabela 17 – Reações dos lintéis

LT	Tipo	Vão (m)	P.P (kN/m)	Sentido	Reação de laje (kN/m)		Reação total (kN/m)	Reação (kN) RA = RB
					Laje	Reação		
LT 1	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	HOR	0	0,00	2,74	2,05
LT 3	P3 (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	7	5,90	6,29	2,83
LT 4	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 5	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 10	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 11	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 12	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 13	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 14	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	0	0,00	3,53	1,06

Fonte: Autor, 2023

Tabela 18 - Resumo de carregamento vertical atuante para um pavimento

Par.	Comp. (m)	Peso próprio (kN/m)	Ação da laje (kN/m)	Ação dos lintéis (kN/m)	Carga total (kN/m)	Tensão normal (kN/m ²)
1	0,90	4,70	0,00	2,05/0,90 = 2,28	6,98	6,98/0,14 = 49,86
2	0,90	4,70	0,00	2,05/0,90 = 2,28	6,98	6,98/0,14 = 49,86
6	2,85	4,70	15,80	2,83/2,85 = 0,99	21,49	21,49/0,14 = 153,5
7	2,25	4,70	5,90	2,83/2,25 = 1,26	11,86	11,86/0,14 = 84,71
8	3,75	4,70	15,00	13,3/3,75 = 3,55	23,25	23,25/0,14 = 166,07
9	1,50	4,70	15,00	26,6/1,5 = 17,73	37,43	37,43/0,14 = 267,38
10	0,60	4,70	15,00	13,3/0,60 = 22,17	41,87	41,87/0,14 = 299,04
15	1,35	4,70	15,00	5,56/1,35 = 4,12	23,82	23,82/0,14 = 170,13
16	1,65	4,70	15,00	11,12/1,65 = 6,74	26,44	26,44/0,14 = 188,85
17	0,60	4,70	15,00	11,12/0,60 = 18,53	38,23	38,23/0,14 = 273,09
18	1,20	4,70	15,00	18,86/1,20 = 15,72	35,42	35,42/0,14 = 252,98
19	0,75	4,70	15,00	13,30/0,75 = 17,73	37,43	37,43/0,14 = 267,38
21b	1,05	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
21c	0,45	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
22	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
23	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
24	1,05	4,70	0,00	1,06/1,05 = 1,00	5,70	5,70/0,14 = 40,71
25	1,05	4,70	0,00	1,06/1,05 = 1,00	5,70	5,70/0,14 = 40,71
E	1,65	4,70	8,00	0,00	12,70	12,70/0,14 = 90,71

Fonte: Autor, 2023

Tabela 19 – Distribuição de ações verticais considerando grupos isolados por pavimento

Grupo	Parede	Comp. (m)	Carga média do grupo (kN/m)	Tensão normal (kN/m ²)
1	1 e 8	4,65	20,10	20,10/0,14 = 143,57
2	6,10 e 24	4,50	20,52	20,52/0,14 = 146,57
3	7, 19,21b, 21c, 23	6,30	11,15	11,15/0,14 = 79,64

Fonte: Autor, 2023

Tabela 20 – Resumo de carregamento vertical atuando no andar térreo

Parede	Carga total (kN/m) (x5)	Tensão normal (kN/m ²) (x5)
1 = G1	100,50	717,85
2	34,90	249,28
6 = G2	102,60	732,85
7 = G3	55,75	398,21
8 = G1	100,50	717,85
9	187,15	1336,78
10 = G2	102,60	732,85
15	119,10	850,71
16	132,20	944,29
17	191,15	1365,36
18	177,10	1265,00
19 = G3	55,75	398,21
21b = G3	55,75	398,21
21c = G3	55,75	398,21
22	23,50	167,85
23 = G3	55,75	398,21
24 = G2	102,60	732,85
25	28,50	203,57
E	63,50	453,57

Fonte: Autor, 2023

4.3.3 Ação do vento e desaprumo

Inicialmente para obtenção das forças horizontais do vento nas direções X e Y, conforme ABNT NBR 6123:1988, iremos inserir alguns dados, como, dimensões do edifício total e por pavimentos, localização geográfica, fatores topográficos, tipo de empreendimento, entre outros, para assim encontrarmos a velocidade do vento característica (V_k) e após, a força de arrasto (F_a).

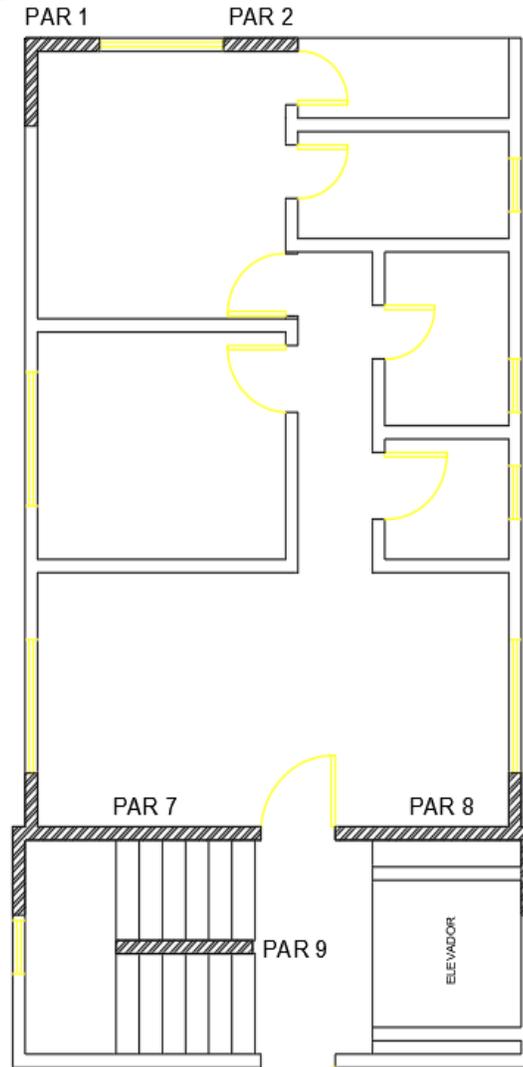
Para as forças horizontais de desaprumo, primeiramente calcula-se o ângulo de desaprumo conforme altura máxima do edifício, e em seguida, encontra-se a força de desaprumo multiplicando pela soma das cargas verticais dos grupos isolados de paredes.

Tabela 21 – Resumo com somatório das forças de desaprumo e vento

Pavimento	$F_{desaprumo}$ (kN)	Fa_x (kN)	Carga total direção X (kN)	Fa_y (kN)	Carga total direção Y (kN)
5°	2,75	17,41	20,16	3,40	6,15
4°	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
3°	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
2°	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
1°	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97

Fonte: Autor, 2023

Com a obtenção das cargas de vento e desaprumo, o próximo passo será calcular as tensões normais e de cisalhamento nas bases das paredes do pavimento térreo, considerando o modelo de paredes isoladas com abas. Neste modelo, são determinadas as áreas de influência nas paredes do prédio, para assim extrair os momentos de inércia influentes e as distâncias entre o centro de gravidade das peças.

Figura 26 – Paredes de contraventamento na direção X

Fonte: Autor, 2023

Conforme figura 26, demonstrando as áreas de análise das influências das forças do vento, será extraído para a direção X, os valores de esforço cortante, momento fletor e tensões, nas tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Ações para vento atuando na direção X

Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo ou parede	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia Y-Y (m^4)	Inércia relativa (%)	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _x	G1	0,72	0,019	0,96	0,00	0,94	7,06
Par 2 _x	P2	0,25	0,009	0,45	0,00	0,44	3,31
Par 7 _x	G2	0,73	0,610	30,71	0,00	29,91	225,71
Par 8 _x	G3	0,40	0,327	16,47	0,00	16,04	121,05
Par 9 _x	ESC	0,45	0,056	2,82	0,00	2,74	20,73

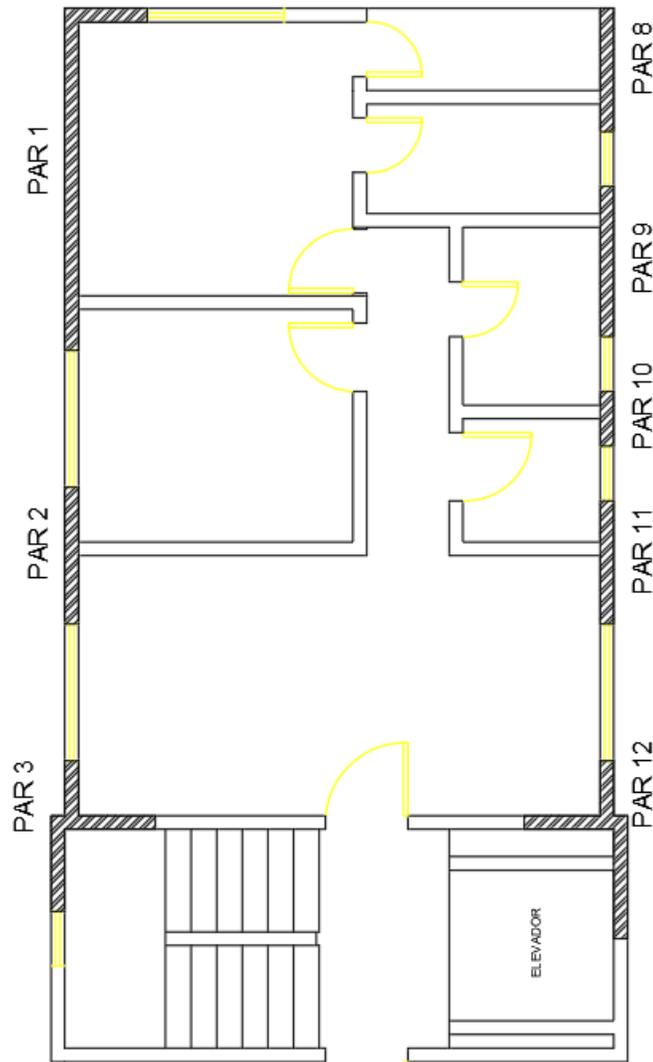
Fonte: Autor, 2023

Tabela 23 – Resumo das tensões para vento atuando na direção X

Parede	Área normal (m^2)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal à esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal à direita (MPa)
Par 1 _x	0,26	0,03	0,00	0,007	0,10	0,24
Par 2 _x	0,14	0,02	0,00	0,003	0,17	0,17
Par 7 _x	0,67	0,34	0,00	0,066	0,39	0,72
Par 8 _x	0,58	0,21	0,00	0,045	0,59	0,30
Par 9 _x	0,25	0,08	0,00	0,011	0,30	0,30

Fonte: Autor, 2023

Figura 27 – Paredes de contraventamento na direção Y



Fonte: Autor, 2023

De acordo com a Figura 27, onde se faz presente as áreas de análise das influências das forças do vento, será extraído para a direção Y, os valores de esforço cortante, momento fletor e tensões, conforme tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Ações para vento atuando na direção Y

Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo ou parede	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia X-X (m^4)	Inércia relativa (%)	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _y	G1	0,72	0,963	37,38	0,00	11,21	85,22
Par 2 _y	P9	1,34	0,043	1,67	0,00	0,50	3,81
Par 3 _y	G2	0,73	0,059	2,29	0,00	0,69	5,22
Par 8 _y	P15	0,85	0,031	1,20	0,00	0,36	2,74
Par 9 _y	P16	0,94	0,056	2,17	0,00	0,65	4,95
Par 10 _y	P17	1,37	0,003	0,12	0,00	0,04	0,27
Par 11 _y	P18	1,27	0,031	1,20	0,00	0,36	2,74
Par 12 _y	G3	0,40	0,102	3,96	0,00	1,19	9,03

Fonte: Autor, 2023

Tabela 25 – Resumo das tensões para vento atuando na direção Y

Parede	Área normal (m^2)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)
Par 1 _y	0,68	0,13	0,00	0,020	0,19	0,14
Par 2 _y	0,23	0,02	0,00	0,002	0,07	0,07
Par 3 _y	0,40	0,01	0,00	0,003	0,08	0,07
Par 8 _y	0,20	0,01	0,00	0,002	0,06	0,06
Par 9 _y	0,25	0,02	0,00	0,003	0,07	0,07
Par 10 _y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,03	0,03
Par 11 _y	0,20	0,01	0,00	0,002	0,06	0,06
Par 12 _y	0,44	0,02	0,00	0,004	0,10	0,08

Fonte: Autor, 2023

4.3.4 Verificação das estruturas de contraventamento

Será avaliado por meio do parâmetro ALFA, se as estruturas de contraventamento do Edifício nas duas direções estão adequadas e se será necessário análise dos efeitos de 2ª ordem. Para essa análise, foi utilizado o procedimento de paredes isoladas com abas.

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}}, \text{ onde:}$$

α = parâmetro de instabilidade (adimensional) H = altura total do edifício (m)

P = peso total da edificação (kN) EI = rigidez a flexão (kN.m²)

$$\alpha_x = 12,5 \sqrt{\frac{4851}{3200 \times 10^3 \times 1,99}} = 0,35 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura **indeslocável** em X.}$$

$$\alpha_y = 12,5 \sqrt{\frac{4851}{3200 \times 10^3 \times 2,58}} = 0,30 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura **indeslocável** em Y.}$$

Conforme resultados obtidos com o parâmetro de instabilidade ALFA, percebe-se a não necessidade de verificação dos efeitos de segunda ordem, uma vez que ambas direções das estruturas do edifício, são consideradas indeslocáveis.

4.3.5 Resistência dos prismas, blocos e argamassas

Para encontrarmos a resistência dos prismas, atenderemos as prescrições da ABNT NBR 16868-1:2020 no pavimento térreo, ou seja, considerando a pior situação, adotando o procedimento de grupos isolados de paredes e a ação do vento para o modelo de paredes isoladas com abas.

1ª Hipótese:

- Tensões horizontais como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)
- Sobrecarga na laje como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,5$)
- $S_d, \text{ compressão simples} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times 0,5 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$
- $S_d, \text{ compressão na flexão} = 1,4 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$

2ª Hipótese:

- Sobrecarga na laje como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)
- Tensões horizontais como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,6$)
- $S_d, \text{ compressão simples} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$
- $S_d, \text{ compressão na flexão} = 1,4 \times 0,6 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$

Equação de interação para encontrar f_{pk} do prisma:

$$\frac{S_d, \text{ compressão simples}}{R_d, \text{ compressão simples}} + \frac{S_d, \text{ compressão na flexão}}{R_d, \text{ compressão na flexão}} \leq 1$$

Tabela 26 – Resumo do dimensionamento à flexo-compressão em X

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão na flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
			S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _x	0,72	0,24	0,88	0,34	3,38	1,01	0,20	3,51
P2 _x	0,25	0,17	0,31	0,24	1,40	0,35	0,14	1,36
P7 _x	0,73	0,72	0,89	1,01	4,69	1,02	0,60	4,32
P8 _x	0,4	0,59	0,49	0,83	3,09	0,56	0,50	2,68
P9 _x	0,45	0,3	0,55	0,42	2,51	0,63	0,25	2,43

Fonte: Autor, 2023

Tabela 27 – Resumo do dimensionamento à flexo-compressão em Y

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão na flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
			S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d compressão simples (MPa)	S_d compressão na flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _y	0,72	0,19	0,88	0,27	3,24	1,01	0,27	3,63
P2 _y	1,34	0,07	1,64	0,10	5,28	1,88	0,06	5,93
P3 _y	0,73	0,08	0,89	0,11	2,99	1,02	0,07	3,30
P8 _y	0,85	0,06	1,04	0,08	3,39	1,19	0,05	3,79
P9 _y	0,94	0,07	1,15	0,10	3,76	1,32	0,06	4,19
P10 _y	1,37	0,03	1,68	0,04	5,28	1,92	0,03	6,00
P11 _y	1,27	0,06	1,56	0,08	4,98	1,78	0,05	5,61
P12 _y	0,4	0,1	0,49	0,14	1,79	0,56	0,08	1,90

Fonte: Autor, 2023

Tabela 28 – Resumo dos blocos e argamassas recomendados

Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)	Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)
P1_y	3,63	6	6	P1_x	3,51	6	6
P2_y	5,93	8	6	P2_x	1,40	3	4
P3_y	3,30	4	4	P7_x	4,69	6	6
P8_y	3,79	6	6	P8_x	3,09	4	4
P9_y	4,19	6	6	P9_x	2,51	4	4
P10_y	6,00	8	6				
P11_y	5,61	8	6				
P12_y	1,90	3	4				

Fonte: Autor, 2023

4.3.6 Verificação das tensões de cisalhamento e tração

Após definição dos blocos e argamassas, verifica-se as tensões de cisalhamento e de tração nas bases das paredes no pavimento térreo, onde estando dentro dos limites admissíveis da ABNT NBR 16868-1:2020, não haverá necessidade de dimensionar e detalhar as armaduras nas paredes.

Para $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = 0,15 + 0,5 \times 0,9 \times \sigma_{comp. \text{ simples perm.}}$

f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento da alvenaria

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} = \gamma_f \times \sigma_{\text{cisalhamento}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$$

$$R_{d, \text{ cisalhamento}} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} < R_{d, \text{ cisalhamento}}$$

Tabela 29 – Verificação das tensões de cisalhamento em X

Parede	Tensão vertical permanente (MPa)	Força cortante (kN)	Tensão de cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,54	0,94	0,007	0,01	0,39	0,20	OK
P2 _x	0,19	0,44	0,003	0,00	0,24	0,12	OK
P7 _x	0,55	29,91	0,066	0,09	0,40	0,20	OK
P8 _x	0,3	16,04	0,045	0,06	0,29	0,14	OK
P9 _x	0,34	2,74	0,011	0,02	0,30	0,15	OK

Fonte: Autor, 2023

Tabela 30 – Verificação das tensões de cisalhamento em Y

Parede	Tensão vertical permanente (MPa)	Força cortante (kN)	Tensão de cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,54	11,21	0,02	0,03	0,39	0,20	OK
P2 _y	1,01	0,50	0,002	0,00	0,60	0,30	OK
P3 _y	0,55	0,69	0,003	0,00	0,40	0,20	OK
P8 _y	0,64	0,36	0,002	0,00	0,44	0,22	OK
P9 _y	0,71	0,65	0,003	0,00	0,47	0,23	OK
P10 _y	1,03	0,04	0,000	0,00	0,61	0,31	OK
P11 _y	0,95	0,36	0,002	0,00	0,58	0,29	OK
P12 _y	0,30	1,19	0,004	0,01	0,29	0,14	OK

Fonte: Autor, 2023

Conforme resultados demonstrados nas tabelas, conclui-se que todas as paredes atenderam aos requisitos exigidos na ABNT NBR 16868-1:2020 quanto aos esforços de cisalhamento. A seguir será realizado a verificação aos esforços de tração.

Para argamassa $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{tk} = 0,20$

f_{tk} = resistência característica à tração da alvenaria

$S_d, \text{ tração na flexão} = \gamma_f \times \sigma_{\text{tração na flexão}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$

$$R_d, \text{ tração na flexão} = \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$R_d, \text{ tração na flexão} = \frac{0,20}{2,0} = 0,10$$

$$S_d, \text{ tração na flexão} < R_d, \text{ tração na flexão}$$

$$S_d, \text{ tração na flexão} < 0,10$$

Tabela 31 – Verificação das tensões de tração em X

Par	Tensão vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal direita (MPa)	Extremidade Esquerda			Extremidade direita		
				S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,72	0,1	0,24	-0,35	0,10	OK	-0,15	0,10	OK
P2 _x	0,25	0,17	0,17	0,07	0,10	OK	0,07	0,10	OK
P7 _x	0,73	0,39	0,72	0,05	0,10	OK	0,09	0,10	OK
P8 _x	0,4	0,59	0,3	0,09	0,10	OK	0,10	0,10	OK
P9 _x	0,45	0,3	0,3	0,08	0,10	OK	0,08	0,10	OK

Fonte: Autor, 2023

Tabela 32 – Verificação das tensões de tração em Y

Parede	Tensão vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)	Parte Inferior			Parte Superior		
				S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,72	0,19	0,14	-0,22	0,10	OK	-0,29	0,10	OK
P2 _y	1,34	0,07	0,07	-0,81	0,10	OK	-0,81	0,10	OK
P3 _y	0,73	0,08	0,07	-0,38	0,10	OK	-0,40	0,10	OK
P8 _y	0,85	0,06	0,06	-0,49	0,10	OK	-0,49	0,10	OK
P9 _y	0,94	0,07	0,07	-0,54	0,10	OK	-0,54	0,10	OK
P10 _y	1,37	0,03	0,03	-0,89	0,10	OK	-0,89	0,10	OK
P11 _y	1,27	0,06	0,06	-0,77	0,10	OK	-0,77	0,10	OK
P12 _y	0,4	0,1	0,08	-0,13	0,10	OK	-0,16	0,10	OK

Fonte: Autor, 2023

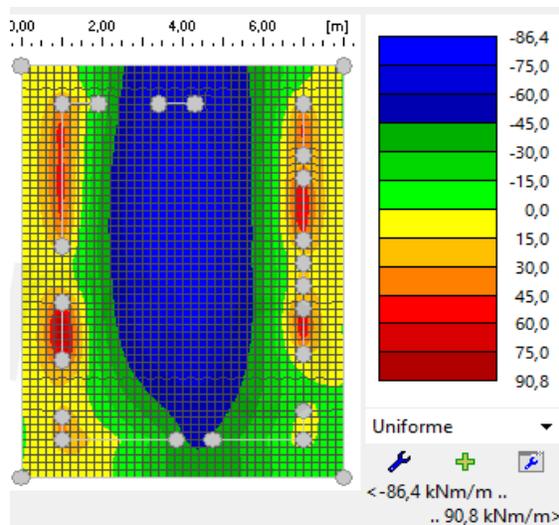
Mediante resultados obtidos, todas as paredes do edifício em questão também atenderam as verificações de tração conforme ABNT NBR 16868-1:2020. Sendo assim, nenhuma parede necessitará receber armaduras para combater aos esforços citados acima.

