



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UNICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

CAROLINE BORGES FARIAS
GUILHERME NEVES DE CARVALHO

EFEITOS DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM ESTRUTURAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

BRASÍLIA
2020



CAROLINE BORGES FARIAS
GUILHERME NEVES DE CARVALHO

EFEITOS DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM ESTRUTURAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Marco Aurélio Souza Bessa, D.Sc.

BRASÍLIA

2020

RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que está em crescimento atualmente, por ser um sistema racionalizado aliando qualidade, rapidez e economia. Dessa forma, os estudos voltados para essa área são muito importantes para auxiliar o desenvolvimento dessa técnica. Entretanto, as análises, em sua maioria, são realizadas considerando as estruturas com apoios indeslocáveis, o que não é tão real, pois não considera o efeito do maciço de solo. Portanto, é importante efetuar a análise utilizando o conceito da interação solo-estrutura, que permite uma melhor relação entre a estrutura e o solo. O trabalho acadêmico visa estudar os efeitos de diversas combinações atuantes em um edifício, com fundação em radier flexível estaqueado, considerando apoio rígido e elástico. O estudo foi executado para variados modelos, com número crescente de 4 a 12 pavimentos, a fim de verificar a evolução das tensões nas paredes e dos momentos no radier e na laje do 4º pavimento. Projetou-se, primeiramente, o pavimento tipo da edificação utilizando o software AutoCAD®, em seguida, foi importado para o SAP2000®, no qual finalizou-se a modelagem e os resultados foram gerados. Estes estão apresentados na forma de tabelas, gráficos e imagens, a fim de melhor caracterizar o estudo e facilitar a visualização dos dados e objetivos. Isso demonstrou que não houve mudança significativa entre os valores apresentados para os diferentes tipos de vínculos (rígido e elástico), bem como as ações do vento não influíram nas tensões de forma significativa. Além disso, percebeu-se mudanças abruptas nas tensões à medida que o número de pavimentos e a quantidade de estacas aumentavam. Em adição, nota-se que a estrutura concebida possui alta rigidez, o que evita grandes influências do vento independente do tipo de apoio. Diante disso, pode-se concluir que o aumento da rigidez do radier está diretamente ligado ao número de estacas e o seu posicionamento, o que influi nos resultados.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Interação solo-estrutura. Apoio rígido. Apoio elástico.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
2.1	CONCEITOS.....	6
2.2	CONTEXTO HISTÓRICO	7
2.3	INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA (ISE)	8
3	METODOLOGIA	9
3.1	SOFTWARES UTILIZADOS	10
3.2	HARDWARE UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DAS ESTRUTURAS.....	10
3.3	EDIFÍCIO MODELO	10
3.4	PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS	14
3.5	MODELAGEM NUMÉRICA DO SISTEMA ESTRUTURAL	15
3.6	AÇÕES.....	16
3.7	COMBINAÇÕES.....	19
3.8	MODELOS ESTUDADOS	20
4	RESULTADOS E ANÁLISES	20
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é uma forma prática de construir, que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado da construção civil, justamente por aliar rapidez, economia e qualidade. Inicialmente a alvenaria estrutural era voltada principalmente para construção de casas populares e de pequeno porte, justamente pela sua facilidade em modulação e sua rápida construção. (PORTO, 2010)

Os construtores e as empresas de construção civil estão mudando a forma de pensar e construir, pois como aponta Barros Júnior (2017), o país tem passado por diversas crises e o ramo da construção civil é sempre bastante afetado, o que acaba impulsionando os responsáveis a buscar formas alternativas de construir, que sejam velozes, seguras, sustentáveis e baratas, mas que ainda atendam todos os critérios estéticos e de conforto exigidos pelos usuários e pelas normas específicas.

Assim sendo, de acordo com o mesmo autor, a tendência é a industrialização do canteiro de obras ou *lean construction* (construção enxuta), que transforma o local de trabalho em uma linha de montagem. Então, a alvenaria estrutural vem como um sistema construtivo entre a construção tradicional e industrialização de obra, por não ser uma mudança tão drástica.