4.3.7 Dimensionamento da fundação em radier

A fundação escolhida para o empreendimento foi do modelo em radier, no qual basicamente se trata de uma laje apoiada ao solo, que receberá todas as cargas do edifício e transmitirá ao mesmo. O concreto utilizado para execução do radier foi o C30, ou seja, com resistência de 30 MPa, e sua espessura será de 30 cm. Como não há sondagem do solo do terreno, será simulado para o cálculo da fundação, um perfil de solo de argila rijas. Após dimensionamento no software GEO5, chegamos aos seguintes resultados demonstrados abaixo e nas figuras 19 e 20:

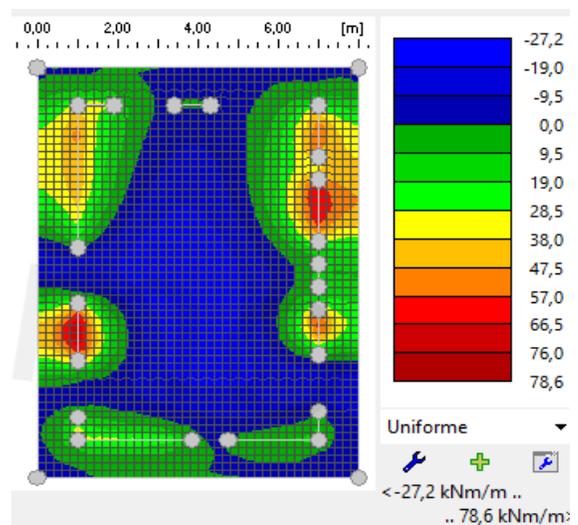
- Momento em X = 9080 kN.cm / $A_s = 8,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 10 cm
- Momento em Y = 7860 kN.cm / $A_s = 7,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 11 cm
- Aço CA-50
- Área do radier: 22,4 m x 8,0 m = 179,2 m²

Figura 28 – Momento em X



Fonte: Autor, 2023

Figura 29 – Momento em Y



Fonte: Autor, 2023

4.4 Levantamento de Custos Básicos de Ambos Métodos

Para levantamento dos principais custos envolvidos afim de comparar os dois métodos construtivos citados neste trabalho, foram efetuadas cotações em empresas do ramo específico dos principais materiais utilizados na edificação. Materiais e mão de obra de acabamentos, entre outros custos paralelos, não serão orçados, pois o intuito deste trabalho é comparar os métodos estruturais adotados para a edificação.

Será demonstrado nas Tabelas 33 e 34, as cotações detalhadas e totais, correspondentes aos principais materiais e mão de obra para execução do método de construção total em alvenaria estrutural, e também para o método de execução em alvenaria estrutural nas paredes externas e paredes de *drywall* internamente.

Tabela 33 – Levamento de custos para o modelo convencional

Modelo Convencional	Unidades/ pavimento	Unidades totais	Valor unitário	Valor total	Área total (m ²)
Meio bloco - 14x19x14 4 MPa	296	1500	R\$ 1,58	R\$ 2.370,00	44,12
Bloco – 14x19x29 4 Mpa	2669	14489	R\$ 2,40	R\$ 34.773,60	852,29
Bloco 14x19x44 4 Mpa	94	490	R\$ 3,80	R\$ 1.862,00	37,69
Bloco canaleta 14x19x29 - 4 Mpa	499	2673	R\$ 2,96	R\$ 7.912,08	157,24
Graute 15 MPa 50 kg		560	R\$ 35,40	R\$ 19.824,00	
Argamassa 4 Mpa 40 kg		411	R\$ 20,00	R\$ 8.220,00	
Laje protendida para vão até 3,5 m			R\$ 70,00	R\$ 43.123,50	616,05
Mão de obra assentamento blocos			R\$ 19,00	R\$ 20.735,45	1091,34
Concreto usinado radier C30		53,8 m ³	R\$ 540,00	R\$ 29.052,00	
Barras de aço 10 mm para radier		170	R\$ 42,00	R\$ 7.140,00	
Custo final modelo convencional				R\$ 175.012,63	

Fonte: Autor, 2023

Tabela 34 – Levamento de custos para o modelo com *drywall*

Modelo com <i>drywall</i>	Unidades/ pavimento	Unidades totais	Valor unitário	Valor total	Área total (m²)
Meio bloco 14x19x14 8 MPa	180	920	R\$ 1,99	R\$ 1.830,80	27,06
Bloco 14x19x29 8 Mpa	1805	10169	R\$ 2,71	R\$ 27.557,99	598,18
Bloco 14x19x44 8 Mpa	36	200	R\$ 4,28	R\$ 856,00	15,38
Bloco canaleta 14x19x29 - 8 Mpa	427	2313	R\$ 3,49	R\$ 8.072,37	136,06
Graute 20 MPa 50 kg		480	R\$ 39,90	R\$ 19.152,00	
Argamassa 6 Mpa 40 kg		293	R\$ 22,00	R\$ 6.446,00	
Laje protendida para vão até 6,0 m			R\$ 100,00	R\$ 61.605,00	616,05
Paredes internas em <i>drywall</i>	118,8 m ²		R\$ 60,00	R\$ 35.640,00	594
Mão de obra assentamento blocos			R\$ 19,00	R\$ 14.756,90	776,68
Mão de obra paredes <i>drywall</i>	118,8 m ²		R\$ 30,00	R\$ 17.820,00	594
Concreto usinado radier C30		53,8 m ³	R\$ 540,00	R\$ 29.052,00	
Barras de aço 10 mm para radier		340	R\$ 42,00	R\$ 14.280,00	
Custo final modelo com <i>drywall</i>				R\$ 237.069,06	

Fonte: Autor, 2023

Com os resultados obtidos, podemos observar que o método de construção em alvenaria estrutural em toda sua totalidade, teve um custo final de R\$ 175.012,63. Já o método que mescla alvenaria estrutural com paredes internas em *drywall*, gerou um custo final de R\$ 237.069,06. Sendo assim, conclui-se que, o método convencional utilizando apenas alvenaria estrutural em toda edificação, é aproximadamente 35% mais em barato comparado ao outro método.

5 CONCLUSÃO

Mediante as análises e cálculos efetuados dos dois métodos construtivos apresentados, podemos observar que ambos possuem pontos positivos e negativos, onde o que determinará a melhor escolha construtiva, será a destinação do empreendimento em questão.

No primeiro caso, onde o edifício em sua totalidade é erguido por paredes externas e internas em blocos estruturais, pode-se observar que economicamente o mesmo é mais eficiente, tendo um custo final menor. A diferença no orçamento de materiais e mão de obra dos principais itens diretamente relacionados com a construção da edificação, ficou R\$ 62.056,43 mais em conta comparado ao outro método, sendo aproximadamente 35 % mais econômico.

Sendo assim, temos como principal ponto positivo deste primeiro método, a execução da parte estrutural do edifício com menor custo agregado. Mas também podemos listar outros, como: lajes mais simples com menores vãos e possibilidade de não escoramento, e execução facilitada pela uniformidade do material de todas as paredes.

Porém também se encontra pontos negativos para o método em questão, com suas paredes internas não podendo ser removidas, pela perda de espaço interno dos cômodos para adaptação de projetos complementares (Hidrossanitário, elétrico, gás e etc), tempo de execução superior comparado as paredes de *drywall*, entre outros.

Já no segundo caso analisado, com o edifício composto por blocos estruturais nas paredes externas e nas divisões internas dos cômodos paredes em *drywall*, observamos que se trata de um método menos eficiente na parte financeira, porém com pontos relevantes a serem considerados.

Tal método traz como primordial fator positivo, a possibilidade de mobilidade/alteração interna dos cômodos, pois todas as paredes internas do apartamento não exercem função estrutural. Outro fator preponderante, é a rapidez na execução das paredes de *drywall*, reduzindo assim de forma considerável o tempo final de construção do empreendimento em questão.

Entretanto, devem ser considerados os pontos negativos, que estão em sua maior parte relacionados diretamente com o maior custo de execução, começando pela fundação que utiliza o dobro de barras de aço comparado ao outro método citado, necessidade de blocos estruturais de concreto com resistência superior, mão de obra e materiais das paredes internas de *drywall* mais caros, entre outros.

Conclui-se que ambos os métodos são eficazes. O que demandará a escolha de cada qual, será o empreendimento em questão, localização do mesmo, público alvo, entre outros fatores.

6 REFERÊNCIAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-1: **Alvenaria estrutural Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-2: **Alvenaria estrutural Parte 2: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16868-3: **Alvenaria estrutural Parte 3: Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. **Resíduos de Gesso na Construção Civil – Coleta, armazenagem e reciclagem**. São Paulo – SP, 2012.

BERNARDI, V. B. **Análise do Método Construtivo de Vedação Vertical Interna em Drywall em Comparação com a Alvenaria.** Relatório de estágio - Universidade do Planando Catarinense, Lages – Santa Catarina, 2014.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos.** 1ª edição. São Paulo: Editora O Nome da Rosa, 2010.

PINHEIRO, G. S. **Alvenaria estrutural em blocos de concreto: aspectos construtivos e pré-dimensionamento.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) do curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2018.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** 1ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2003.

SAMPAIO, M. B. **Fissuras em edifícios residenciais em alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

APÊNDICE A

**MEMÓRIA DE CÁLCULO MÉTODO COMPLETO EM ALVENARIA
ESTRUTURAL**

Ações das Lajes nas Paredes

Laje L1 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m^2

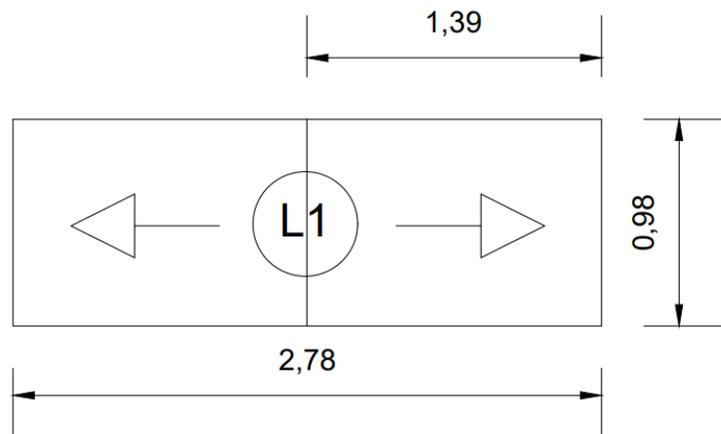
- Acidental: $1,5 \text{ kN/m}^2$

Carga total: $4,1 \text{ kN/m}^2$

$h = 12 \text{ cm}$ (laje)

$A1 = A2$ (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,39 \times 0,98 = 1,35 \text{ m}^2$$



Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,1 \text{ kN/m}^2 \times 1,35 \text{ m}^2}{0,98 \text{ m}} = 5,65 \text{ kN/m}$$

Laje L2 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

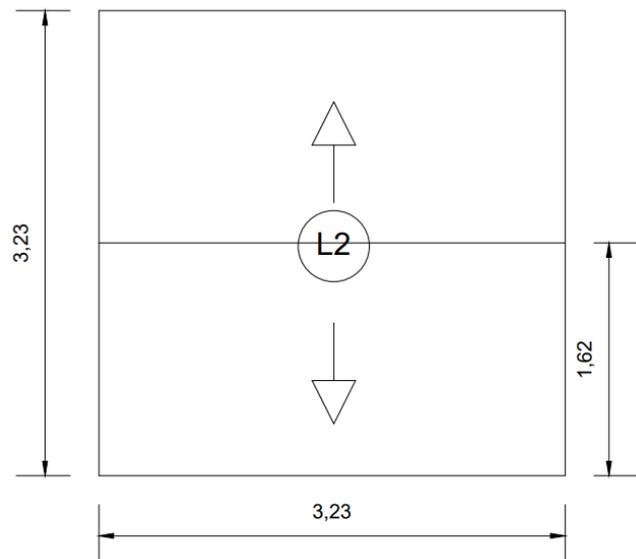
$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m^2

- Acidental: $1,5 \text{ kN/m}^2$

Carga total: $4,1 \text{ kN/m}^2$

$h = 12 \text{ cm}$ (laje)



A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 3,23 \times 1,62 = 5,20 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,1 \text{ kN/m}^2 \times 5,20 \text{ m}^2}{3,23 \text{ m}} = 6,60 \text{ kN/m}$$

Laje L3 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 +$$

$$0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²

- Acidental: 1,5 kN/m²

Carga total: 4,1 kN/m²

h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 4,95 \times 1,39 = 6,86 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,1 \text{ kN/m}^2 \times 6,86 \text{ m}^2}{4,95 \text{ m}} = 5,68 \text{ kN/m}$$

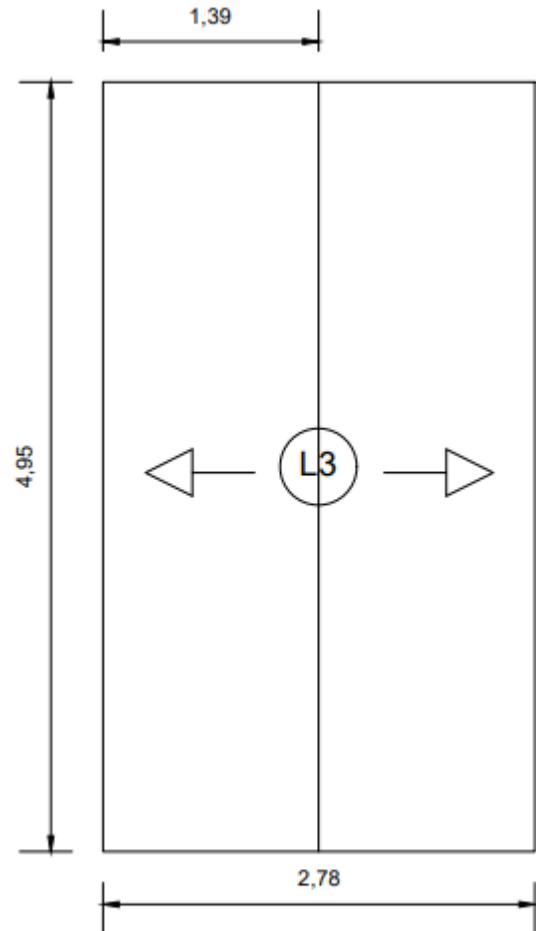
Laje L4 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²



- Acidental: 1,5 kN/m²

Carga total: 4,1 kN/m²

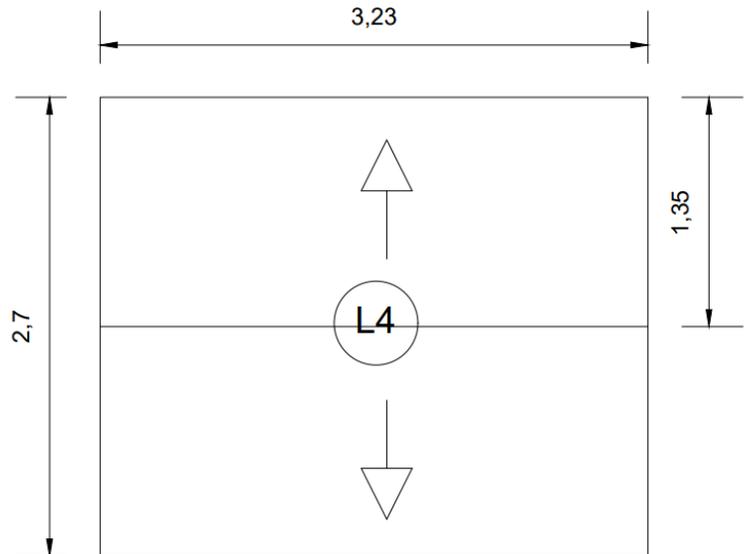
h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 3,23 \times 1,35 = 4,36 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,1 \text{ kN/m}^2 \times 4,36 \text{ m}^2}{3,23 \text{ m}} = 5,53 \text{ kN/m}$$



Laje L5 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²

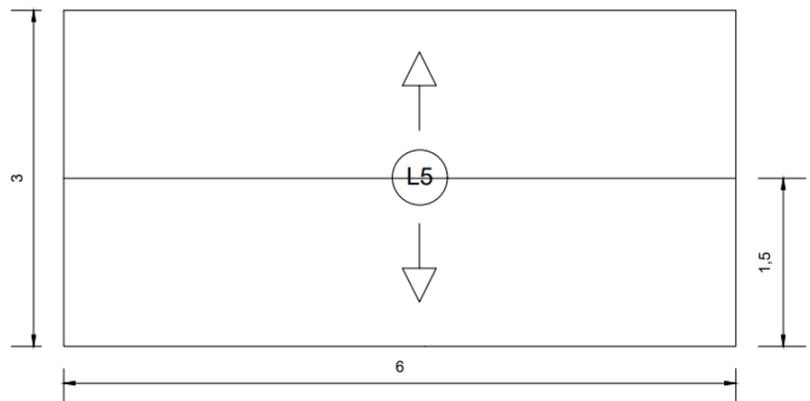
- Acidental: 1,5 kN/m²

Carga total: 4,1 kN/m²

h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 6,0 \times 1,5 = 9,0 \text{ m}^2$$



Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,1 \text{ kN/m}^2 \times 9,0 \text{ m}^2}{6,0 \text{ m}} = 6,15 \text{ kN/m}$$

Laje L6 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²- Acidental: 2,0 kN/m²**Carga total: 4,6 kN/m²**

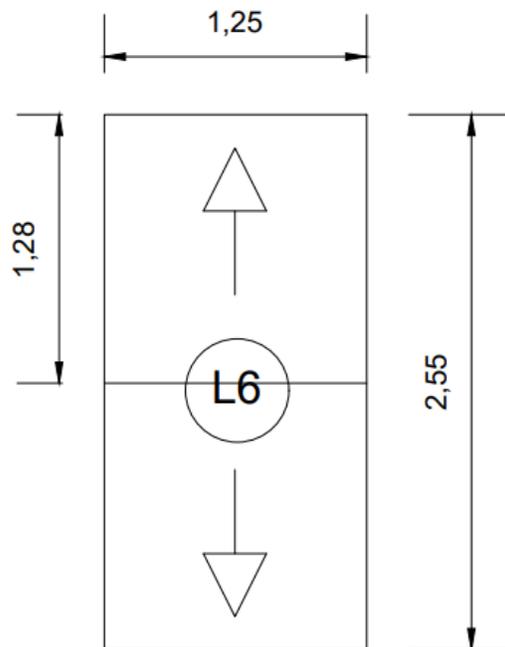
h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,28 \times 1,25 = 1,6 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,6 \text{ kN/m}^2 \times 1,6 \text{ m}^2}{1,25 \text{ m}} = 5,9 \text{ kN/m}$$

**Laje L7 – Laje Apoiada (Pré-moldada)**

Cargas:

- Peso Próprio:

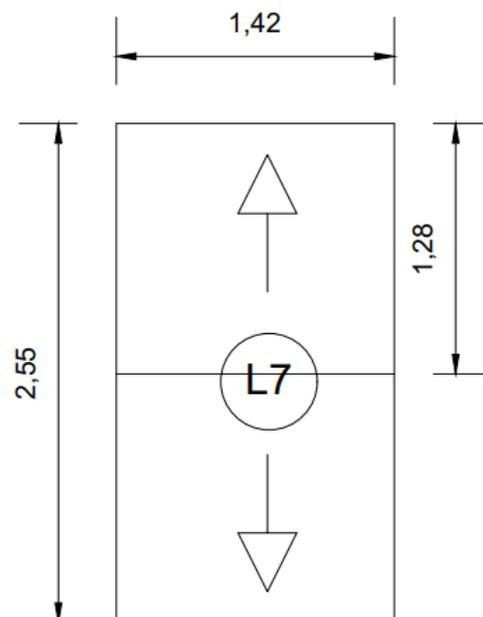
$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²- Acidental: 2,0 kN/m²**Carga total: 4,6 kN/m²**

h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,28 \times 1,42 = 1,82 \text{ m}^2$$



Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,6 \text{ kN/m}^2 \times 1,82 \text{ m}^2}{1,42 \text{ m}} = 5,9 \text{ kN/m}$$

Laje L8 – Escada (Pré-moldada)**Cargas:**

- Peso Próprio: $0,15 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3,75 \text{ kN/m}^2$

- Revestimento e piso: 1 kN/m^2

- Acidental: $2,0 \text{ kN/m}^2$

Carga total: $6,75 \text{ kN/m}^2$

$h = 15 \text{ cm}$ (espessura degrau)

$A1 = A2$ (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,68 \times 0,6 = 1,0 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{6,75 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m}^2}{1,68 \text{ m}} = 4,0 \text{ kN/m}$$

$$R_G = R_E = 4,0 \text{ kN/m} \quad (ESC1 = ESC2)$$

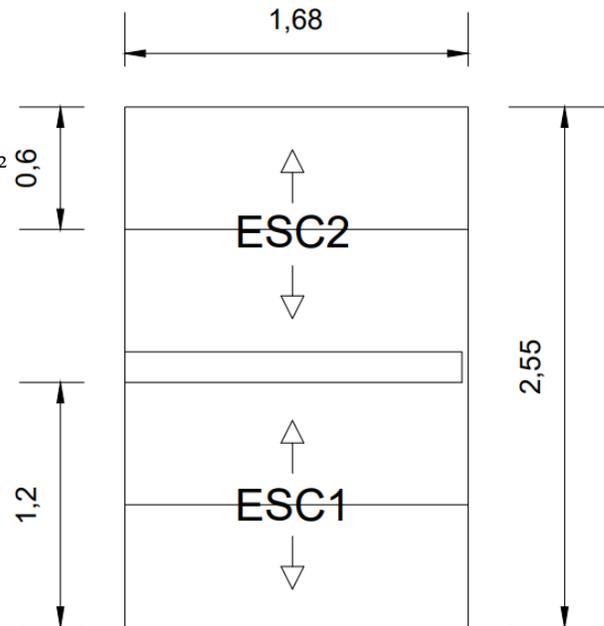


Tabela resumo com os carregamentos das lajes

REAÇÕES DAS LAJES NAS PAREDES				
LAJE	CARGAS (kN/m ²)	L (m)	A (m ²)	RL (kN/m)
1	4,1	0,98	1,35	5,65
2	4,1	3,23	5,20	6,60
3	4,1	4,95	6,86	5,68
4	4,1	3,23	4,36	5,53
5	4,1	6,0	9,0	6,15
6	4,6	1,25	1,6	5,90
7	4,6	1,42	1,82	5,90
8 (ESC 1 e 2)	6,75	1,68	1,0	4,0

$$\gamma_{ALV} = 14 \text{ kN/m}^3$$

$$e = 14 \text{ cm}$$

$$h \text{ (pé direito)} = 2,40 \text{ m}$$

$$\text{Peso Próprio} = \gamma_{ALV} \times e \times h = 14 \times 0,14 \times 2,40 = 4,70 \text{ kN/m}$$

Ações dos Lintéis sobre as Paredes

LT 1 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{LT 1} = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 6,6 \text{ kN/m (RL - Laje 2)}$$

$$\text{Total} = 9,34 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{9,34 \times 1,50}{2} = 7,00 \text{ kN}$$

LT 2 (Passagem 90 x 220)

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{LT 2} = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 6,15 \text{ kN/m (RL - Laje 5)}$$

$$\text{Total} = 6,54 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,54 \times 0,90}{2} = 2,94 \text{ kN}$$

LT 3 (Porta P3 - 90 x 220)

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{LT 3} = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 6,15 \text{ kN/m (RL - Laje 5)} + 5,90 \text{ kN/m (RL - Laje 7)}$$

Total = 12,44 kN/m

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{12,44 \times 0,90}{2} = 5,60 \text{ kN}$$

LT 4 (Janela J1 - 150 x 100)

h = 1,40 m

LT 4 = e x h = 0,14 x 1,40 = 0,196 m²

Peso Próprio = 0,14m x 1,40 m x 14 kN/m³ = 2,74 kN/m

Laje = 0,0 kN/m (NÃO RECEBE CARGA DA LAJE)

Total = 2,74 kN/m

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{2,74 \times 1,50}{2} = 2,05 \text{ kN}$$

LT 5 (Janela J1 - 150 x 100)

h = 1,40 m

LT 5 = e x h = 0,14 x 1,40 = 0,196 m²

Peso Próprio = 0,14m x 1,40 m x 14 kN/m³ = 2,74 kN/m

Laje = 0,0 kN/m (NÃO RECEBE CARGA DA LAJE)

Total = 2,74 kN/m

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{2,74 \times 1,50}{2} = 2,05 \text{ kN}$$

LT 6 (Porta P1 - 60 x 220)

h = 0,20 m

LT 6 = e x h = 0,14 x 0,20 = 0,028 m²

Peso Próprio = 0,14m x 0,20 m x 14 kN/m³ = 0,39 kN/m

Laje = 5,65 kN/m (RL – Laje 1)

Total = 6,04 kN/m

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,04 \times 0,60}{2} = 1,81 \text{ kN}$$

LT 7 (Porta P1 - 60 x 220)

h = 0,20 m

$$LT\ 7 = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028\ m^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20\ \text{m} \times 14\ \text{kN/m}^3 = 0,39\ \text{kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68\ \text{kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 6,07\ \text{kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,07 \times 0,60}{2} = 1,82\ \text{kN}$$

LT 8 (Porta P2 - 75 x 220)

$$h = 0,20\ \text{m}$$

$$LT\ 8 = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028\ m^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20\ \text{m} \times 14\ \text{kN/m}^3 = 0,39\ \text{kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68\ \text{kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 6,07\ \text{kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,07 \times 0,75}{2} = 2,28\ \text{kN}$$

LT 9 (Porta P2 - 75 x 220)

$$h = 0,20\ \text{m}$$

$$LT\ 9 = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028\ m^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20\ \text{m} \times 14\ \text{kN/m}^3 = 0,39\ \text{kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68\ \text{kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 6,07\ \text{kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,07 \times 0,75}{2} = 2,28\ \text{kN}$$

LT 10 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80\ \text{m}$$

$$LT\ 10 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252\ m^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80\ \text{m} \times 14\ \text{kN/m}^3 = 3,53\ \text{kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68\ \text{kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 9,21\ \text{kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{9,21 \times 0,6}{2} = 2,76 \text{ kN}$$

LT 11 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$LT 11 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68 \text{ kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 9,21 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{9,21 \times 0,6}{2} = 2,76 \text{ kN}$$

LT 12 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$LT 12 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,68 \text{ kN/m (RL - Laje 3)}$$

$$\text{Total} = 9,21 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{9,21 \times 0,6}{2} = 2,76 \text{ kN}$$

LT 13 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$LT 13 = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 0,0 \text{ kN/m (NÃO RECEBE CARGA DA LAJE)}$$

$$\text{Total} = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{2,74 \times 1,50}{2} = 2,06 \text{ kN}$$

LT 14 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$LT\ 12 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252\ m^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14m \times 1,80\ m \times 14\ kN/m^3 = 3,53\ kN/m$$

$$\text{Laje} = 0,0\ kN/m\ (\text{NÃO RECEBE CARGA DA LAJE})$$

$$\text{Total} = 3,53\ kN/m$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{3,53 \times 0,6}{2} = 1,06\ kN$$

Tabela com reações dos lintéis

REAÇÕES DOS LINTÉIS								
LINTÉIS	TIPO	VÃO (m)	P.P (kN/m)	SENTIDO	REAÇÃO DE LAJE (kN/m)		REAÇÃO TOTAL (kN/m)	REAÇÃO (kN) RA = RB
					LAJE	REAÇÃO		
LT 1	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	HOR	2	6,60	9,34	7,00
LT 2	PA (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	5	6,15	6,54	2,94
LT 3	P3 (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	5 e 7	6,15 + 5,90	12,44	5,60
LT 4	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 5	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 6	P1 (60 X 220)	0,60	0,39	VER	1	5,65	6,04	1,81
LT 7	P1 (60 X 220)	0,60	0,39	VER	3	5,68	6,07	1,82
LT 8	P2 (75 X 220)	0,75	0,39	VER	3	5,68	6,07	2,28
LT 9	P2 (75 X 220)	0,75	0,39	VER	3	5,68	6,07	2,28
LT 10	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 11	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 12	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	3	5,68	9,21	2,76
LT 13	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	0	0,00	2,74	2,05
LT 14	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	0	0,00	3,53	1,06

Tabela de distribuição de ações verticais para paredes isoladas

TABELA RESUMO DE CARREGAMENTO VERTICAL ATUANTE PARA UM PAVIMENTO						
PAREDE	COMP. (m)	Peso Próprio (kN/m)	Ação da Laje (kN/m)	Ação dos Lintéis (kN/m)	Carga Total (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	0,90	4,70	6,60	7,00/0,90 = 7,78	19,08	19,08/0,14 = 136,28
2	0,75	4,70	6,60	7,00/0,75 = 9,33	20,63	20,63/0,14 = 147,35
3	3,30	4,70	12,13	0,00	16,83	16,83/0,14 = 120,21
4	3,30	4,70	11,68	2,94/3,30 = 0,89	17,27	17,27/0,14 = 123,35
5	1,80	4,70	6,15	2,94/1,80 = 1,63	12,48	12,48/0,14 = 89,14

6	2,85	4,70	21,95	$5,60/2,85 = 1,96$	28,61	$28,61/0,14 = 204,35$
7	2,25	4,70	12,05	$5,60/2,25 = 2,49$	19,24	$19,24/0,14 = 137,43$
8a	3,15	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
8b	0,60	4,70	0,00	$2,05/0,60 = 3,41$	8,11	$8,11/0,14 = 57,92$
9a	0,75	4,70	0,00	$2,05/0,75 = 2,73$	7,43	$7,43/0,14 = 53,07$
9b	0,75	4,70	0,00	$2,05/0,75 = 2,73$	7,43	$7,43/0,14 = 53,07$
10	0,60	4,70	0,00	$2,05/0,60 = 3,41$	8,11	$8,11/0,14 = 57,93$
11a	0,22	4,70	5,65	$1,81/0,22 = 8,22$	18,57	$18,57/0,14 = 132,64$
11b	0,22	4,70	5,68	$1,82/0,22 = 8,27$	18,65	$18,65/0,14 = 133,21$
12	0,60	4,70	5,68	$4,1/0,60 = 6,83$	17,21	$17,21/0,14 = 122,93$
13	0,30	4,70	5,68	$4,56/0,30 = 15,20$	25,58	$25,58/0,14 = 182,71$
14	1,80	4,70	5,68	$2,28/1,80 = 1,27$	11,65	$11,65/0,14 = 83,21$
15b	0,90	4,70	5,65	0,00	10,35	$10,35/0,14 = 73,93$
15a	0,45	4,70	5,68	$2,76/0,45 = 6,13$	16,51	$16,51/0,14 = 117,95$
16	1,65	4,70	5,68	$5,52/1,65 = 3,35$	13,73	$13,73/0,14 = 98,07$
17	0,60	4,70	5,68	$5,52/0,60 = 9,20$	19,58	$19,58/0,14 = 139,86$
18b	0,60	4,70	5,68	$2,76/0,60 = 4,60$	14,98	$14,98/0,14 = 107,00$
18a	0,60	4,70	0,00	$2,05/0,60 = 3,42$	8,12	$8,12/0,14 = 58,00$
19	0,75	4,70	0,00	$2,05/0,75 = 2,73$	7,43	$7,43/0,14 = 53,10$
20	2,70	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21a	0,30	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21b	1,65	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
21c	0,45	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
22	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
23	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	$4,70/0,14 = 33,57$
24	1,05	4,70	0,00	$1,06/1,05 = 1,00$	5,70	$5,70/0,14 = 40,71$
25	1,05	4,70	0,00	$1,06/1,05 = 1,00$	5,70	$5,70/0,14 = 40,71$
26	0,15	4,70	5,65	$1,81/0,15 = 12,06$	22,41	$22,41/0,14 = 160,07$
E	1,65	4,70	8,00	0,00	12,70	$12,70/0,14 = 90,71$

TABELA RESUMO DE CARREGAMENTO VERTICAL ATUANTE NO ANDAR TÉRREO (5 PAVIMENTOS)		
PAREDE	Carga Total (kN/m) (x5)	Tensão Normal (kN/m ²) (x5)
1	95,4	681,4
2	103,15	736,75
3	84,15	601,05
4	86,35	616,75
5	62,40	445,70
6	143,05	1021,75
7	96,20	687,15
8a	23,50	167,85
8b	40,55	289,60
9a	37,15	265,35
9b	37,15	265,35
10	40,55	289,60
11a	92,85	663,20
11b	93,25	666,05
12	86,05	614,65
13	127,90	913,55
14	58,25	416,05
15b	51,75	369,65
15a	82,55	589,75
16	68,65	490,35
17	97,90	699,30
18b	74,90	535,00
18a	40,60	290,00
19	37,15	265,35
20	23,50	167,85
21	23,50	167,85
22	23,50	167,85
23	23,50	167,85
24	28,50	203,57
25	28,50	203,57
26	112,05	800,35
E	63,50	453,57

Tabela de distribuição de ações verticais considerando grupos isolados de paredes

DISTRIBUIÇÃO DE AÇÕES VERTICAIS CONSIDERANDO GRUPOS ISOLADOS POR PAVIMENTO				
GRUPO	PAREDE	COMP. (m)	Carga Média do Grupo (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	1, 3, 8a, 8b e 13	8,10	$\frac{(19,08 \times 0,9) + (16,83 \times 3,3) + (4,7 \times 3,15) + (8,11 \times 0,6) + (25,58 \times 0,3)}{8,10} = 12,35$	$\frac{12,35}{0,14} = 88,23$
2	2 e 26	0,90	$\frac{(20,63 \times 0,75) + (22,41 \times 0,15)}{0,90} = 20,93$	$\frac{20,93}{0,14} = 149,50$

3	4, 9a, 9b e 14	6,45	$\frac{(17,27 \times 3,3) + (7,43 \times 0,75) + (7,43 \times 0,75) + (11,65 \times 1,8)}{6,45} = 13,81$	$\frac{13,81}{0,14} = 98,67$
4	6,10 e 24	4,65	$\frac{(28,61 \times 2,85) + (8,11 \times 0,60) + (5,7 \times 1,05)}{4,65} = 19,87$	$\frac{19,87}{0,14} = 141,92$
5	11a, 11b, 15a, 15b e 20	4,35	$\frac{(18,57 \times 0,22) + (18,65 \times 0,22) + (16,51 \times 0,45) + (10,35 \times 0,9) + (4,7 \times 2,7)}{4,35} = 8,65$	$\frac{8,65}{0,14} = 61,79$
6	12	0,60	$\frac{(17,21 \times 0,60)}{0,60} = 17,21$	$\frac{17,21}{0,14} = 122,93$
7	16	1,65	$\frac{(13,73 \times 1,65)}{1,65} = 13,73$	$\frac{13,73}{0,14} = 98,07$
8	17	0,60	$\frac{(19,58 \times 0,6)}{0,6} = 19,58$	$\frac{19,58}{0,14} = 139,86$
9	5, 18a, 18b	3,00	$\frac{(12,48 \times 1,80) + (8,12 \times 0,60) + (14,98 \times 0,60)}{3,00} = 12,11$	$\frac{12,11}{0,14} = 86,49$
10	7, 19, 21b, 21c, 23	6,59	$\frac{(19,24 \times 2,25) + (7,43 \times 0,75) + (4,7 \times 1,05) + (4,7 \times 0,45) + (4,7 \times 1,8)}{6,3} = 10,21$	$\frac{10,21}{0,14} = 72,98$
ESCADA	E	1,65	$\frac{(12,70 \times 1,65)}{1,65} = 12,70$	$\frac{12,70}{0,14} = 90,71$

AÇÕES VERTICAIS CONSIDERANDO GRUPOS ISOLADOS NO ANDAR TERREO		
GRUPO	Carga Média do Grupo (kN/m)	Tensão Normal (kN/m²)
1	61,75	441,15
2	104,65	747,50
3	69,05	493,21
4	99,35	709,64
5	43,25	308,92
6	86,05	614,64
7	68,65	490,35
8	97,90	699,29
9	60,55	432,50
10	51,05	364,64
ESCADA	63,50	453,57

Ação do Vento

$H = 5 \text{ pavimentos} \rightarrow 5 \times 2,50 = 12,50 \text{ m}$

Cidade: Belo Horizonte $\rightarrow V_0 = 30 \text{ m/s}$

Terreno plano \rightarrow Fator topográfico $S_1 = 1,0$

Bairro: P. Eustáquio (centro de grandes cidades) \rightarrow Categoria do terreno V

Classe A (maior dimensão vertical ou horizontal entre 20 e 50 metros)

Edifício residencial \rightarrow Fator $S_3 = 1,00$ (Grupo 2)

Vento de alta turbulência, devido a altura do prédio não superar duas vezes a altura média das edificações vizinhas.

Tabela resumo de cálculo do Fator S2		
Pavimento	Altura	S2
1º	2,5	0,72
2º	5	0,72
3º	7,5	0,72
4º	10	0,72
5º	12,5	0,74

Vento na direção X

$L1 = 20,40 \text{ m}$ $L2 = 6,00 \text{ m}$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{20,40}{6,00} = 3,40 \qquad \frac{h}{L_1} = \frac{12,50}{20,40} = 0,613$$

De acordo com o ábaco da NBR 6123 para vento de alta turbulência, temos:

$$Ca = 1,13 \qquad V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \qquad q = 0,613 \cdot V_k^2 \qquad Fa = Ca \cdot q \cdot A$$

Veremos na tabela representada abaixo, os valores respectivos das fórmulas acima de V_k ; Fa ; q para a direção X.

Tabela resumo de cálculo em X de V_k; q; Fa					
Pavimento	Altura	S_2	V_k (m/s)	q (N/m²)	Fa (kN)
5º	12,5	0,74	22,20	302,11	17,41

4º	10	0,72	21,60	286,00	16,48
3º	7,5	0,72	21,60	286,00	16,48
2º	5	0,72	21,60	286,00	16,48
1º	2,5	0,72	21,60	286,00	16,48

Vento na direção Y

$$L1 = 6,00 \text{ m} \quad L2 = 20,40 \text{ m}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{6,00}{20,40} = 0,294 \quad \frac{h}{L_1} = \frac{12,50}{6,00} = 2,08$$

De acordo com o ábaco da NBR 6123 para vento de alta turbulência, temos:

$$Ca = 0,75 \quad V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad Fa = Ca \cdot q \cdot A$$

Veremos na tabela representada abaixo, os valores respectivos das fórmulas acima de V_k ; Fa ; q para a direção Y.