Ao longo dos últimos anos, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos em relação à alvenaria estrutural, tais como Porto (2010), Antoniazzi (2011) e Felipe (2017), que estudam e analisam efeitos atuantes nas estruturas de alvenaria estrutural e discorrem sobre os métodos de dimensionamento e detalhamento desse sistema estrutural. Além disso, vários livros e manuais, tais como Tauil e Nesse (2010), Parsekian (2012), Ramalho e Corrêa (2003), que apresentam em detalhe esse sistema estrutural. Estes trabalhos foram largamente utilizados no desenvolvimento deste trabalho acadêmico como fonte de conhecimento e como referência na construção do modelo de edifício utilizado nas análises.

O estudo da interação da estrutura com o solo, conhecida como Interação Solo-Estrutura é um tópico que vem sendo bastante estudado, pois ele torna a análise mais realista, como coloca Porto (2010), mas ainda possui muita frente para pesquisa. Alguns estudiosos desse tema que foram utilizados ao longo da pesquisa são Mota (2009), que realiza o estudo dos efeitos da interação solo estrutura de uma edificação com fundação profunda e valida os

dados com um estudo de campo ao comparar os recalques e Porto (2010), que estuda como a estrutura de alvenaria estrutural interage com a fundação considerando diferentes formas de apoio em sua base, rígido e flexível. Além disso, têm-se o estudo de Ribeiro (2017), que avalia o comportamento de uma fundação em radier considerando a interação solo-estrutura.

O trabalho acadêmico que será apresentado visa mostrar os efeitos causados em uma edificação de alvenaria estrutural, considerando a fundação em radier estaqueado, e analisar qual a tendência de aumento das tensões nas paredes da edificação e dos momentos no radier, à medida que se aumenta o número de pavimentos da edificação e aumenta a influência do vento sobre a edificação. Além disso, será demonstrada a variação que acontece quando se muda o tipo de apoio final da estrutura, alternando entre um apoio rígido, como usualmente se considera a estrutura durante um dimensionamento e utilizando a ideia da interação solo-estrutura, a partir da inserção de um coeficiente de mola na ponta de cada estaca.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS

O dicionário Aurélio coloca o seguinte, “al.ve.na.ri.a *sf.* Obra, ger. Parede, muro ou alicerce, composta de pedras, ou de tijolos, ou de blocos de concreto, ligados ou não por argamassa” e a característica estrutural advém do fato de esta composição ser construída com o objetivo principal de sustentar cargas ou não.

A alvenaria estrutural é um processo construtivo tido como industrializado, pois tem com ideal a fabricação dos elementos que constituirão a edificação em uma fábrica ou local adequado com posterior montagem no canteiro de obras. Os elementos industrializados utilizados, como aponta a NBR 15961-1: 2011 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto Parte 1: Projeto, são:

- Blocos: componente básico da alvenaria, sendo ele feito de concreto ou cerâmica;
- Argamassa: composição de cimento, areia e água utilizada no assentamento dos blocos;

- Graute: concreto utilizado no preenchimento dos blocos para aumento da resistência a compressão, pode ser ou não empregado, a depender do projeto;
- Aço: alguns trechos da alvenaria podem ser enrijecidos com barras para aumentar a resistência à tração da alvenaria. Se ela for utilizada em partes da edificação, têm-se o sistema construtivo da alvenaria estrutural armada e se não for empregada no projeto, têm-se o sistema construtivo da alvenaria não armada.

2.2 CONTEXTO HISTÓRICO

A utilização desse tipo de tecnologia não é algo recente, como aponta Mohamad (2015), pois grandes construções como o coliseu e as pirâmides do Egito utilizaram o conceito de sobreposição de blocos com a utilização de materiais como ligantes entre as peças. Essas construções possuíam formas especiais que tiravam proveito da grande resistência à compressão dos blocos, como é o caso da composição em arco, utilizada no coliseu, e a utilização de uma base alargada, no caso das pirâmides, que permitiam a construção de grandes edificações e melhoravam a distribuição de tensões no solo.

As edificações construídas nos séculos XIX e XX utilizando a alvenaria estrutural, de acordo com Freitas Júnior (2013), possuíam limitações de altura e espessuras das paredes da base muito grandes, o que modificou a atenção para o concreto e o aço, que permitiam construções mais esbeltas e mais altas. Isso resultou em uma estagnação das pesquisas na área de alvenaria estrutural.

Entretanto, com o passar do tempo conceitos de racionalização e modulação dos canteiros de obra tem ganhado muita força, pois as construtoras querem diminuir ao máximo o desperdício e aproveitar ao máximo a capacidade dos materiais, a fim de diminuir os custos, aumentando o lucro, mas sem perder de vista a qualidade.

Dessa forma, a alvenaria ganha novamente força, justamente pela racionalização e dupla funcionalidade que abarca estrutura e vedação, e novos estudos se iniciam para tornar essa tecnologia mais econômica e eficiente. Uma mudança significativa a ser destacada é a criação de normas específicas para dimensionamento, projeto, ensaios e requisitos a serem atendidos dentro desse sistema estrutural, sendo alguns exemplos:

- ABNT NBR 15961-1:2011 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 1: Projeto.
- ABNT NBR 15961-2:2011 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto. Parte 2: Execução e controle de obras.

2.3 INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA (ISE)

As estruturas são dimensionadas, primordialmente, considerando que sua base é engastada ou rotulada, ou seja, desconsidera o efeito plástico do solo. Essa simplificação era feita a fim de diminuir a quantidade de cálculos durante a concepção de uma edificação, mas mesmo depois do surgimento e modernização dos computadores, que permitem cálculos e análises muito mais complexos, o procedimento de dimensionamento continua o mesmo na maior parte dos escritórios de engenharia. (SOUZA & REIS, 2008)

A interação solo-estrutura, como explica Mota (2009), consiste na relação entre as três partes principais de uma edificação, sendo elas a superestrutura, que é o esqueleto do elemento estrutural, a subestrutura ou fundação, que é responsável por transferir os carregamentos para o terreno e o maciço de solo, que é o conjunto de camadas de material sobre o qual a edificação de apoia.

A análise ocorre utilizando um modelo que represente as características de todos os elementos envolvidos. Dessa forma, o dimensionamento da superestrutura levará em conta as deformações e recalques sofridos pelas fundações e maciço de solo, respectivamente, além de considerar o efeito que a rigidez da edificação gera na distribuição de esforços e nos recalques sofridos pela estrutura.

Essa relação é importante, pois como aponta Holanda Júnior et al (1999), ao analisar uma estrutura considerando a deformabilidade do maciço, obteve-se uma redistribuição nos recalques, em que os pilares que recalavam mais acabavam transferindo parte de sua movimentação aos vizinhos que movimentavam menos.

Portanto, esse tipo de estudo pode afetar o modo de dimensionamento ou detalhamento de uma estrutura, podendo torná-la mais econômica ou mostrando que se deve ter mais atenção com elementos antes considerados pouco solicitados.

Além disso, a rigidez da superestrutura afeta diretamente os recalques diferenciais da estrutura, sendo que estes interferem diretamente sobre o comportamento da edificação

quando submetida às cargas de utilização. Isto modifica os caminhos tomados pelas cargas e as tensões que atuam no elemento estrutural, podendo ocasionar avaliações pouco eficientes para determinada situação.

Em adição, o autor Goshy (1978), constatou que a rigidez da estrutura é afetada pelo número de pavimentos a serem construídos, ou seja, à medida que ela vai sendo carregada a rigidez aumenta. Porém, Gusmão e Gusmão Filho (1994) e Gusmão Filho (1995), identificaram que existe um limite de rigidez relacionada com o aumento do número de pavimentos que influenciam na redistribuição das cargas no apoio. Dessa forma, ao ultrapassar esse limite, os valores dos deslocamentos e das reações crescem, mas seguem uma mesma distribuição.