Tabela resumo de cálculo em Y de V_k ; q ; Fa					
Pavimento	Altura	S2	V_k (m/s)	q (N/m ²)	Fa (kN)
5º	12,5	0,74	22,20	302,11	3,40
4º	10	0,72	21,60	286,00	3,22
3º	7,5	0,72	21,60	286,00	3,22
2º	5	0,72	21,60	286,00	3,22
1º	2,5	0,72	21,60	286,00	3,22

Ação do Desaprumo

$$H = 5 \text{ pavimentos} \rightarrow 5 \times 2,50 = 12,50 \text{ m (altura total do prédio)}$$

$$\varphi = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{12,5}} = 0,00283 \text{ rad}$$

$$\Delta P = \text{Peso do pavimento} = 993,60 \text{ kN (soma de carga dos grupos com repet.)}$$

$$F_{\text{desaprumo}} = \Delta P \cdot \varphi = 993,60 \times 0,00283 = 2,81 \text{ kN}$$

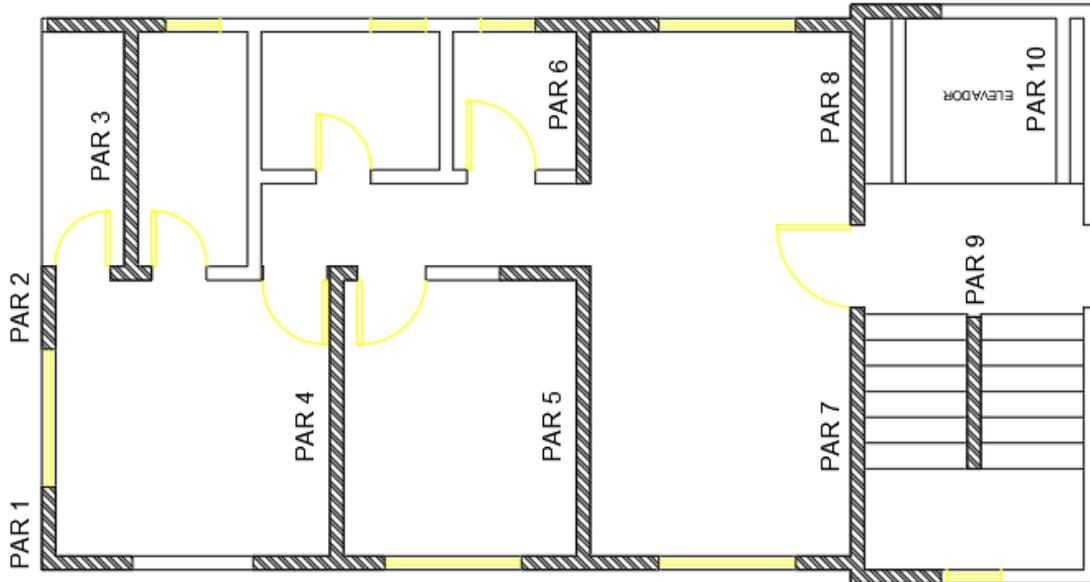
Tabela resumo dos grupos						
Grupos	Repetição	Comprimento (m)	Carga Grupo (kN)	Carga Média dos Grupos (kN/m)	Peso Total por Pavimento (kN)	Tensão na Base do 1º Pav. (Mpa)
1	2	8,10	100,04	14,65	993,60	0,44
2	2	0,90	18,84			0,75
3	2	6,45	89,07			0,49
4	2	4,65	92,40			0,71
5	2	4,35	37,63			0,31
6	2	0,60	10,33			0,61
7	2	1,65	22,65			0,49
8	2	0,60	11,75			0,70
9	2	3,00	36,33			0,43
10	2	6,59	67,28			0,36
ESCADA	1	1,65	20,96			0,45

Tabela resumo com somatório das forças de desaprumo e vento					
Pavimento	$F_{desaprumo}$ (kN)	Fa_X (kN)	Carga Total Direção X (kN)	Fa_Y (kN)	Carga Total Direção Y (kN)
5º	2,81	17,41	20,22	3,40	6,21
4º	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
3º	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
2º	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03
1º	2,81	16,48	19,29	3,22	6,03

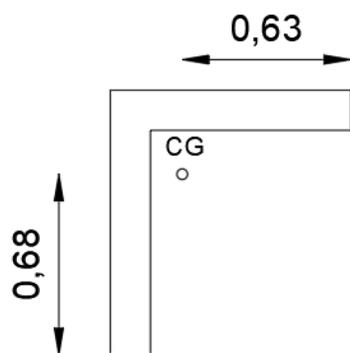
Modelo de paredes isoladas com abas

Momento de inércia das paredes em torno de Y - vento X

Paredes de contraventamento na direção X



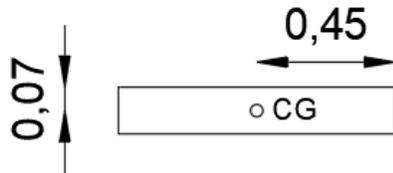
Parede 1 → $X_{cg} = 0,63 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,68 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,019$



REGIONS	

Area:	0.2610
Perimeter:	3.7800
Bounding box:	X:
	-0.2690 -- 0.6310
	Y:
	-0.6760 -- 0.3140
Centroid:	X:
	0.0000
	Y:
	0.0000
Moments of inertia:	X:
	0.0236
	Y:
	0.0185

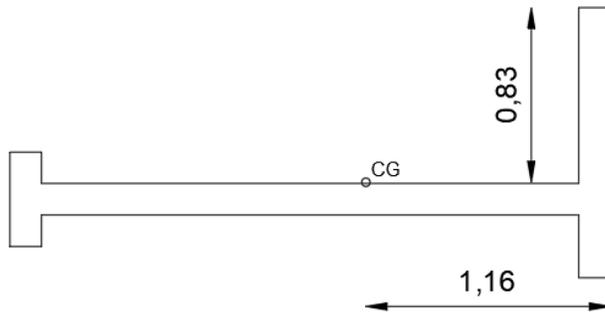
Parede 2 → $X_{cg} = 0,45 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,075 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,009$



```

REGIONS
-----
Area:
0.1350
Perimeter:
2.1000
Bounding box:      X:
-0.4500 -- 0.4500
                   Y:
-0.0750 -- 0.0750
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0003
                   Y:
0.0091
  
```

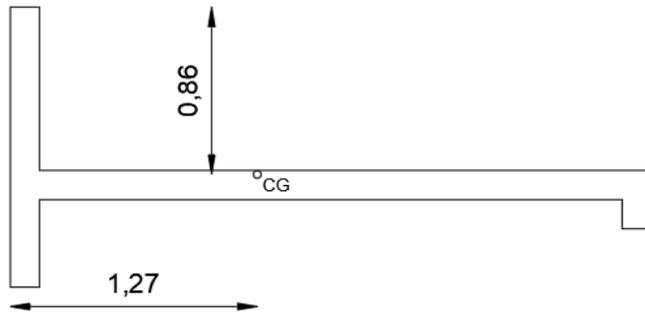
Parede 3 → $X_{cg} = 1,16 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,83 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,639$



```

REGIONS
-----
Area:
0.6435
Perimeter:
8.8800
Bounding box:      X:
-1.6893 -- 1.1607
                   Y:
-0.4562 -- 0.8338
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0386
                   Y:
0.6385
  
```

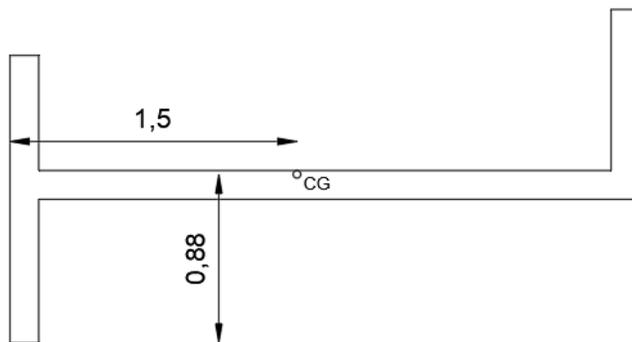
Parede 4 → $X_{cg} = 1,27 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,86 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,883$



```

REGIONS
-----
Area:
0.7110
Perimeter:
9.7800
Bounding box:      X:
-1.2712 -- 2.0288
                  Y:
-0.5795 -- 0.8605
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0449
                  Y:
0.8834
  
```

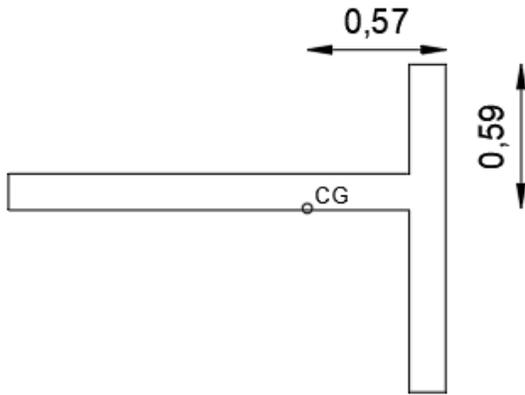
Parede 5 → $X_{cg} = 1,50 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,88 \text{ m}$; $I_{yy} = 1,247$



```

REGIONS
-----
Area:
0.8235
Perimeter:
11.2800
Bounding box:      X:
-1.5037 -- 1.7963
                  Y:
-0.8802 -- 0.8598
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0801
                  Y:
1.2471
  
```

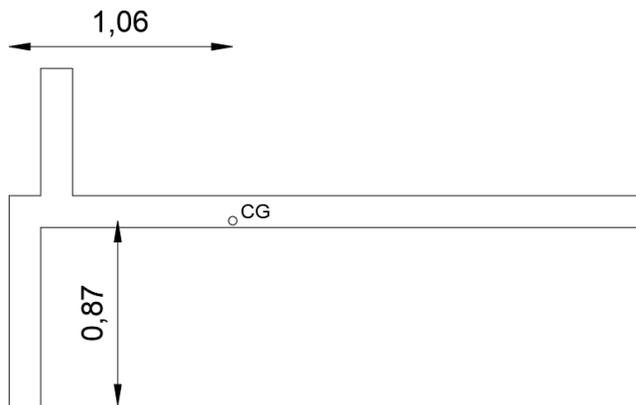
Parede 6 → $X_{cg} = 0,57 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,59 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,147$



REGIONS	

Area:	0.4500
Perimeter:	6.3000
Bounding box:	X:
	-1.2300 -- 0.5700
	Y:
	-0.7575 -- 0.5925
Centroid:	X:
	0.0000
	Y:
	0.0000
Moments of inertia:	X:
	0.0337
	Y:
	0.1467

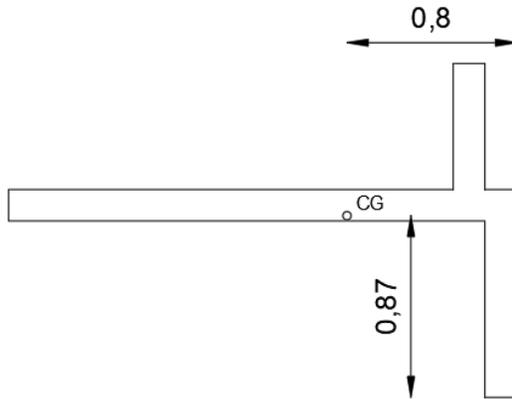
Parede 7 → $X_{cg} = 1,06 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,87 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,610$



REGIONS	

Area:	0.6660
Perimeter:	9.1800
Bounding box:	X:
	-1.0581 -- 1.9419
	Y:
	-0.8720 -- 0.7180
Centroid:	X:
	0.0000
	Y:
	0.0000
Moments of inertia:	X:
	0.0533
	Y:
	0.6100

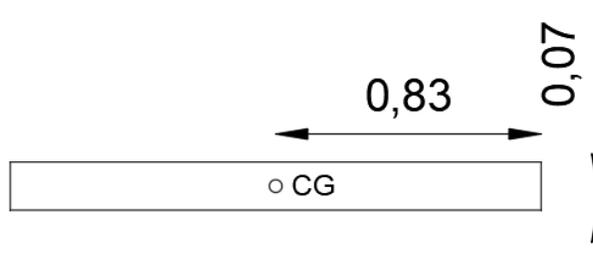
Parede 8 → $X_{cg} = 0,8 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,87 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,327$



```

REGIONS
-----
Area:
0.5760
Perimeter:
7.9800
Bounding box:      X:
-1.5984 -- 0.8016
                  Y:
-0.8653 -- 0.7247
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0529
                  Y:
0.3268
  
```

Parede 9 → $X_{cg} = 0,83 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,056$

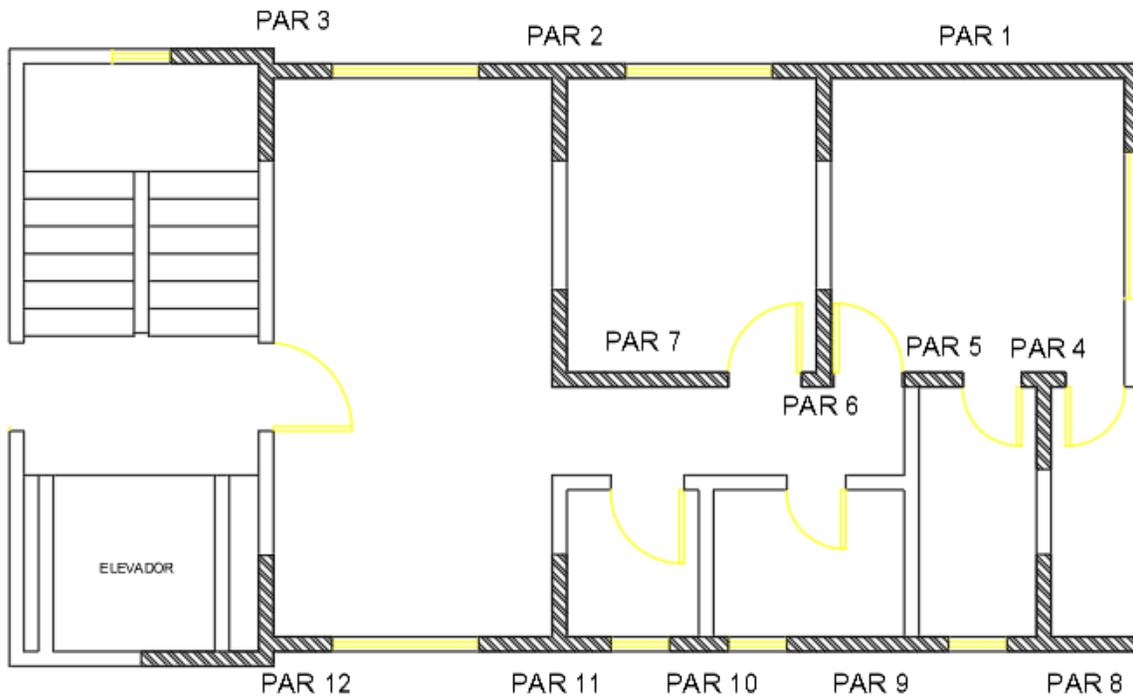


```

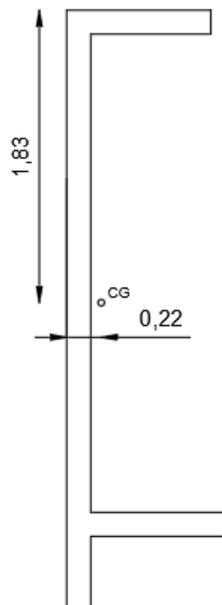
REGIONS
-----
Area:
0.2475
Perimeter:
3.6000
Bounding box:      X:
-0.8250 -- 0.8250
                  Y:
-0.0750 -- 0.0750
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0005
                  Y:
0.0562
  
```

Momento de inércia das paredes em torno de X - vento Y

Paredes de contraventamento na direção Y



Parede 1 → $X_{cg} = 0,22 \text{ m}$; $Y_{cg} = 1,83 \text{ m}$; $I_{xx} = 1,253$

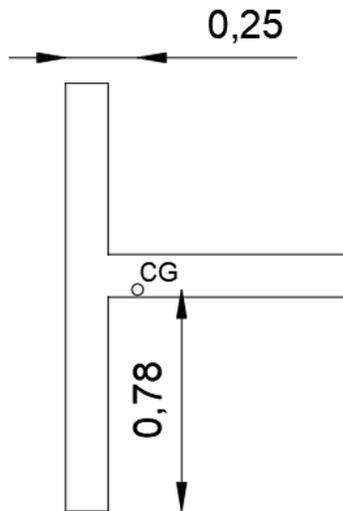


REGIONS

```

-----
Area:
0.8010
Perimeter:
10.9800
Bounding box:      X:
-0.2161 -- 0.7739
                   Y:
-1.9155 -- 1.8345
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
1.2525
                   Y:
0.0515
  
```

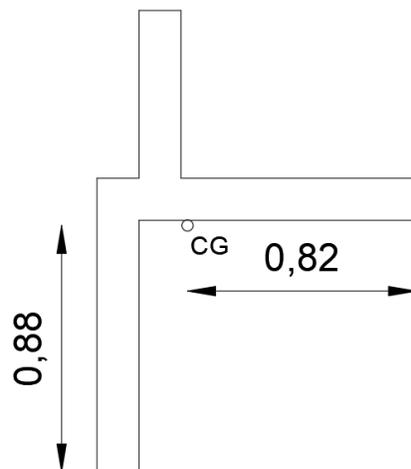
Parede 2 → $X_{cg} = 0,25 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,78 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,043$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3510
Perimeter:
4.9800
Bounding box:           X:
-0.2527  --  0.7373
                        Y:
-0.7770  --  0.7230
Centroid:               X:
0.0000
                        Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0429
                        Y:
0.0276
  
```

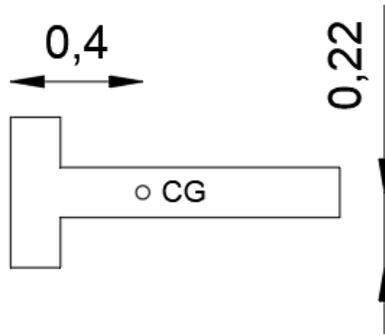
Parede 3 → $X_{cg} = 0,82 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,88 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,059$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3960
Perimeter:
5.5800
Bounding box:           X:
-0.3228  --  0.8172
                        Y:
-0.8813  --  0.7687
Centroid:               X:
0.0000
                        Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0585
                        Y:
0.0385
  
```

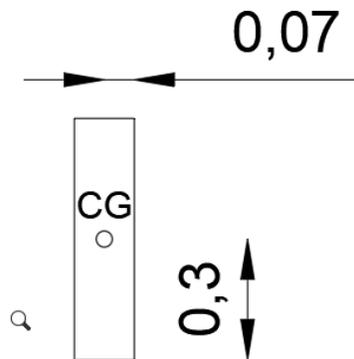
Parede 4 → $X_{cg} = 0,4 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,22 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,0014$



```

REGIONS
-----
Area:
0.1935
Perimeter:
2.8800
Bounding box:           X:
-0.3973  --  0.5927   Y:
-0.2250  --  0.2250
Centroid:               X:
0.0000                 Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0014                 Y:
0.0183
  
```

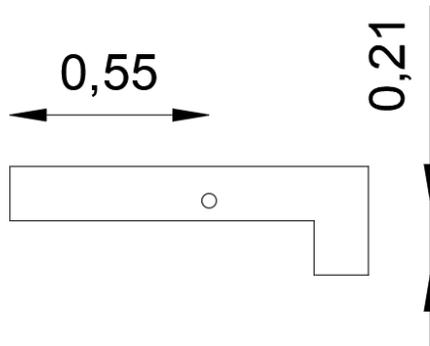
Parede 5 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,3 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,0027$



```

REGIONS
-----
Area:
0.0900
Perimeter:
1.5000
Bounding box:           X:
-0.0750  --  0.0750   Y:
-0.3000  --  0.3000
Centroid:               X:
0.0000                 Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0027                 Y:
0.0002
  
```

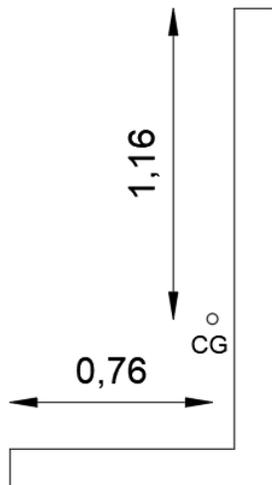
Parede 6 → $X_{cg} = 0,55 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,21 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,0008$



```

REGIONS
-----
Area:
0.1710
Perimeter:
2.5800
Bounding box:           X:
-0.5502  --  0.4398
                        Y:
-0.2052  --  0.0948
Centroid:               X:
0.0000
                        Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0008
                        Y:
0.0156
  
```

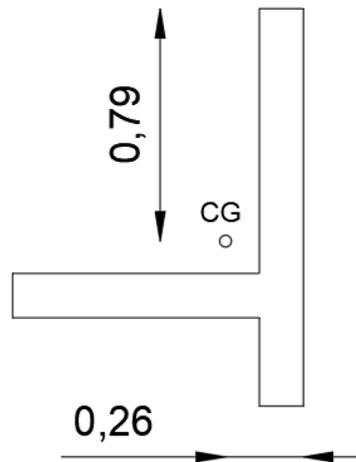
Parede 7 → $X_{cg} = 0,76 \text{ m}$; $Y_{cg} = 1,16 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,132$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3960
Perimeter:
5.5800
Bounding box:           X:
-0.7575  --  0.2325
                        Y:
-0.6375  --  1.1625
Centroid:               X:
0.0000
                        Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.1316
                        Y:
0.0290
  
```

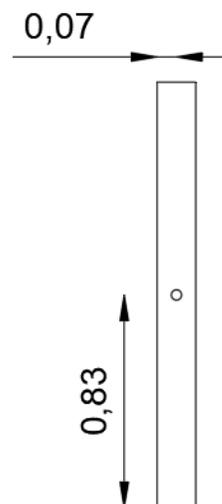
Parede 8 → $X_{cg} = 0,26 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,79 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,038$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3285
Perimeter:
4.6800
Bounding box:      X:
-0.7251  --  0.2649
                  Y:
-0.5599  --  0.7901
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0380
                  Y:
0.0268
  
```

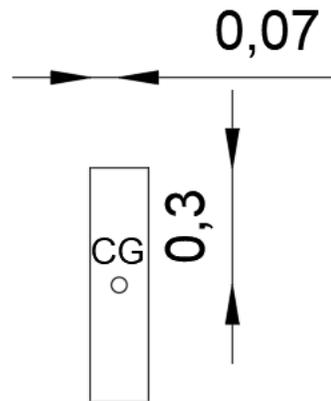
Parede 9 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,83 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,056$



```

REGIONS
-----
Area:
0.2475
Perimeter:
3.6000
Bounding box:      X:
-0.0750  --  0.0750
                  Y:
-0.8250  --  0.8250
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0562
                  Y:
0.0005
  