O projeto desenvolvido considerando a interação solo-estrutura tem como fator complicador a determinação do maciço de solo, pois, como salienta Aoki (1997, p.238):

O maciço de solos é um sistema de enorme variabilidade e, devido à sua formação natural, constitui um contínuo único e complexo, local ou regional, composto por elementos com formas, materiais e propriedades mais variadas.

Em contraponto, as estruturas pertencentes à fundação e a edificação, por serem feitas com materiais artificiais cujas características podem ser determinadas, o comportamento destas quando submetidas a carregamentos externos podem ser simulados.

Sendo assim, diversos modelos de análise são construídos a fim de determinar essa relação, sendo o mais acurado, segundo Scarlat (1993), o modelo tridimensional englobando as três partes primordiais do sistema, ou seja, seria o estudo considerando as características de todos os elementos ao mesmo tempo. Isso se mostra um método muito complexo, pois, além de exigir um grande processamento computacional, os estudos referentes ao maciço deveriam ser muito aprofundados e, mesmo sendo feito cuidadosamente, ainda não seria totalmente fiel.

Consequentemente, os modelos são pensados simulando o comportamento do solo, onde esse é substituído por um conjunto de molas, obtidos pela relação entre as cargas solicitantes e os deslocamentos obtidos a partir de um ensaio de placas.

3 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com um único molde de edifício variando do 4º pavimento até chegar ao 12º. Foram feitos dois modelos, variando somente em relação ao tipo de apoio

(rígido e elástico). Para realizar a análise dos edifícios e obter os resultados, pelo Método dos Elementos Finitos – MEF, utilizaram-se diferentes tipos de combinações de cargas com o uso do programa SAP2000.

3.1 SOFTWARES UTILIZADOS

Software AutoCAD – Computer Aided Design

É um programa que possui diversas ferramentas que auxiliam na criação de projetos em duas ou três dimensões. Neste trabalho, será utilizado para produzir a planta baixa e sua estrutura (pavimento tipo) em 3D com seus respectivos vãos (portas e janelas). Essa estrutura será exportada para o programa SAP2000, onde foram realizadas as análises.

Software SAP2000 – Structural Anlysis Program

Programa de elementos finitos, que possui uma interface gráfica em 3D e é capaz de realizar a modelação, análise e dimensionamento de diversos tipos de estrutura. Também consegue calcular o peso próprio da estrutura, a partir dos dados disponíveis pelo usuário, e inserir na análise final dos esforços.

Software Microsoft Office Excel

Utilizado principalmente para a elaboração e edição de planilhas, no presente trabalho foi empregado na produção das tabelas e gráficos observados no decorrer do texto, sendo indispensável na produção dos resultados.

3.2 HARDWARE UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DAS ESTRUTURAS

No desenvolvimento do trabalho foi utilizado dois computadores, um SAMSUNG com processador Intel (R) Core™ i3- 3110M CPU @ 2.40 GHz 2.40 GHz, 4 GB de memória (RAM) e sistema operacional de 64 bits, e um AVELL que possui processador Intel (R) Core™ i7- 7700HQ CPU @ 2.80 GHz 2.80 GHz, 32 GB de memória (RAM) e sistema operacional de 64 bits.

3.3 EDIFÍCIO MODELO

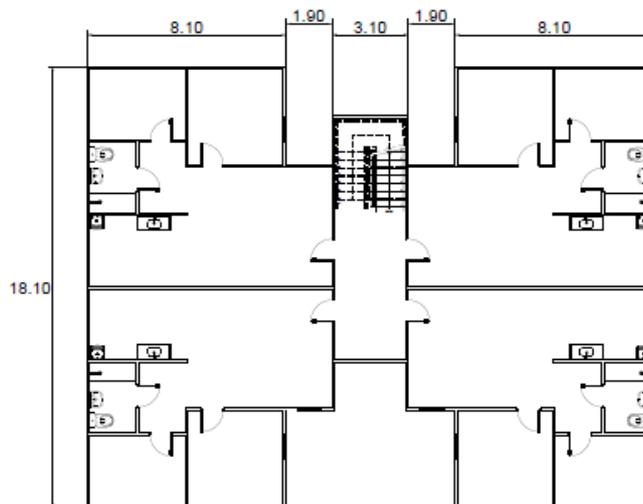
Para a modelagem do edifício, primeiramente definiu-se o modelo de pavimento apresentado na Figura 1, que de forma simplificada simula modelos reais, possuindo paredes

que possuem vãos referentes às janelas e portas. Esses vãos viabilizam a redistribuição de cargas que são resultantes do peso próprio da estrutura.

Primordialmente, foi estabelecido diversos fatores referentes ao edifício, o pé-direito (altura entre as lajes) escolhido foi de 2,50 metros (m), nas paredes utilizou-se a espessura de 5 centímetros (cm), onde o próprio programa (SAP 2000) realiza a correção da inércia. Nas lajes, a espessura escolhida foi de 10 cm. A fundação determinada para o prédio é o radier estaqueado retangular com 20 cm de espessura e 50 cm de borda, no qual o primeiro pavimento está diretamente apoiado e não há contribuição do solo abaixo do radier.

O pavimento tipo contém quatro apartamentos e um corredor com acesso a escada. Cada apartamento possui 66 metros quadrados, e pode-se observar a presença de dois quartos, um banheiro, um hall, uma sala e uma cozinha compartilhada com uma área de serviço. A planta baixa do pavimento tipo é representada na Figura 1.

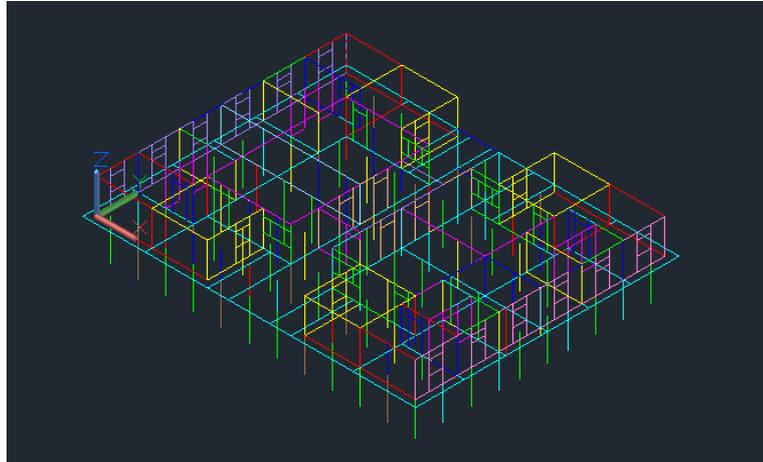
Figura 1. Planta Baixa do Edifício Modelo (dimensões em metro).



Fonte: AUTOR (2020)

A modelagem do primeiro pavimento é realizada no software AutoCad , onde é projetada a planta baixa e conseqüentemente gera-se as paredes, a laje e o radier com suas respectivas estacas (Figura 2).

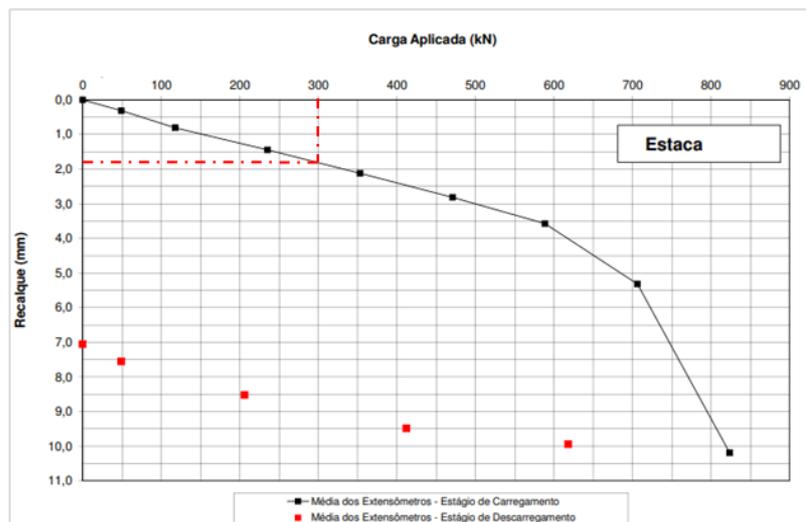
Figura 2. Edifício Modelo modelado no software AutoCad.