```

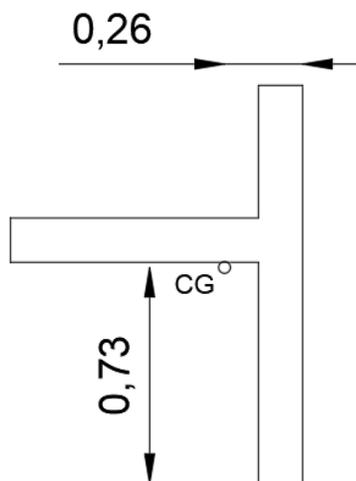
Parede 10 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,3 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,003$



```

REGIONS
-----
Area:
0.0900
Perimeter:
1.5000
Bounding box:           X:
-0.0750  --  0.0750   Y:
-0.3000  --  0.3000
Centroid:              X:
0.0000                Y:
0.0000
Moments of inertia:   X:
0.0027                Y:
0.0002
  
```

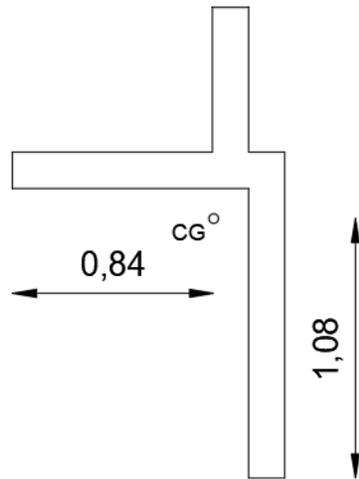
Parede 11 → $X_{cg} = 0,26 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,73 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,033$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3285
Perimeter:
4.6800
Bounding box:           X:
-0.7252  --  0.2648   Y:
-0.7326  --  0.6174
Centroid:              X:
0.0000                Y:
0.0000
Moments of inertia:   X:
0.0327                Y:
0.0268
  
```

Parede 12 → $X_{cg} = 0,84 \text{ m}$; $Y_{cg} = 1,08 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,1018$