Fonte: AUTOR (2020)

De acordo com um ensaio de prova de carga realizado no Distrito Federal, foi obtido o gráfico carga aplicada x recalque, como é demonstrado abaixo na Figura 3. Esse gráfico é de grande importância para a definição do número de estacas necessárias para um edifício. Os valores acima de 600 kN de carga aplicada foram desprezados, considerando assim um gráfico com resultado linear.

Figura 3. Gráfico Carga Aplicada x Recalque

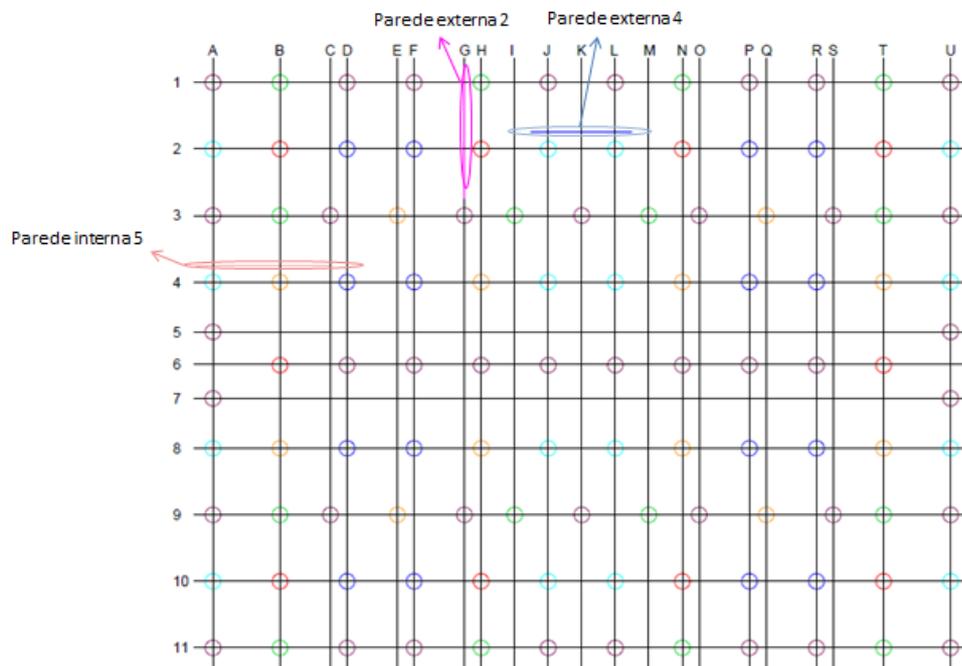


Fonte: AUTOR (2020)

No caso do estudo apresentado, dado essa prova de carga, conclui-se que as estacas conseguem trabalhar até atingir 600 kN, porém com o aumento do número de pavimentos, essas estacas ultrapassaram o limite possível, sendo necessário um acréscimo na quantidade para que assim o limite de 600 kN não fosse atingido.

Na Figura 4, é apresentada a forma como foi realizado o acréscimo do número de estacas à medida que aumentava o número de pavimentos. Inicialmente, para 4 pavimentos, as estacas necessárias estão representadas pelas estacas “A”, ao acrescentar mais um pavimento, já foi preciso acrescentar as “B” e assim sucessivamente, como é mostrado na legenda.

Figura 4. Local das estacas em relação às paredes analisadas.



LEGENDA

- (A) Estacas - modelo com 4 pavimentos
- (B) Estacas para acrescentar modelo com 5 e 6 pavimentos
- (C) Estacas para acrescentar modelo com 7 pavimentos
- (D) Estacas para acrescentar modelo com 8 pavimentos
- (E) Estacas para acrescentar modelo com 9 e 10 pavimentos
- (F) Estacas para acrescentar modelo com 10 e 11 pavimentos

Tabela 1. Quantidade de pavimentos relacionada ao número de estacas.

QUANT. DE PAVIMENTOS	Nº DE ESTACAS
4 PAVIMENTOS	42
5 PAVIMENTOS	52
6 PAVIMENTOS	52
7 PAVIMENTOS	64
8 PAVIMENTOS	80
9 PAVIMENTOS	96
10 PAVIMENTOS	96
11 PAVIMENTOS	112
12 PAVIMENTOS	112

Fonte: AUTOR (2020)

3.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS MATERIAIS

Após a modelagem ser realizada no AutoCAD, o pavimento tipo é importado para o software SAP 2000 onde as espessuras definidas para paredes, laje e radier são inseridas em conjunto com as propriedades físicas dos materiais estabelecidas para o modelo. Também foi determinado que as estacas possuíssem 12 m de comprimento e 40 cm de diâmetro.

Nas Tabelas 2 e 3 contém os valores adotados referentes às características dos materiais que constituem o edifício estudado.

Tabela 2. Propriedades físicas da alvenaria de blocos de concreto.

Alvenaria de Blocos de Concreto		
Coefficiente de Poisson (ν)	Peso específico (γ)	Módulo de Elasticidade
0,2	24 kN/m ³	25 000 Mpa

Fonte: AUTOR (2020)

Tabela 3. Propriedades físicas do concreto do radier, lajes e estacas.

Concreto do Radier, Lajes e Estacas			
Coefficiente de Poisson (ν)	Resistência à Compressão do Concreto	Peso específico (γ)	Módulo de Elasticidade
0,2	20 Mpa	24 kN/m ³	22 000 Mpa

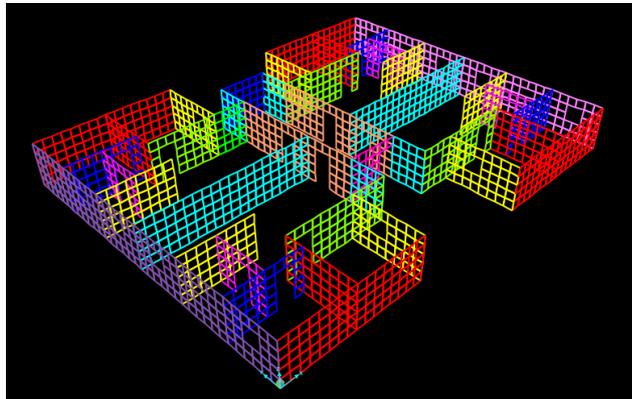
Fonte: AUTOR (2020)

3.5 MODELAGEM NUMÉRICA DO SISTEMA ESTRUTURAL

Logo após definir as características físicas das materiais presentes no edifício, o modelo inicial produzido no AutoCad é importado para o programa SAP 2000, e pelo Método dos Elementos Finitos – MEF a modelagem é finalizada para que assim possa se obter os resultados.

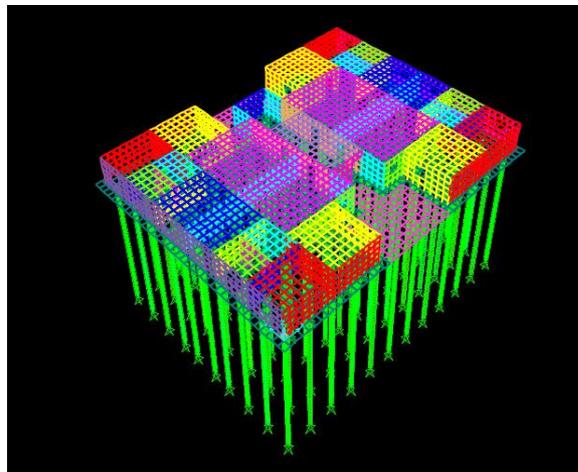
Para a construção das paredes, laje e radier, referentes ao primeiro pavimento importado do AutoCad, é usado o elemento de casca SHELL. Em seguida é feita a divisão para formar a malha de elementos finitos, que para assegurar a compatibilidade entre os nós foi definida uma dimensão de 50x50 cm. Os pavimentos superiores são feitos copiando o pavimento tipo e acrescentado logo acima do anterior, como indicado nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5. Modelagem do 1º pavimento no Software SAP 2000.