```

REGIONS
-----
Area:
0.4395
Perimeter:
6.1600
Bounding box:      X:
-0.8353  --  0.2947
                  Y:
-1.0753  --  0.8747
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.1018
                  Y:
0.0401
  
```

Tabela resumo das paredes com incidência do vento X

Parede	$I_y (m^4)$	Quant.	Subtotal	Inércia Relativa	$X_{esquerda} (m)$	$X_{direita} (m)$	$W_{esquerda} (m^3)$	$W_{direita} (m^3)$
Par 1 _x	0,019	2	0,038	0,24	0,27	0,63	0,070	0,030
Par 2 _x	0,009	2	0,018	0,12	0,45	0,45	0,020	0,020
Par 3 _x	0,639	2	1,278	8,17	1,69	1,16	0,378	0,551
Par 4 _x	0,883	2	1,766	11,29	1,27	2,03	0,695	0,435
Par 5 _x	1,247	2	2,494	15,95	1,50	1,80	0,831	0,693
Par 6 _x	0,147	2	0,294	1,88	1,23	0,57	0,120	0,258
Par 7 _x	0,610	2	1,220	7,80	1,06	1,94	0,575	0,314
Par 8 _x	0,327	2	0,654	4,18	1,60	0,80	0,204	0,409
Par 9 _x	0,056	1	0,056	0,72	0,83	0,82	0,068	0,068
TOTAL			7,818					

Tabela resumo das paredes com incidência do vento Y

Parede	$I_x (m^4)$	Quant.	Subtotal	Inércia Relativa	$Y_{inferior} (m)$	$Y_{superior} (m)$	$W_{inferior} (m^3)$	$W_{superior} (m^3)$
Par 1 _y	1,253	2	2,506	36,35	1,92	1,83	0,653	0,685
Par 2 _y	0,043	2	0,086	1,25	0,78	0,72	0,055	0,060

Par 3_y	0,059	2	0,118	1,71	0,88	0,77	0,067	0,077
Par 4_y	0,001	2	0,003	0,04	0,23	0,22	0,006	0,006
Par 5_y	0,003	2	0,005	0,08	0,30	0,30	0,009	0,009
Par 6_y	0,001	2	0,002	0,02	0,21	0,09	0,004	0,009
Par 7_y	0,132	2	0,264	3,83	0,64	1,16	0,206	0,114
Par 8_y	0,038	2	0,076	1,10	0,56	0,79	0,068	0,048
Par 9_y	0,056	2	0,112	1,62	0,83	0,82	0,067	0,068
Par 10_y	0,003	2	0,006	0,09	0,30	0,30	0,010	0,010
Par 11_y	0,033	2	0,066	0,96	0,73	0,62	0,045	0,053
Par 12_y	0,102	2	0,204	2,95	1,08	0,87	0,094	0,117
TOTAL			3,447					

Força Cortante e Momento Fletor nas Paredes

Será demonstrado nas tabelas a seguir, os resultados obtidos de esforços cortantes e momentos fletores nas paredes de acordo com a incidência do vento nas direções “X” e “Y”.

Esforços horizontais por pavimento na direção X			
Pavimento	F_x (kN)	Esforço cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
5º	20,22	20,22	50,55
4º	19,29	39,51	149,33
3º	19,29	58,80	296,33
2º	19,29	78,09	491,55
1º	19,29	97,38	735,00

Ações para vento atuando na direção X

Reações devido a ações verticais		Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais			
Parede	Grupo	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia Y-Y (m^4)	Inércia relativa	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1_x	G1	0,44	0,019	0,24	0,00	0,23	1,76
Par 2_x	G2	0,75	0,009	0,12	0,00	0,12	0,88
Par 3_x	G5	0,31	0,639	8,17	0,00	7,96	60,05
Par 4_x	G1	0,44	0,883	11,29	0,00	10,99	82,98

Par 5_x	G3	0,49	1,247	15,95	0,00	15,53	117,23
Par 6_x	G9	0,43	0,147	1,88	0,00	1,83	13,82
Par 7_x	G4	0,71	0,610	7,80	0,00	7,60	57,33
Par 8_x	G10	0,36	0,327	4,18	0,00	4,07	30,72
Par 9_x	ESC	0,45	0,056	0,72	0,00	0,70	5,29

Resumo das tensões para vento atuando na direção X						
Parede	Área Normal (m ²)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão Cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal à esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal à direita (MPa)
Par 1_x	0,26	0,01	0,00	0,002	0,03	0,06
Par 2_x	0,14	0,01	0,00	0,001	0,04	0,04
Par 3_x	0,64	0,09	0,00	0,019	0,16	0,11
Par 4_x	0,71	0,12	0,00	0,022	0,12	0,19
Par 5_x	0,82	0,14	0,00	0,031	0,14	0,17
Par 6_x	0,45	0,03	0,00	0,007	0,12	0,05
Par 7_x	0,67	0,09	0,00	0,017	0,10	0,18
Par 8_x	0,58	0,05	0,00	0,011	0,15	0,08
Par 9_x	0,25	0,02	0,00	0,003	0,08	0,08

Esforços horizontais por pavimento na direção Y			
Pavimento	F_y (kN)	Esforço cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
5º	6,21	6,21	15,53
4º	6,03	12,24	46,13
3º	6,03	18,27	91,80
2º	6,03	24,30	152,55
1º	6,03	30,33	228,38

Ações para vento atuando na direção Y							
Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia X-X (m ⁴)	Inércia relativa	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1_y	G1	0,44	1,253	36,35	0,00	11,02	83,02
Par 2_y	G3	0,49	0,043	1,25	0,00	0,38	2,85

Par 3_y	G4	0,71	0,059	1,71	0,00	0,52	3,91
Par 4_y	G5	0,31	0,001	0,04	0,00	0,01	0,09
Par 5_y	G6	0,61	0,003	0,08	0,00	0,02	0,18
Par 6_y	G1	0,44	0,001	0,02	0,00	0,01	0,05
Par 7_y	G3	0,49	0,132	3,83	0,00	1,16	8,75
Par 8_y	G5	0,31	0,038	1,10	0,00	0,33	2,51
Par 9_y	G7	0,49	0,056	1,62	0,00	0,49	3,70
Par 10_y	G8	0,70	0,003	0,09	0,00	0,03	0,21
Par 11_y	G9	0,43	0,033	0,96	0,00	0,29	2,19
Par 12_y	G10	0,36	0,102	2,95	0,00	0,89	6,74

Resumo das tensões para vento atuando na direção Y

Parede	Área Normal (m²)	Tensão normal ação vertical (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão Cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)
Par 1_y	0,80	0,10	0,00	0,020	0,13	0,12
Par 2_y	0,35	0,01	0,00	0,002	0,05	0,05
Par 3_y	0,40	0,01	0,00	0,002	0,06	0,05
Par 4_y	0,19	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 5_y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 6_y	0,17	0,00	0,00	0,000	0,01	0,01
Par 7_y	0,40	0,02	0,00	0,004	0,04	0,08
Par 8_y	0,33	0,01	0,00	0,002	0,04	0,05
Par 9_y	0,25	0,01	0,00	0,002	0,06	0,05
Par 10_y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,02	0,02
Par 11_y	0,33	0,01	0,00	0,001	0,05	0,04
Par 12_y	0,44	0,02	0,00	0,003	0,07	0,06

Parâmetro Alfa

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}}, \text{ onde:}$$

α = parâmetro de instabilidade (adimensional)

H = altura total do edifício (m)

P = peso total da edificação (kN)

EI = rigidez a flexão do sistema de contraventamento (kN.m²)

Paredes isoladas com abas e sem aberturas

$$\alpha_x = 12,5 \sqrt{\frac{4968}{3200 \times 10^3 \times 7,82}} = 0,18 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura } \mathbf{indeslocável} \text{ em "X"}$$

$$\alpha_y = 12,5 \sqrt{\frac{4968}{3200 \times 10^3 \times 3,45}} = 0,27 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura } \mathbf{indeslocável} \text{ em "Y"}$$

Especificação da Resistência do Prisma

$$h = 2,40 \text{ m} = 240 \text{ cm} \quad ; \quad t = 0,14 \text{ m} = 14 \text{ cm}$$

$$R = 1 - \left(\frac{h}{40t}\right)^3 = 1 - \left(\frac{240}{40 \times 14}\right)^3 = \mathbf{0,921}$$

$$R_{d, \text{ compressão simples}} = 0,35 \times f_{pk} \times R = 0,35 \times f_{pk} \times 0,921 = \mathbf{0,322} f_{pk}$$

$$R_{d, \text{ compressão na flexão}} = \mathbf{0,525} f_{pk}$$

1ª Hipótese:

→ tensões horizontais como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)

→ sobrecarga na laje como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,5$)

$$S_{d, \text{ compressão simples}} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times 0,5 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$$

$$S_{d, \text{ compressão na flexão}} = 1,4 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$$

2ª Hipótese:

→ sobrecarga na laje como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)

→ tensões horizontais como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,6$)

$$S_{d, \text{ compressão simples}} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$$

$$S_{d, \text{ compressão na flexão}} = 1,4 \times 0,6 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$$

Equação de interação para encontrar f_{pk} do prisma:

$$\frac{S_d, \text{ compressão simples}}{R_d, \text{ compressão simples}} + \frac{S_d, \text{ compressão na flexão}}{R_d, \text{ compressão na flexão}} \leq 1$$

Tabela resumo do dimensionamento à flexo-compressão em X

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão na Flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
					S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _x	0,44	0,33	0,11	0,06	0,54	0,08	1,83	0,62	0,05	2,00
P2 _x	0,75	0,56	0,19	0,04	0,92	0,06	2,97	1,05	0,04	3,33
P3 _x	0,31	0,23	0,08	0,16	0,38	0,22	1,60	0,43	0,13	1,60
P4 _x	0,44	0,33	0,11	0,19	0,54	0,27	2,18	0,62	0,16	2,22
P5 _x	0,49	0,37	0,12	0,17	0,60	0,24	2,31	0,69	0,14	2,40
P6 _x	0,43	0,32	0,11	0,12	0,53	0,16	1,94	0,60	0,10	2,05
P7 _x	0,71	0,53	0,18	0,15	0,87	0,21	3,10	0,99	0,13	3,32
P8 _x	0,36	0,27	0,09	0,16	0,44	0,22	1,79	0,50	0,13	1,82
P9 _x	0,45	0,34	0,11	0,08	0,55	0,11	1,92	0,63	0,07	2,08

Tabela resumo do dimensionamento à flexo-compressão em Y

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão na Flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
					S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _y	0,44	0,33	0,11	0,13	0,54	0,18	2,01	0,62	0,18	2,25
P2 _y	0,49	0,37	0,12	0,05	0,60	0,07	1,99	0,69	0,04	2,20
P3 _y	0,71	0,53	0,18	0,06	0,87	0,08	2,85	0,99	0,05	3,18
P4 _y	0,31	0,23	0,08	0,02	0,38	0,02	1,22	0,43	0,01	1,37
P5 _y	0,61	0,46	0,15	0,02	0,75	0,03	2,37	0,85	0,02	2,68
P6 _y	0,44	0,33	0,11	0,01	0,54	0,02	1,70	0,62	0,01	1,93
P7 _y	0,49	0,37	0,12	0,08	0,60	0,11	2,07	0,69	0,06	2,25

P8_y	0,31	0,23	0,08	0,05	0,38	0,07	1,32	0,43	0,04	1,43
P9_y	0,49	0,37	0,12	0,06	0,60	0,08	2,01	0,69	0,05	2,22
P10_y	0,70	0,53	0,18	0,02	0,86	0,03	2,72	0,98	0,02	3,07
P11_y	0,43	0,32	0,11	0,05	0,53	0,07	1,76	0,60	0,04	1,94
P12_y	0,36	0,27	0,09	0,07	0,44	0,10	1,56	0,50	0,06	1,68

Tabela resumo dos blocos e argamassas recomendadas							
Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)	Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)
P1_y	2,25	3	4	P1_x	2,00	3	4
P2_y	2,20	3	4	P2_x	3,33	4	4
P3_y	3,18	4	4	P3_x	1,60	3	4
P4_y	1,37	3	4	P4_x	2,22	3	4
P5_y	2,68	4	4	P5_x	2,40	3	4
P6_y	1,93	3	4	P6_x	2,05	3	4
P7_y	2,25	3	4	P7_x	3,32	4	4
P8_y	1,43	3	4	P8_x	1,82	3	4
P9_y	2,22	3	4	P9_x	2,08	3	4
P10_y	3,07	4	4				
P11_y	1,94	3	4				
P12_y	1,68	3	4				

Blocos e argamassas adotados para todo o prédio será de 4 MPa, e graute de 15 MPa, no qual representa a pior situação de carga no edifício. Sua definição ocorreu conforme recomendação da Tabela F.1 da ABNT NBR 16868-1:2020.

Tabela F.1 — Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural

Tipo de bloco	f_{Dk}	f_a	f_{Dk}	f_{Dk}/f_{Dk}	f_{Dk}^*/f_{Dk}	f_{Dk}	f_{Dk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 × 39 cm)	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25	
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm)	4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
	6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
	8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
	10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
	12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm)	10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
	14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
	18,0	15,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

f_{Dk}^* = resistência de prisma cheio.

Fonte: ABNT NBR 16868-1:2020

Verificação das Tensões de Cisalhamento

Para $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = 0,15 + 0,5 \times 0,9 \times \sigma_{comp. \text{ simples perm.}}$

f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento da alvenaria

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} = \gamma_f \times \sigma_{\text{cisalhamento}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$$

$$R_{d, \text{ cisalhamento}} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} < R_{d, \text{ cisalhamento}}$$

Verificação das tensões de cisalhamento em X								
Parede	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Força Cortante (kN)	Área Cisalhamento (m ²)	Tensão de Cisalhamento (MPa)	S _d Cisalhamento (MPa)	f _{vk} (MPa)	R _d Cisalhamento (MPa)	Condição S _d < R _d
P1 _x	0,33	0,23	0,14	0,002	0,00	0,20	0,10	ATENDIDA
P2 _x	0,56	0,12	0,14	0,001	0,00	0,15	0,08	ATENDIDA
P3 _x	0,23	7,96	0,43	0,019	0,03	3,68	1,84	ATENDIDA
P4 _x	0,33	10,99	0,50	0,022	0,03	5,05	2,52	ATENDIDA
P5 _x	0,37	15,53	0,50	0,031	0,04	7,09	3,54	ATENDIDA
P6 _x	0,32	1,83	0,27	0,007	0,01	0,92	0,46	ATENDIDA
P7 _x	0,53	7,60	0,45	0,017	0,02	3,52	1,76	ATENDIDA
P8 _x	0,27	4,07	0,36	0,011	0,02	1,93	0,97	ATENDIDA
P9 _x	0,34	0,70	0,25	0,003	0,00	0,42	0,21	ATENDIDA

Verificação das tensões de cisalhamento em Y								
Parede	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Força Cortante (kN)	Área Cisalhamento (m ²)	Tensão de Cisalhamento (MPa)	S _d Cisalhamento (MPa)	f _{vk} (MPa)	R _d Cisalhamento (MPa)	Condição S _d < R _d
P1 _y	0,33	11,02	0,56	0,020	0,03	0,25	0,12	ATENDIDA
P2 _y	0,37	0,38	0,23	0,002	0,00	0,27	0,13	ATENDIDA
P3 _y	0,53	0,52	0,27	0,002	0,00	0,34	0,17	ATENDIDA
P4 _y	0,23	0,01	0,07	0,000	0,00	0,20	0,10	ATENDIDA
P5 _y	0,46	0,02	0,09	0,000	0,00	0,31	0,15	ATENDIDA
P6 _y	0,33	0,01	0,05	0,000	0,00	0,25	0,12	ATENDIDA
P7 _y	0,37	1,16	0,27	0,004	0,01	0,27	0,13	ATENDIDA
P8 _y	0,23	0,33	0,20	0,002	0,00	0,20	0,10	ATENDIDA
P9 _y	0,37	0,49	0,25	0,002	0,00	0,27	0,13	ATENDIDA
P10 _y	0,53	0,03	0,09	0,000	0,00	0,34	0,17	ATENDIDA
P11 _y	0,32	0,29	0,20	0,001	0,00	0,24	0,12	ATENDIDA
P12 _y	0,27	0,89	0,32	0,003	0,00	0,22	0,11	ATENDIDA

Verificação das Tensões de Tração

Para argamassa $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{tk} = 0,20$

f_{tk} = resistência característica à tração da alvenaria

S_d , tração na flexão = $\gamma_f \times \sigma_{\text{tração na flexão}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$

R_d , tração na flexão = $\frac{f_{tk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$

R_d , tração na flexão = $\frac{0,10}{2,0} = 0,10$

S_d , tração na flexão < R_d , tração na flexão

S_d , tração na flexão < 0,05

Verificação das tensões de tração em X

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Esquerda (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Direita (MPa)	Extremidade Esquerda			Extremidade direita		
						S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,44	0,33	0,11	0,03	0,06	-0,26	0,10	ATENDIDA	-0,21	0,10	ATENDIDA
P2 _x	0,75	0,56	0,19	0,04	0,04	-0,44	0,10	ATENDIDA	-0,44	0,10	ATENDIDA
P3 _x	0,31	0,23	0,08	0,16	0,11	0,01	0,10	ATENDIDA	-0,06	0,10	ATENDIDA
P4 _x	0,44	0,33	0,11	0,12	0,19	-0,13	0,10	ATENDIDA	-0,03	0,10	ATENDIDA
P5 _x	0,49	0,37	0,12	0,14	0,17	-0,13	0,10	ATENDIDA	-0,09	0,10	ATENDIDA
P6 _x	0,43	0,32	0,11	0,12	0,05	-0,13	0,10	ATENDIDA	-0,22	0,10	ATENDIDA
P7 _x	0,71	0,53	0,18	0,10	0,18	-0,34	0,10	ATENDIDA	-0,22	0,10	ATENDIDA
P8 _x	0,36	0,27	0,09	0,15	0,08	-0,03	0,10	ATENDIDA	-0,14	0,10	ATENDIDA
P9 _x	0,45	0,34	0,11	0,08	0,08	-0,19	0,10	ATENDIDA	-0,19	0,10	ATENDIDA

Verificação das tensões de tração em Y

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Inferior (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Superior (MPa)	Parte Inferior			Parte Superior		
						S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,44	0,33	0,11	0,13	0,12	-0,12	0,10	ATENDIDA	-0,13	0,10	ATENDIDA
P2 _y	0,49	0,37	0,12	0,05	0,05	-0,26	0,10	ATENDIDA	-0,26	0,10	ATENDIDA
P3 _y	0,71	0,53	0,18	0,06	0,05	-0,40	0,10	ATENDIDA	-0,41	0,10	ATENDIDA
P4 _y	0,31	0,23	0,08	0,02	0,02	-0,19	0,10	ATENDIDA	-0,19	0,10	ATENDIDA
P5 _y	0,61	0,46	0,15	0,02	0,02	-0,38	0,10	ATENDIDA	-0,38	0,10	ATENDIDA
P6 _y	0,44	0,33	0,11	0,01	0,01	-0,28	0,10	ATENDIDA	-0,29	0,10	ATENDIDA
P7 _y	0,49	0,37	0,12	0,04	0,08	-0,27	0,10	ATENDIDA	-0,22	0,10	ATENDIDA
P8 _y	0,31	0,23	0,08	0,04	0,05	-0,16	0,10	ATENDIDA	-0,14	0,10	ATENDIDA
P9 _y	0,49	0,37	0,12	0,06	0,05	-0,25	0,10	ATENDIDA	-0,25	0,10	ATENDIDA
P10 _y	0,7	0,53	0,18	0,02	0,02	-0,44	0,10	ATENDIDA	-0,44	0,10	ATENDIDA
P11 _y	0,43	0,32	0,11	0,05	0,04	-0,22	0,10	ATENDIDA	-0,23	0,10	ATENDIDA
P12 _y	0,36	0,27	0,09	0,07	0,06	-0,14	0,10	ATENDIDA	-0,16	0,10	ATENDIDA

Dimensionamento da Fundação em Radier

A fundação escolhida para o empreendimento foi do modelo em radier, no qual basicamente se trata de uma laje apoiada ao solo, que receberá todas as cargas do edifício e transmitirá ao mesmo. O concreto utilizado para execução do radier foi o C30, ou seja, com resistência de 30 MPa, e sua espessura será de 30 cm. Como não há sondagem do solo do terreno, será simulado para o cálculo da fundação, um perfil de solo de argila rija. Serão adotados valores médios para o dimensionamento, extraídos da tabela abaixo.

Tabela de Parâmetros de Resistência e de deformabilidade em Função do SPT

Areias e Solos Arenosos					
Compacidade	γ (t/m³)	C (t/m²)	ϕ	E (t/m²)	v_v
Fofa	1,6	0	25 - 30	100 - 500	0,3 a 0,4
Pouco Compacta	1,8	0	30 - 35	500 - 1400	
Medianamente Compacta	1,9	0	35 - 40	1400 - 4000	
Compacta	2,0	0	40 - 45	4000 - 7000	
Muito Compacta	> 2,0	0	> 45	> 7000	
Argilas e Solos Argilosos					
Consistência	γ (t/m³)	C (t/m²)	ϕ	E' (t/m²)	v_v
Muito Mole	1,3	0 - 1,2	0	30 - 120	0,4 a 0,5
Mole	1,5	1,2 - 2,5	0	120 - 280	
Média	1,7	2,5 - 5,0	0	280 - 500	
Rija	1,9	5,0 - 15,0	0	500 - 1500	
Dura	> 2,0	> 15,0	0	> 1500	

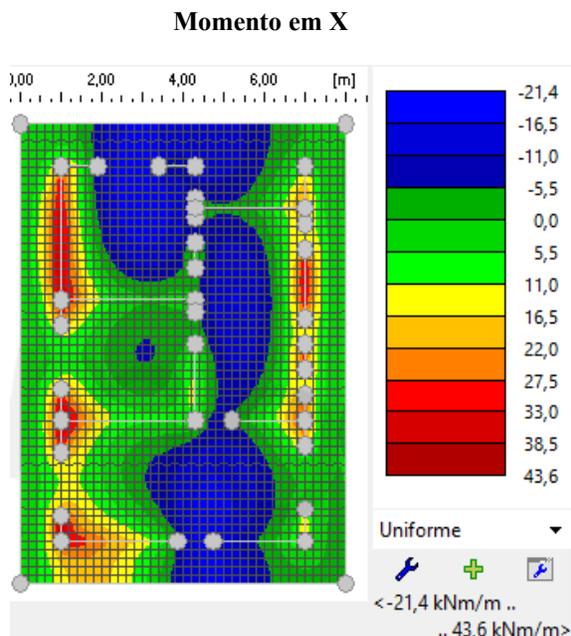
Valores UFMG fls. 47

Fonte: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/> (acesso em 10/12/2023)

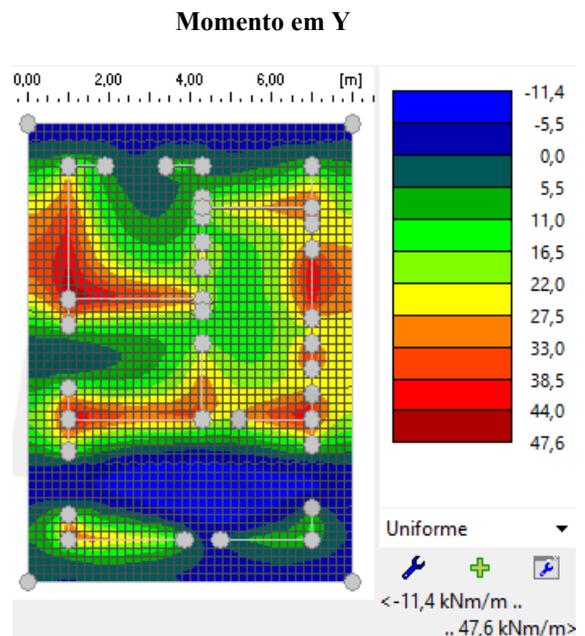
Iniciando o dimensionamento, primeiramente inserimos a arquitetura do apartamento e as cargas incidentes em cada parede no software GEO5. A análise será feita apenas de um lado da edificação, e será replicada por todo o edifício. Após, define-se a espessura do radier, que para este caso será de 30 cm, juntamente com a resistência do concreto utilizado, de 30 MPa. Posteriormente, calcula-se as Constantes de Winkler (C1 e C2) mediante inserção dos valores médios característicos do módulo de deformação do solo (7,00 Mpa) em questão, do coeficiente de Poisson (0,45) do mesmo, e da profundidade da zona de influência do solo (9,00 m). O próximo passo será montar as

combinações de cargas permanentes e variáveis que serão analisadas em estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS). O último dado a ser imposto, é o aço a ser utilizado no sistema, no qual será o aço CA-50. Após todos os processos acima efetuados, aciona-se o cálculo de dimensionamento junto ao software, e analisa-se os resultados de forma a observar se não há nenhum erro aparente. Após o dimensionamento no software GEO5, chegamos aos seguintes resultados demonstrados abaixo e nas figuras subsequentes:

- Momento em X = 4360 kN.cm / $A_s = 3,71 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 20 cm
- Momento em Y = 4760 kN.cm / $A_s = 4,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 20 cm
- Área do radier: $22,4 \text{ m} \times 8,0 \text{ m} = 179,2 \text{ m}^2$



Fonte: Autor, 2023



Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE B

**MEMÓRIA DE CÁLCULO MÉTODO EM ALVENARIA
ESTRUTURAL E DRYWALL**

Ações das Lajes nas Paredes

Laje L6 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²

- Acidental: 2,0 kN/m²

Carga total: 4,6 kN/m²

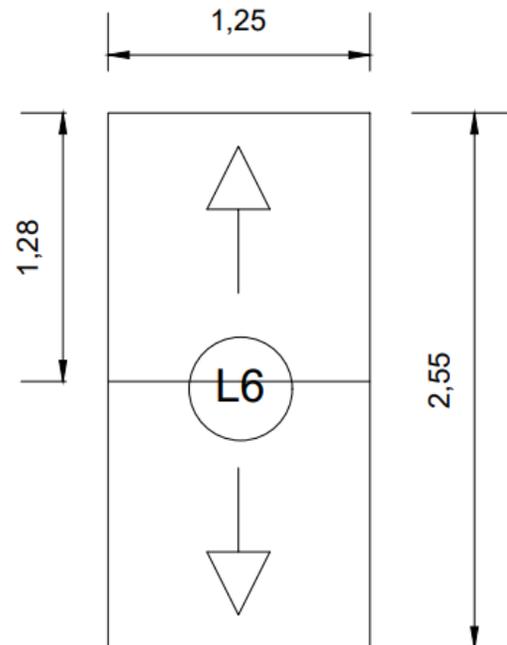
h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,28 \times 1,25 = 1,6 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,6 \text{ kN/m}^2 \times 1,6 \text{ m}^2}{1,25 \text{ m}} = 5,9 \text{ kN/m}$$



Laje L7 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

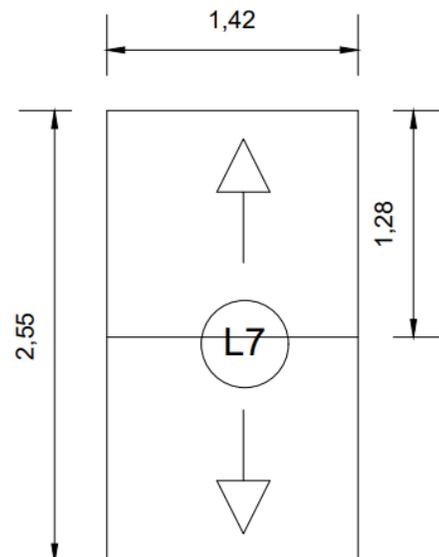
$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 +$$

$$0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²

- Acidental: 2,0 kN/m²

Carga total: 4,6 kN/m²



$h = 12 \text{ cm}$ (laje)

$A1 = A2$ (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,28 \times 1,42 = 1,82 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{4,6 \text{ kN/m}^2 \times 1,82 \text{ m}^2}{1,42 \text{ m}} = 5,9 \text{ kN/m}$$

Laje L8 – Escada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio: $0,15 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3,75 \text{ kN/m}^2$
- Revestimento e piso: 1 kN/m^2
- Acidental: $2,0 \text{ kN/m}^2$

Carga total: $6,75 \text{ kN/m}^2$

$h = 15 \text{ cm}$ (espessura degrau)

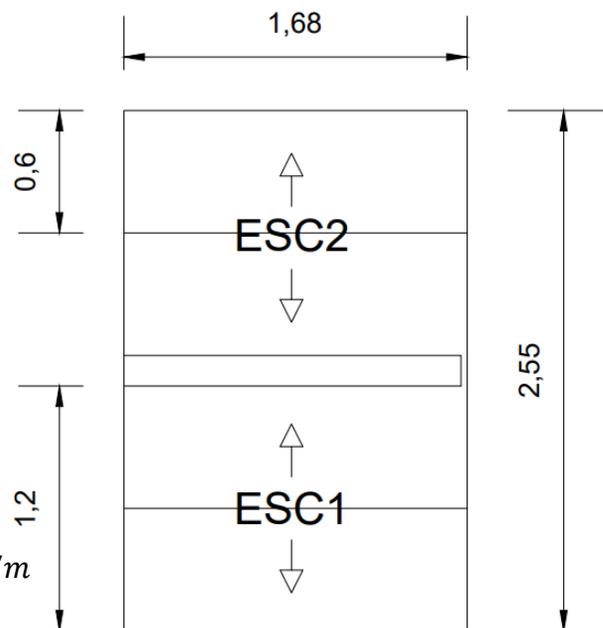
$A1 = A2$ (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 1,68 \times 0,6 = 1,0 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} = \frac{6,75 \text{ kN/m}^2 \times 1,0 \text{ m}^2}{1,68 \text{ m}} = 4,0 \text{ kN/m}$$

$$R_6 = R_E = 4,0 \text{ kN/m} \quad (ESC1 = ESC2)$$



Laje L9 – Laje Apoiada (Pré-moldada)

Cargas:

- Peso Próprio:

$$0,05 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}^2 + 0,35 \text{ kN/m}^2 \text{ (Vigotas + Isopor)} = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

- Revestimento e piso: 1 kN/m²

- Acidental: 2,0 kN/m²

- Paredes Drywall: 0,4 kN/m²

Carga total: 5,0 kN/m²

h = 12 cm (laje)

A1 = A2 (área do retângulo)

$$A1 = A2 = 3 \times 8,93 = 26,79 \text{ m}^2$$

Reações:

$$Rl1 = Rl2 = \frac{q \times A}{l} =$$

$$\frac{5,0 \text{ kN/m}^2 \times 26,79 \text{ m}^2}{8,93 \text{ m}} = 15,0 \text{ kN/m}$$

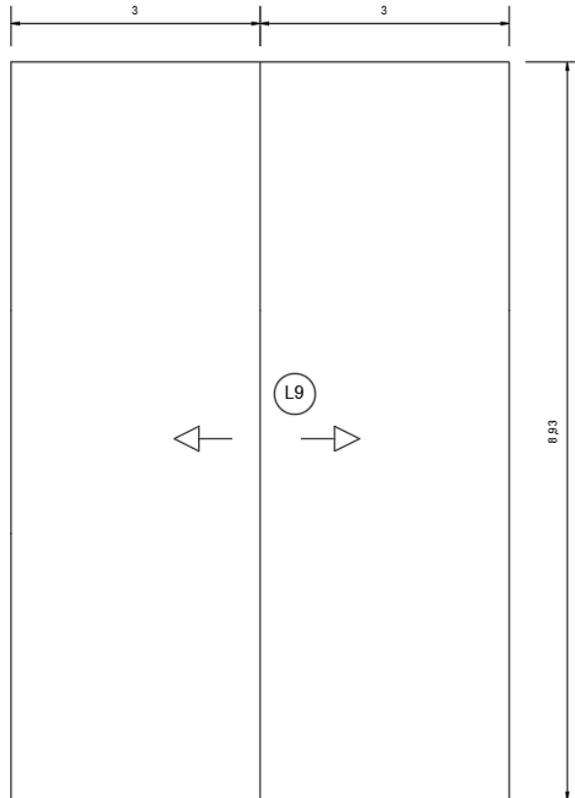


Tabela resumo com os carregamentos das lajes

REAÇÕES DAS LAJES NAS PAREDES				
LAJE	CARGAS (kN/m ²)	L (m)	A (m ²)	RL (kN/m)
6	4,6	1,25	1,6	5,90
7	4,6	1,42	1,82	5,90
8 (ESC 1 e 2)	6,75	1,68	1,0	4,0
9	5,0	8,93	26,79	15,0

$$\gamma_{ALV} = 14 \text{ kN/m}^3$$

$$e = 14 \text{ cm}$$

$$h \text{ (pé direito)} = 2,40 \text{ m}$$

$$\text{Peso Próprio} = \gamma_{ALV} \times e \times h = 14 \times 0,14 \times 2,40 = 4,70 \text{ kN/m}$$

Ações dos Lintéis sobre as Paredes

LT 1 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{LT 1} = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 0,0 \text{ kN/m (NÃO RECEBE CARGA DA LAJE)}$$

$$\text{Total} = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{2,74 \times 1,50}{2} = 2,05 \text{ kN}$$

LT 3 (Porta P3 - 90 x 220)

$$h = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{LT 3} = e \times h = 0,14 \times 0,20 = 0,028 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 0,20 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 0,39 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 5,9 \text{ kN/m (RL - Laje 7)}$$

$$\text{Total} = 6,29 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{6,29 \times 0,90}{2} = 2,83 \text{ kN}$$

LT 4 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{LT 4} = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 17,74 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{17,74 \times 1,50}{2} = 13,3 \text{ kN}$$

LT 5 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$\text{LT 5} = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 17,74 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{17,74 \times 1,50}{2} = 13,3 \text{ kN}$$

LT 10 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{LT 10} = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 18,53 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{18,53 \times 0,6}{2} = 5,56 \text{ kN}$$

LT 11 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$\text{LT 11} = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 18,53 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{18,53 \times 0,6}{2} = 5,56 \text{ kN}$$

LT 12 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$LT\ 12 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 18,53 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{18,53 \times 0,6}{2} = 5,56 \text{ kN}$$

LT 13 (Janela J1 - 150 x 100)

$$h = 1,40 \text{ m}$$

$$LT\ 13 = e \times h = 0,14 \times 1,40 = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,40 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 2,74 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 15,0 \text{ kN/m (RL - Laje 9)}$$

$$\text{Total} = 17,74 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{17,74 \times 1,50}{2} = 13,3 \text{ kN}$$

LT 14 (Janela J2 - 60 x 60)

$$h = 1,80 \text{ m}$$

$$LT\ 12 = e \times h = 0,14 \times 1,80 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso Próprio} = 0,14\text{m} \times 1,80 \text{ m} \times 14 \text{ kN/m}^3 = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$\text{Laje} = 0,0 \text{ kN/m (NÃO RECEBE CARGA DA LAJE)}$$

$$\text{Total} = 3,53 \text{ kN/m}$$

$$R_1 = R_2 = \frac{q \times l}{2} = \frac{3,53 \times 0,6}{2} = 1,06 \text{ kN}$$

Tabela com reações dos lintéis

REAÇÕES DOS LINTÉIS								
LINTÉIS	TIPO	VÃO (m)	P.P (kN/m)	SENTIDO	REAÇÃO DE LAJE (kN/m)		REAÇÃO TOTAL (kN/m)	REAÇÃO (kN) RA = RB
					LAJE	REAÇÃO		
LT 1	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	HOR	0	0,00	2,74	2,05
LT 3	P3 (90 X 220)	0,90	0,39	HOR	7	5,90	6,29	2,83
LT 4	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 5	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 10	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 11	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 12	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	9	15,00	18,53	5,56
LT 13	J1 (150 X 100)	1,50	2,74	VER	9	15,00	17,74	13,30
LT 14	J2 (60 X 60)	0,60	3,53	VER	0	0,00	3,53	1,06

Tabela de distribuição de ações verticais para paredes isoladas

TABELA RESUMO DE CARREGAMENTO VERTICAL ATUANTE PARA UM PAVIMENTO						
PAREDE	COMP. (m)	Peso Próprio (kN/m)	Ação da Laje (kN/m)	Ação dos Lintéis (kN/m)	Carga Total (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	0,90	4,70	0,00	2,05/0,90 = 2,28	6,98	6,98/0,14 = 49,86
2	0,90	4,70	0,00	2,05/0,90 = 2,28	6,98	6,98/0,14 = 49,86
6	2,85	4,70	15,80	2,83/2,85 = 0,99	21,49	21,49/0,14 = 153,5
7	2,25	4,70	5,90	2,83/2,25 = 1,26	11,86	11,86/0,14 = 84,71
8	3,75	4,70	15,00	13,3/3,75 = 3,55	23,25	23,25/0,14 = 166,07
9	1,50	4,70	15,00	26,6/1,5 = 17,73	37,43	37,43/0,14 = 267,38
10	0,60	4,70	15,00	13,3/0,60 = 22,17	41,87	41,87/0,14 = 299,04
15	1,35	4,70	15,00	5,56/1,35 = 4,12	23,82	23,82/0,14 = 170,13
16	1,65	4,70	15,00	11,12/1,65 = 6,74	26,44	26,44/0,14 = 188,85
17	0,60	4,70	15,00	11,12/0,60 = 18,53	38,23	38,23/0,14 = 273,09
18	1,20	4,70	15,00	18,86/1,20 = 15,72	35,42	35,42/0,14 = 252,98
19	0,75	4,70	15,00	13,30/0,75 = 17,73	37,43	37,43/0,14 = 267,38
21b	1,05	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
21c	0,45	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
22	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
23	1,80	4,70	0,00	0,00	4,70	4,70/0,14 = 33,57
24	1,05	4,70	0,00	1,06/1,05 = 1,00	5,70	5,70/0,14 = 40,71
25	1,05	4,70	0,00	1,06/1,05 = 1,00	5,70	5,70/0,14 = 40,71
E	1,65	4,70	8,00	0,00	12,70	12,70/0,14 = 90,71

TABELA RESUMO DE CARREGAMENTO VERTICAL ATUANTE NO ANDAR TÉRREO (5 PAVIMENTOS)		
PAREDE	Carga Total (kN/m) (x5)	Tensão Normal (kN/m ²) (x5)
1 = G1	100,50	717,85
2	34,90	249,28
6 = G2	102,60	732,85
7 = G3	55,75	398,21
8 = G1	100,50	717,85
9	187,15	1336,78
10 = G2	102,60	732,85
15	119,10	850,71
16	132,20	944,29
17	191,15	1365,36
18	177,10	1265,00
19 = G3	55,75	398,21
21b = G3	55,75	398,21
21c = G3	55,75	398,21
22	23,50	167,85
23 = G3	55,75	398,21
24 = G2	102,60	732,85
25	28,50	203,57
E	63,50	453,57

Tabela de distribuição de ações verticais considerando grupos isolados de paredes

DISTRIBUIÇÃO DE AÇÕES VERTICAIS CONSIDERANDO GRUPOS ISOLADOS POR PAVIMENTO				
GRUPO	PAREDE	COMP. (m)	Carga Média do Grupo (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	1 e 8	4,65	$\frac{(6,98 \times 0,9) + (23,25 \times 3,75)}{4,65} = 20,10$	$\frac{20,10}{0,14} = 143,57$
2	6,10 e 24	4,50	$\frac{(21,49 \times 2,85) + (41,87 \times 0,60) + (5,7 \times 1,05)}{4,50} = 20,52$	$\frac{20,52}{0,14} = 146,57$
3	7, 19, 21b, 21c, 23	6,30	$\frac{(11,86 \times 2,25) + (37,43 \times 0,75) + (4,7 \times 1,05) + (4,7 \times 0,45) + (4,7 \times 1,8)}{6,3} = 11,15$	$\frac{11,15}{0,14} = 79,64$

Ação do Vento

$H = 5 \text{ pavimentos} \rightarrow 5 \times 2,50 = 12,50 \text{ m}$

Cidade: Belo Horizonte $\rightarrow V_0 = 30 \text{ m/s}$

Terreno plano \rightarrow Fator topográfico $S_1 = 1,0$

Bairro: P. Eustáquio (centro de grandes cidades) \rightarrow Categoria do terreno V

Classe A (maior dimensão vertical ou horizontal entre 20 e 50 metros)

Edifício residencial \rightarrow Fator $S_3 = 1,00$ (Grupo 2)

Vento de alta turbulência, devido a altura do prédio não superar duas vezes a altura média das edificações vizinhas.

AÇÕES VERTICAIS CONSIDERANDO GRUPOS ISOLADOS NO ANDAR TERREO		
GRUPO	Carga Média do Grupo (kN/m)	Tensão Normal (kN/m ²)
1	100,50	717,85
2	102,60	732,85
3	55,75	398,21

Tabela resumo de cálculo do Fator S2		
Pavimento	Altura	S2
1º	2,5	0,72
2º	5	0,72
3º	7,5	0,72
4º	10	0,72
5º	12,5	0,74

Vento na direção X

$L1 = 20,40 \text{ m}$ $L2 = 6,00 \text{ m}$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{20,40}{6,00} = 3,40 \quad \frac{h}{L_1} = \frac{12,50}{20,40} = 0,613$$

De acordo com o ábaco da NBR 6123 para vento de alta turbulência, temos:

$$Ca = 1,13 \quad V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad Fa = Ca \cdot q \cdot A$$

Veremos na tabela representada abaixo, os valores respectivos das fórmulas acima de V_k ; Fa ; q para a direção X.

Tabela resumo de cálculo em X de V_k ; q ; Fa					
Pavimento	Altura	S_2	V_k (m/s)	q (N/m ²)	Fa (kN)
5º	12,5	0,74	22,20	302,11	17,41
4º	10	0,72	21,60	286,00	16,48
3º	7,5	0,72	21,60	286,00	16,48
2º	5	0,72	21,60	286,00	16,48
1º	2,5	0,72	21,60	286,00	16,48

Vento na direção Y

$$L1 = 6,00 \text{ m} \quad L2 = 20,40 \text{ m}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{6,00}{20,40} = 0,294 \quad \frac{h}{L_1} = \frac{12,50}{6,00} = 2,08$$

De acordo com o ábaco da NBR 6123 para vento de alta turbulência, temos:

$$Ca = 0,75 \quad V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad Fa = Ca \cdot q \cdot A$$

Veremos na tabela representada abaixo, os valores respectivos das fórmulas acima de V_k ; Fa ; q para a direção Y.

Tabela resumo de cálculo em Y de V_k ; q ; Fa					
Pavimento	Altura	S2	V_k (m/s)	q (N/m ²)	Fa (kN)
5º	12,5	0,74	22,20	302,11	3,40
4º	10	0,72	21,60	286,00	3,22
3º	7,5	0,72	21,60	286,00	3,22
2º	5	0,72	21,60	286,00	3,22
1º	2,5	0,72	21,60	286,00	3,22

Ação do Desaprumo

$H = 5 \text{ pavimentos} \rightarrow 5 \times 2,50 = 12,50 \text{ m}$ (altura total do prédio)

$$\varphi = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{H}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{12,5}} = 0,00283 \text{ rad}$$

$\Delta P = \text{Peso do pavimento} = 970,20 \text{ kN}$ (soma de carga dos grupos com repet.)

$$F_{desaprumo} = \Delta P \cdot \varphi = 970,20 \times 0,00283 = 2,75 \text{ kN}$$

Tabela resumo com somatório das forças de desaprumo e vento

Pavimento	$F_{desaprumo}$ (kN)	Fa_X (kN)	Carga Total Direção X (kN)	Fa_Y (kN)	Carga Total Direção Y (kN)
5º	2,75	17,41	20,16	3,40	6,15
4º	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
3º	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
2º	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97
1º	2,75	16,48	19,23	3,22	5,97

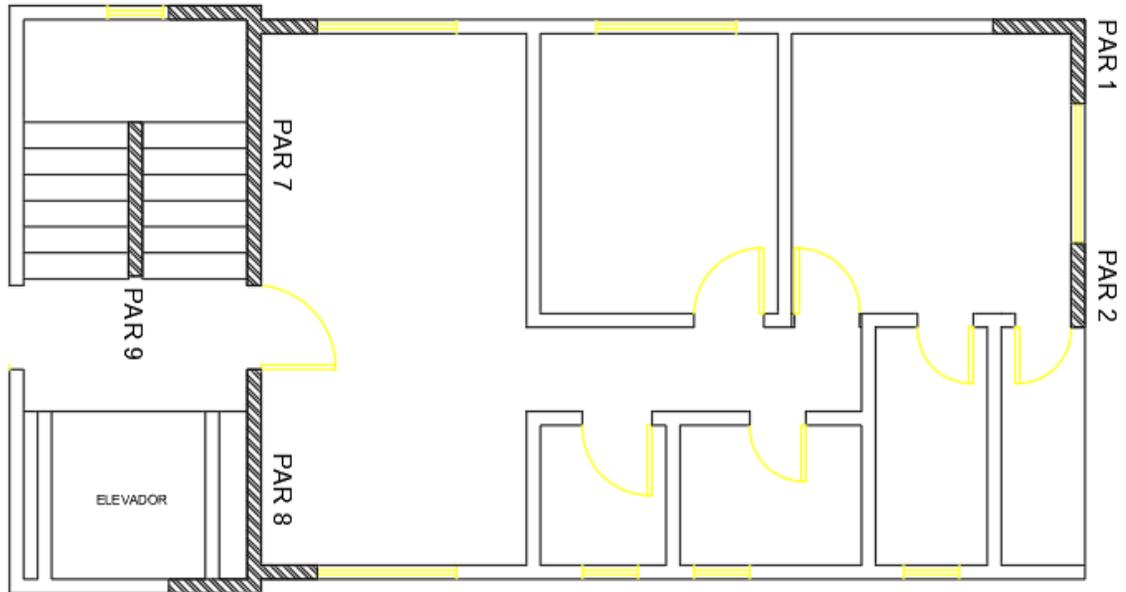
Tabela resumo dos grupos e paredes

Grupos e Paredes	Repetição	Comprimento (m)	Carga Grupo (kN)	Carga Média dos Grupos e Par. (kN/m)	Peso Total por Pavimento (kN)	Tensão na Base do 1º Pav. (Mpa)
G1	2	4,65	93,47	20,27	970,20	0,72
G2	2	4,50	92,79			0,73
G3	2	6,30	70,25			0,40
2	2	0,90	6,28			0,25
9	2	1,50	56,15			1,34
15	2	1,35	32,16			0,85
16	2	1,65	43,63			0,94
17	2	0,60	22,94			1,37
18	2	1,20	42,50			1,27
22	2	1,80	8,46			0,17
25	2	1,05	5,99			0,20
E	1	1,65	20,96			0,45

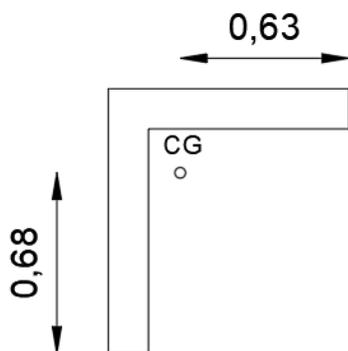
Modelo de Paredes Isoladas com Abas

Paredes de contraventamento na direção X

Momento de inércia das paredes em torno de Y - vento X



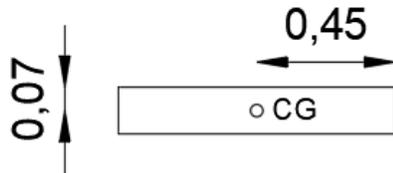
Parede 1 → $X_{cg} = 0,63 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,68 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,019$



REGIONS	

Area:	0.2610
Perimeter:	3.7800
Bounding box:	X: -0.2690 -- 0.6310
	Y: -0.6760 -- 0.3140
Centroid:	X: 0.0000
	Y: 0.0000
Moments of inertia:	X: 0.0236
	Y: 0.0185

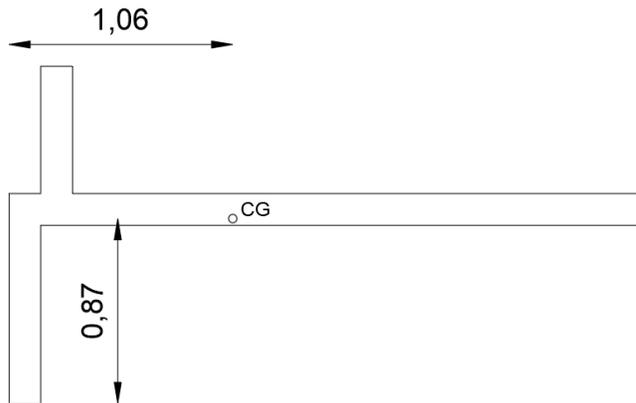
Parede 2 → $X_{cg} = 0,45 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,075 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,009$



```

REGIONS
-----
Area:
0.1350
Perimeter:
2.1000
Bounding box:      X:
-0.4500 -- 0.4500
                   Y:
-0.0750 -- 0.0750
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0003
                   Y:
0.0091
  
```

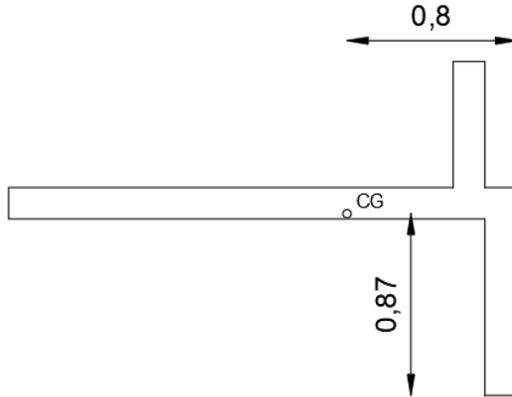
Parede 7 → $X_{cg} = 1,06 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,87 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,610$



```

REGIONS
-----
Area:
0.6660
Perimeter:
9.1800
Bounding box:      X:
-1.0581 -- 1.9419
                   Y:
-0.8720 -- 0.7180
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0533
                   Y:
0.6100
  
```

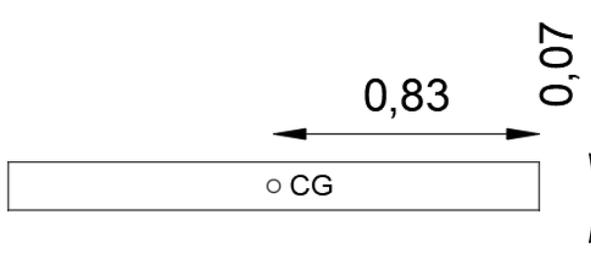
Parede 8 → $X_{cg} = 0,8 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,87 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,327$



```

REGIONS
-----
Area:
0.5760
Perimeter:
7.9800
Bounding box:      X:
-1.5984 -- 0.8016
                  Y:
-0.8653 -- 0.7247
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0529
                  Y:
0.3268
  
```

Parede 9 → $X_{cg} = 0,83 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $I_{yy} = 0,056$

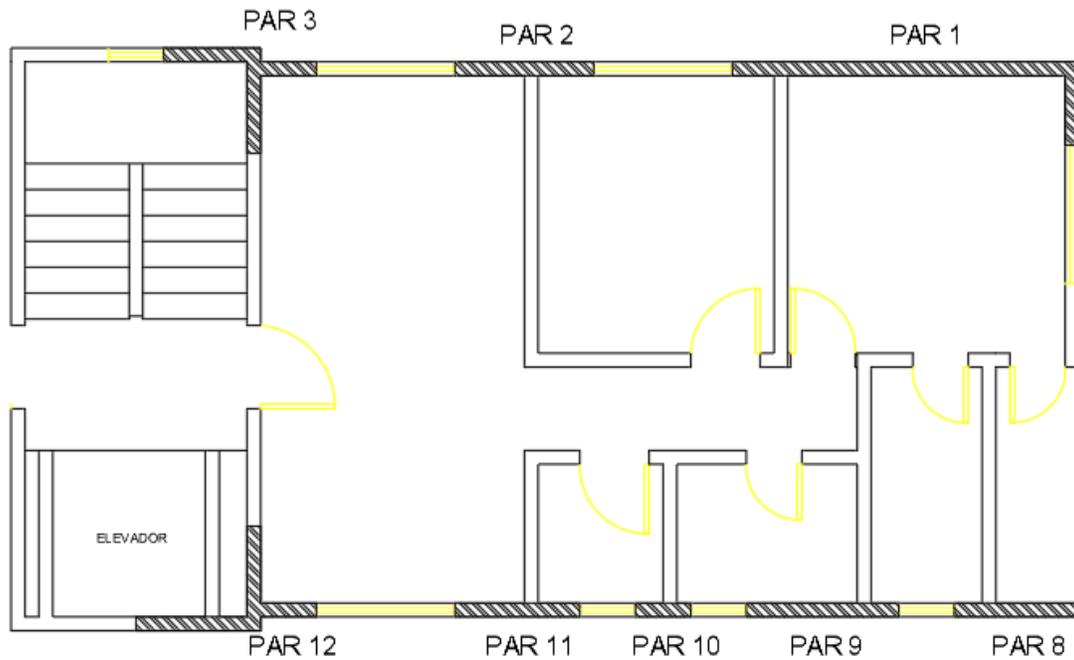


```

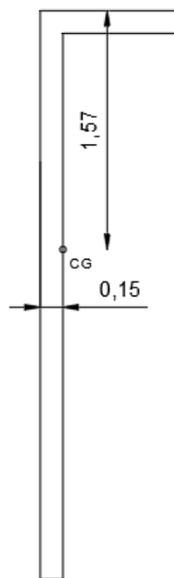
REGIONS
-----
Area:
0.2475
Perimeter:
3.6000
Bounding box:      X:
-0.8250 -- 0.8250
                  Y:
-0.0750 -- 0.0750
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0005
                  Y:
0.0562
  
```

Paredes de contraventamento na direção Y

Momento de inércia das paredes em torno de X - vento Y



Parede 1 → $X_{cg} = 0,15 \text{ m}$; $Y_{cg} = 1,57 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,963$

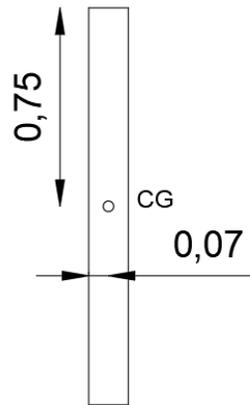


REGIONS

```

-----
Area:
0.6750
Perimeter:
9.3000
Bounding box:      X:
-0.1500 -- 0.7500
                   Y:
-2.1750 -- 1.5750
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.9631
                   Y:
0.0253
  
```

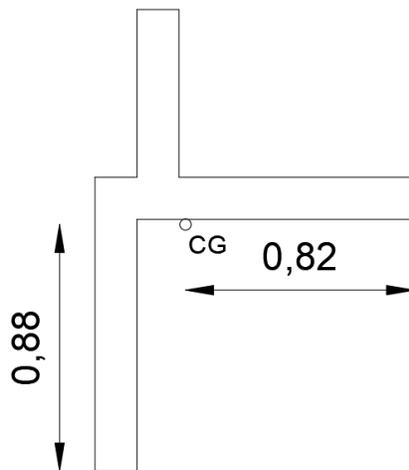
Parede 2 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,75 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,043$



```

REGIONS
-----
Area:
0.2250
Perimeter:
3.3000
Bounding box:           X:
-0.0750 -- 0.0750     Y:
-0.7500 -- 0.7500
Centroid:               X:
0.0000                 Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0422                 Y:
0.0004
  
```

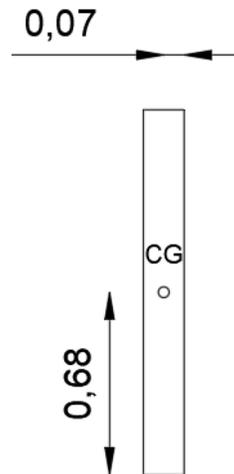
Parede 3 → $X_{cg} = 0,82 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,88 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,059$



```

REGIONS
-----
Area:
0.3960
Perimeter:
5.5800
Bounding box:           X:
-0.3228 -- 0.8172     Y:
-0.8813 -- 0.7687
Centroid:               X:
0.0000                 Y:
0.0000
Moments of inertia:    X:
0.0585                 Y:
0.0385
  
```

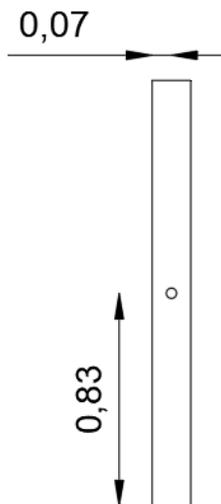
Parede 8 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,67 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,031$



```

REGIONS
-----
Area:
0.2025
Perimeter:
3.0000
Bounding box:      X:
-0.0750 -- 0.0750
                   Y:
-0.6750 -- 0.6750
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0308
                   Y:
0.0004
  
```

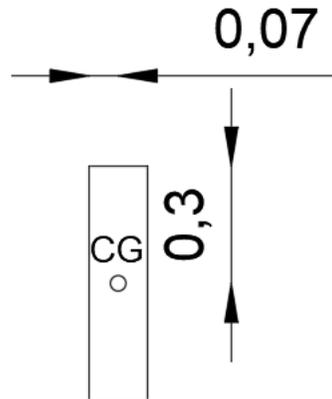
Parede 9 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,83 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,056$



```

REGIONS
-----
Area:
0.2475
Perimeter:
3.6000
Bounding box:      X:
-0.0750 -- 0.0750
                   Y:
-0.8250 -- 0.8250
Centroid:          X:
0.0000
                   Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0562
                   Y:
0.0005
  
```

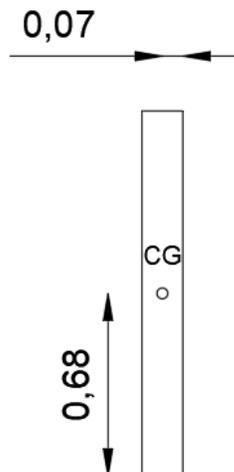
Parede 10 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,3 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,003$



```

REGIONS
-----
Area:
0.0900
Perimeter:
1.5000
Bounding box:      X:
-0.0750 -- 0.0750
                  Y:
-0.3000 -- 0.3000
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0027
                  Y:
0.0002
  
```

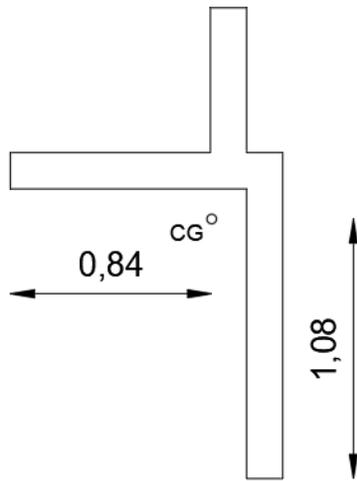
Parede 11 → $X_{cg} = 0,07 \text{ m}$; $Y_{cg} = 0,68 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,031$



```

REGIONS
-----
Area:
0.2025
Perimeter:
3.0000
Bounding box:      X:
-0.0750 -- 0.0750
                  Y:
-0.6750 -- 0.6750
Centroid:          X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.0308
                  Y:
0.0004
  
```

Parede 12 → $X_{cg} = 0,84 \text{ m}$; $Y_{cg} = 1,08 \text{ m}$; $I_{xx} = 0,1018$



```

REGIONS
-----
Area:
0.4395
Perimeter:
6.1600
Bounding box:      X:
-0.8353 -- 0.2947
                  Y:
-1.0753 -- 0.8747
Centroid:         X:
0.0000
                  Y:
0.0000
Moments of inertia: X:
0.1018
                  Y:
0.0401
  
```

Tabela resumo das paredes com incidência do vento X

Parede	$I_y (m^4)$	Quant.	Subtotal	Inércia Relativa	$X_{esquerda} (m)$	$X_{direita} (m)$	$W_{esquerda} (m^3)$	$W_{direita} (m^3)$
Par 1 _x	0,019	2	0,038	0,96	0,27	0,63	0,070	0,030
Par 2 _x	0,009	2	0,018	0,45	0,45	0,45	0,020	0,020
Par 7 _x	0,610	2	1,220	30,71	1,06	1,94	0,575	0,314
Par 8 _x	0,327	2	0,654	16,47	1,60	0,80	0,204	0,409
Par 9 _x	0,056	1	0,056	2,82	0,83	0,82	0,068	0,068
TOTAL			1,986					

Tabela resumo das paredes com incidência do vento Y

Parede	$I_x (m^4)$	Quant.	Subtotal	Inércia Relativa	$Y_{inferior} (m)$	$Y_{superior} (m)$	$W_{inferior} (m^3)$	$W_{superior} (m^3)$
Par 1 _y	0,963	2	1,926	37,38	2,18	1,57	0,442	0,613
Par 2 _y	0,043	2	0,086	1,67	0,75	0,75	0,057	0,057
Par 3 _y	0,059	2	0,118	2,29	0,88	0,77	0,067	0,077
Par 8 _y	0,031	2	0,062	1,20	0,67	0,68	0,046	0,046
Par 9 _y	0,056	2	0,112	2,17	0,83	0,82	0,067	0,068
Par 10 _y	0,003	2	0,006	0,12	0,30	0,30	0,010	0,010
Par 11 _y	0,031	2	0,062	1,20	0,67	0,68	0,046	0,046
Par 12 _y	0,102	2	0,204	3,96	1,08	0,87	0,094	0,117
TOTAL			2,576					

Força Cortante e Momento Fletor nas Paredes

Será demonstrado nas tabelas a seguir, os resultados obtidos de esforços cortantes e momentos fletores nas paredes de acordo com a incidência do vento nas direções “X” e “Y”.

Esforços horizontais por pavimento na direção X			
Pavimento	F_x (kN)	Esforço cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
5º	20,22	20,22	50,55
4º	19,29	39,51	149,33
3º	19,29	58,80	296,33
2º	19,29	78,09	491,55
1º	19,29	97,38	735,00

Ações para vento atuando na direção X							
Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo ou Parede	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia Y-Y (m^4)	Inércia relativa	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _x	G1	0,72	0,019	0,96	0,00	0,94	7,06
Par 2 _x	P2	0,25	0,009	0,45	0,00	0,44	3,31
Par 7 _x	G2	0,73	0,610	30,71	0,00	29,91	225,71
Par 8 _x	G3	0,40	0,327	16,47	0,00	16,04	121,05
Par 9 _x	ESC	0,45	0,056	2,82	0,00	2,74	20,73

Resumo das tensões para vento atuando na direção X						
Parede	Área Normal (m^2)	Tensão normal ação vertical Momento (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão Cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal à esquerda (MPa)	Tensão normal ação horizontal à direita (MPa)
Par 1 _x	0,26	0,03	0,00	0,007	0,10	0,24
Par 2 _x	0,14	0,02	0,00	0,003	0,17	0,17
Par 7 _x	0,67	0,34	0,00	0,066	0,39	0,72
Par 8 _x	0,58	0,21	0,00	0,045	0,59	0,30
Par 9 _x	0,25	0,08	0,00	0,011	0,30	0,30

Esforços horizontais por pavimento na direção Y			
Pavimento	F_y (kN)	Esforço cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
5º	6,21	6,21	15,53
4º	6,03	12,24	46,13
3º	6,03	18,27	91,80
2º	6,03	24,30	152,55
1º	6,03	30,33	228,38

Ações para vento atuando na direção Y							
Reações devido a ações verticais			Dados de inércia		Reações devido a ações horizontais		
Parede	Grupo	Tensão vertical em grupos isolados de paredes (MPa)	Inércia X-X (m^4)	Inércia relativa	Força normal (kN)	Força cortante (kN)	Momento fletor (kN.m)
Par 1 _y	G1	0,72	0,963	37,38	0,00	11,21	85,22
Par 2 _y	P9	1,34	0,043	1,67	0,00	0,50	3,81
Par 3 _y	G2	0,73	0,059	2,29	0,00	0,69	5,22
Par 8 _y	P15	0,85	0,031	1,20	0,00	0,36	2,74
Par 9 _y	P16	0,94	0,056	2,17	0,00	0,65	4,95
Par 10 _y	P17	1,37	0,003	0,12	0,00	0,04	0,27
Par 11 _y	P18	1,27	0,031	1,20	0,00	0,36	2,74
Par 12 _y	G3	0,40	0,102	3,96	0,00	1,19	9,03

Resumo das tensões para vento atuando na direção Y						
Parede	Área Normal (m^2)	Tensão normal ação vertical Momento (MPa)	Tensão normal ação horizontal (MPa)	Tensão Cisalhamento (MPa)	Tensão normal ação horizontal inferior (MPa)	Tensão normal ação horizontal superior (MPa)
Par 1 _y	0,68	0,13	0,00	0,020	0,19	0,14
Par 2 _y	0,23	0,02	0,00	0,002	0,07	0,07
Par 3 _y	0,40	0,01	0,00	0,003	0,08	0,07
Par 8 _y	0,20	0,01	0,00	0,002	0,06	0,06
Par 9 _y	0,25	0,02	0,00	0,003	0,07	0,07
Par 10 _y	0,09	0,00	0,00	0,000	0,03	0,03
Par 11 _y	0,20	0,01	0,00	0,002	0,06	0,06
Par 12 _y	0,44	0,02	0,00	0,004	0,10	0,08

Parâmetro Alfa

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}}, \text{ onde:}$$

α = parâmetro de instabilidade (adimensional)

H = altura total do edifício (m)

P = peso total da edificação (kN)

EI = rigidez a flexão do sistema de contraventamento (kN.m²)

Paredes isoladas com abas e sem aberturas

$$\alpha_x = 12,5 \sqrt{\frac{4851}{3200 \times 10^3 \times 1,99}} = 0,35 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura **indeslocável** em "X"}$$

$$\alpha_y = 12,5 \sqrt{\frac{4851}{3200 \times 10^3 \times 2,58}} = 0,30 < 0,7 \rightarrow \text{Estrutura **indeslocável** em "Y"}$$

Especificação da Resistência do Prisma

$$h = 2,40 \text{ m} = 240 \text{ cm} \quad ; \quad t = 0,14 \text{ m} = 14 \text{ cm}$$

$$R = 1 - \left(\frac{h}{40t}\right)^3 = 1 - \left(\frac{240}{40 \times 14}\right)^3 = \mathbf{0,921}$$

$$R_{d, \text{ compressão simples}} = 0,35 \times f_{pk} \times R = 0,35 \times f_{pk} \times 0,921 = \mathbf{0,322 f_{pk}}$$

$$R_{d, \text{ compressão na flexão}} = \mathbf{0,525 f_{pk}}$$

1ª Hipótese:

→ tensões horizontais como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)

→ sobrecarga na laje como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,5$)

$$S_{d, \text{ compressão simples}} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times 0,5 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$$

$$S_d, \text{ compressão na flexão} = 1,4 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$$

2ª Hipótese:

→ sobrecarga na laje como ação variável principal ($\gamma_f = 1,4$)

→ tensões horizontais como ação variável secundária ($\gamma_f \times \psi_0 = 1,4 \times 0,6$)

$$S_d, \text{ compressão simples} = 1,4 \times \sigma_{\text{permanente}} + 1,4 \times \sigma_{\text{sobrecarga}}$$

$$S_d, \text{ compressão na flexão} = 1,4 \times 0,6 \times \sigma_{\text{compressão na flexão}}$$

Equação de interação para encontrar f_{pk} do prisma:

$$\frac{S_d, \text{ compressão simples}}{R_d, \text{ compressão simples}} + \frac{S_d, \text{ compressão na flexão}}{R_d, \text{ compressão na flexão}} \leq 1$$

Tabela resumo do dimensionamento à flexo-compressão em X

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão na Flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
					S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _X	0,72	0,54	0,18	0,24	0,88	0,34	3,38	1,01	0,20	3,51
P2 _X	0,25	0,19	0,06	0,17	0,31	0,24	1,40	0,35	0,14	1,36
P7 _X	0,73	0,55	0,18	0,72	0,89	1,01	4,69	1,02	0,60	4,32
P8 _X	0,4	0,30	0,10	0,59	0,49	0,83	3,09	0,56	0,50	2,68
P9 _X	0,45	0,34	0,11	0,3	0,55	0,42	2,51	0,63	0,25	2,43

Tabela resumo do dimensionamento à flexo-compressão em Y

Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão na Flexão (MPa)	1ª Hipótese			2ª Hipótese		
					S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)	S_d Compressão Simples (MPa)	S_d Compressão na Flexão (MPa)	f_{pk} (MPa)
P1 _y	0,72	0,54	0,18	0,19	0,88	0,27	3,24	1,01	0,27	3,63
P2 _y	1,34	1,01	0,34	0,07	1,64	0,10	5,28	1,88	0,06	5,93
P3 _y	0,73	0,55	0,18	0,08	0,89	0,11	2,99	1,02	0,07	3,30
P8 _y	0,85	0,64	0,21	0,06	1,04	0,08	3,39	1,19	0,05	3,79
P9 _y	0,94	0,71	0,24	0,07	1,15	0,10	3,76	1,32	0,06	4,19
P10 _y	1,37	1,03	0,34	0,03	1,68	0,04	5,28	1,92	0,03	6,00
P11 _y	1,27	0,95	0,32	0,06	1,56	0,08	4,98	1,78	0,05	5,61
P12 _y	0,4	0,30	0,10	0,1	0,49	0,14	1,79	0,56	0,08	1,90

Tabela resumo dos blocos e argamassas recomendadas

Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)	Parede	f_{pk} Adotado (MPa)	f_{bk} Recomendado (MPa)	f_a Recomendado (MPa)
P1 _y	3,63	6	6	P1 _x	3,51	6	6
P2 _y	5,93	8	6	P2 _x	1,40	3	4
P3 _y	3,30	4	4	P7 _x	4,69	6	6
P8 _y	3,79	6	6	P8 _x	3,09	4	4
P9 _y	4,19	6	6	P9 _x	2,51	4	4
P10 _y	6,00	8	6				
P11 _y	5,61	8	6				
P12 _y	1,90	3	4				

Blocos e argamassas adotados para todo o prédio será de 8 e 6 MPa respectivamente, e graute de 20 MPa, no qual representa a pior situação de carga no edifício. Sua definição ocorreu conforme recomendação da Tabela F.1 da ABNT NBR 16868-1:2020.

Tabela F.1 — Recomendação para especificação dos materiais da alvenaria estrutural

Tipo de bloco	f_{bk}	f_s	f_{gh}	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk}^*/f_{pk}	f_{pk}	f_{pk}^*	Espessura mínima de parede do bloco mm
Bloco vazado de concreto, conforme a ABNT NBR 6136 (ref. 14 × 39 cm) 	3,0	4,0	15,0	0,80	2,00	2,4	4,8	25
	4,0	4,0	15,0	0,80	2,00	3,2	6,4	25
	6,0	6,0	15,0	0,75	1,75	4,5	7,9	25
	8,0	6,0	20,0	0,75	1,75	6,0	10,5	25
	10,0	8,0	20,0	0,70	1,75	7,0	12,3	25
	12,0	8,0	25,0	0,70	1,60	8,4	13,4	25
	14,0	12,0	25,0	0,70	1,60	9,8	15,7	25
	16,0	12,0	30,0	0,65	1,60	10,4	16,6	25
	18,0	14,0	30,0	0,65	1,60	11,7	18,7	25
	20,0	14,0	35,0	0,60	1,60	12,0	19,2	25
	22,0	18,0	35,0	0,55	1,60	12,1	19,4	25
24,0	18,0	40,0	0,55	1,60	13,2	21,1	25	
Bloco cerâmico de parede vazada, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm) 	4,0	4,0	15,0	0,50	1,60	2,0	3,2	8
	6,0	6,0	15,0	0,50	1,60	3,0	4,8	8
	8,0	6,0	20,0	0,50	1,60	4,0	6,4	8
	10,0	8,0	25,0	0,45	1,60	4,5	7,2	8
	12,0	8,0	25,0	0,45	1,60	5,4	8,6	8
Bloco cerâmico de parede maciça, conforme a ABNT NBR 15270-1 (ref. 14 × 29 cm) 	10,0	8,0	20,0	0,60	1,60	6,0	9,6	22
	14,0	12,0	25,0	0,60	1,60	8,4	13,4	25
	18,0	15,0	30,0	0,60	1,60	10,8	17,3	30

f_{pk}^* = resistência de prisma cheio.

Fonte: ABNT NBR 16868-1:2020

Verificação das Tensões de Cisalhamento

Para $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{vk} = 0,15 + 0,5 \times 0,9 \times \sigma_{comp. \text{ simples perm.}}$

f_{vk} = resistência característica ao cisalhamento da alvenaria

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} = \gamma_f \times \sigma_{\text{cisalhamento}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$$

$$R_{d, \text{ cisalhamento}} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$$

$$S_{d, \text{ cisalhamento}} < R_{d, \text{ cisalhamento}}$$

Verificação das tensões de cisalhamento em X							
Parede	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Força Cortante (kN)	Tensão de Cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,54	0,94	0,007	0,01	0,39	0,20	ATENDIDA
P2 _x	0,19	0,44	0,003	0,00	0,24	0,12	ATENDIDA
P7 _x	0,55	29,91	0,066	0,09	0,40	0,20	ATENDIDA
P8 _x	0,3	16,04	0,045	0,06	0,29	0,14	ATENDIDA
P9 _x	0,34	2,74	0,011	0,02	0,30	0,15	ATENDIDA

Verificação das tensões de cisalhamento em Y							
Parede	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Força Cortante (kN)	Tensão de Cisalhamento (MPa)	S_d Cisalhamento (MPa)	f_{vk} (MPa)	R_d Cisalhamento (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,54	11,21	0,02	0,03	0,39	0,20	ATENDIDA
P2 _y	1,01	0,50	0,002	0,00	0,60	0,30	ATENDIDA
P3 _y	0,55	0,69	0,003	0,00	0,40	0,20	ATENDIDA
P8 _y	0,64	0,36	0,002	0,00	0,44	0,22	ATENDIDA
P9 _y	0,71	0,65	0,003	0,00	0,47	0,23	ATENDIDA
P10 _y	1,03	0,04	0,000	0,00	0,61	0,31	ATENDIDA
P11 _y	0,95	0,36	0,002	0,00	0,58	0,29	ATENDIDA
P12 _y	0,30	1,19	0,004	0,01	0,29	0,14	ATENDIDA

Verificação das Tensões de Tração

Para argamassa $3,5 \text{ MPa} < f_a < 7,0 \text{ MPa} \rightarrow f_{tk} = 0,20$

f_{tk} = resistência característica à tração da alvenaria

S_d , tração na flexão = $\gamma_f \times \sigma_{\text{tração na flexão}} \rightarrow (\gamma_f = 1,4)$

R_d , tração na flexão = $\frac{f_{tk}}{\gamma_m} \rightarrow (\gamma_m = 2,0)$

R_d , tração na flexão = $\frac{0,20}{2,0} = 0,10$

S_d , tração na flexão < R_d , tração na flexão

Verificação das tensões de tração em X											
Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Esquerda (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Direita (MPa)	Extremidade Esquerda			Extremidade direita		
						S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _x	0,72	0,54	0,18	0,1	0,24	-0,35	0,10	ATENDIDA	-0,15	0,10	ATENDIDA
P2 _x	0,25	0,19	0,06	0,17	0,17	0,07	0,10	ATENDIDA	0,07	0,10	ATENDIDA
P7 _x	0,73	0,55	0,18	0,39	0,72	0,05	0,10	ATENDIDA	0,09	0,10	ATENDIDA
P8 _x	0,4	0,30	0,10	0,59	0,3	0,09	0,10	ATENDIDA	0,10	0,10	ATENDIDA
P9 _x	0,45	0,34	0,11	0,3	0,3	0,08	0,10	ATENDIDA	0,08	0,10	ATENDIDA

Verificação das tensões de tração em Y											
Parede	Tensão Vertical (MPa)	Tensão Vertical Permanente (MPa)	Tensão Vertical Acidental (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Inferior (MPa)	Tensão Normal Ação Horizontal Superior (MPa)	Parte Inferior			Parte Superior		
						S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$	S_d Tração (MPa)	R_d Tração (MPa)	Condição $S_d < R_d$
P1 _y	0,72	0,54	0,18	0,19	0,14	-0,22	0,10	ATENDIDA	-0,29	0,10	ATENDIDA
P2 _y	1,34	1,01	0,34	0,07	0,07	-0,81	0,10	ATENDIDA	-0,81	0,10	ATENDIDA
P3 _y	0,73	0,55	0,18	0,08	0,07	-0,38	0,10	ATENDIDA	-0,40	0,10	ATENDIDA
P8 _y	0,85	0,64	0,21	0,06	0,06	-0,49	0,10	ATENDIDA	-0,49	0,10	ATENDIDA
P9 _y	0,94	0,71	0,24	0,07	0,07	-0,54	0,10	ATENDIDA	-0,54	0,10	ATENDIDA
P10 _y	1,37	1,03	0,34	0,03	0,03	-0,89	0,10	ATENDIDA	-0,89	0,10	ATENDIDA
P11 _y	1,27	0,95	0,32	0,06	0,06	-0,77	0,10	ATENDIDA	-0,77	0,10	ATENDIDA
P12 _y	0,4	0,30	0,10	0,1	0,08	-0,13	0,10	ATENDIDA	-0,16	0,10	ATENDIDA

Dimensionamento da Fundação em Radier

A fundação escolhida para o empreendimento foi do modelo em radier, no qual basicamente se trata de uma laje apoiada ao solo, que receberá todas as cargas do edifício e transmitirá ao mesmo. O concreto utilizado para execução do radier foi o C30, ou seja, com resistência de 30 MPa, e sua espessura será de 30 cm. Como não há sondagem do solo do terreno, será simulado para o cálculo da fundação, um perfil de solo de argila rija. Serão adotados valores médios para o dimensionamento, extraídos da tabela abaixo.

Tabela de Parâmetros de Resistência e de deformabilidade em Função do SPT

Areias e Solos Arenosos					
Compacidade	γ (t/m³)	C (t/m²)	ϕ	E (t/m²)	v_v
Fofa	1,6	0	25 - 30	100 - 500	0,3 a 0,4
Pouco Compacta	1,8	0	30 - 35	500 - 1400	
Medianamente Compacta	1,9	0	35 - 40	1400 - 4000	
Compacta	2,0	0	40 - 45	4000 - 7000	
Muito Compacta	> 2,0	0	> 45	> 7000	
Argilas e Solos Argilosos					
Consistência	γ (t/m³)	C (t/m²)	ϕ	E' (t/m²)	v_v
Muito Mole	1,3	0 - 1,2	0	30 - 120	0,4 a 0,5
Mole	1,5	1,2 - 2,5	0	120 - 280	
Média	1,7	2,5 - 5,0	0	280 - 500	
Rija	1,9	5,0 - 15,0	0	500 - 1500	
Dura	> 2,0	> 15,0	0	> 1500	

Valores UFMG fls. 47

Fonte: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/> (acesso em 10/12/2023)

Iniciando o dimensionamento, primeiramente inserimos a arquitetura do apartamento e as cargas incidentes em cada parede no software GEO5. A análise será feita apenas de um lado da edificação, e será replicada por todo o edifício. Após, define-se a espessura do radier, que para este caso será de 30 cm, juntamente com a resistência do concreto utilizado, de 30 MPa.

Posteriormente, calcula-se as Constantes de Winkler (C1 e C2) mediante inserção dos valores médios característicos do módulo de deformação do solo (7,00 Mpa) em questão, do coeficiente de Poisson (0,45) do mesmo, e da profundidade da zona de influência do solo (9,00 m). O

próximo passo será montar as combinações de cargas permanentes e variáveis que serão analisadas em estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS). O último dado a ser imposto, é o aço a ser utilizado no sistema, no qual será o aço CA-50. Após todos os processos acima efetuados, aciona-se o cálculo de dimensionamento junto ao software, e analisa-se os resultados de forma a observar se não há nenhum erro aparente. Após o dimensionamento no software GEO5, chegamos aos seguintes resultados demonstrados abaixo e nas figuras subsequentes:

- Momento em X = 9080 kN.cm / $A_s = 8,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 10 cm
- Momento em Y = 7860 kN.cm / $A_s = 7,00 \text{ cm}^2$ / Barras de 10 mm a cada 11 cm
- Área do radier: $22,4 \text{ m} \times 8,0 \text{ m} = 179,2 \text{ m}^2$