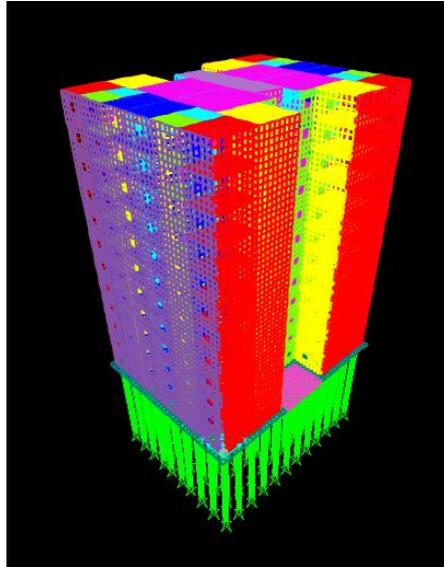
Fonte: AUTOR (2020)

Figura 6. Modelagem do 1º pavimento no Software SAP 2000.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 7. Modelagem do edifício com 12 pavimentos no Software SAP 2000.



Fonte: AUTOR (2020)

Usualmente são utilizados dois tipos de modelagem numérica, a micro-modelagem e a macro-modelagem. Na micro, os componentes geralmente aplicados na construção de estruturas em alvenaria estrutural (bloco e argamassa, por exemplo) são modelados individualmente, tendo cada um suas particularidades. Já na macro-modelagem, técnica escolhida para esse estudo, o bloco e a argamassa são considerados como um único elemento com propriedades homogêneas, sendo essa técnica aplicada para análises gerais em estruturas.

3.6 AÇÕES

Antes de calcular as ações que seriam introduzidas no modelo estudado, foi definido que o edifício estaria localizado no Distrito Federal, pois esse é um fator crucial para a determinação das ações ocasionadas pelo vento, como será apresentado abaixo. Os três tipos de ações inseridas no edifício modelado foram as permanentes (D), as variáveis (L) e a do vento (W).

Ações Permanentes (D)

De acordo com a norma ABNT - NBR 6120/19, são ações que praticamente não variam durante a vida da edificação. Portanto, se refere ao peso próprio da estrutura, que no presente estudo é calculado e lançado diretamente pelo software SAP 2000.

O peso específico do concreto utilizado é de 2403 daN/m^3 , e para compor o peso próprio da estrutura, foi admitido um valor de 100 daN/m^2 referente ao peso da argamassa em conjunto com o revestimento das lajes.

Ações Variáveis (L)

Essas ações, normalmente, são ocasionadas pelo uso e ocupação das construções, e conforme a norma ABNT – NBR 6120/19, elas demonstram variações durante a vida da edificação. Para os dormitórios e salas foi utilizada a sobrecarga de 150 daN/m^2 e para área de serviço de 200 daN/m^2 , o que é prescrito na NBR 6120 (ABNT, 2019). Porém, foi escolhido acrescentar 50 daN/m^2 , no valor dado pela NBR referida anteriormente, para a cozinha e banheiro, ficando assim com 200 daN/m^2 de sobrecargas nessas áreas.

Ações do Vento (W)

Conforme a NBR 6123/88, os seguintes coeficientes para determinação dos esforços causados pelo vento são:

(a) Velocidade Básica do Vento (V_0)

De acordo com a NBR 6123 (1988, p. 2), é a “velocidade de uma rajada de 3 s, excedida na média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano.” (NBR 6123 1988, p. 2). No modelo estudado, de acordo com a norma, foi considerado uma velocidade $V_0 = 35 \text{ m/s}$ referente a edifícios localizados no Distrito Federal.

(b) Fator Topográfico (S_1)

Seu valor depende do tipo de superfície do terreno, pois levam em consideração as grandes variações existentes. Com isso, sabendo que no Distrito Federal o terreno é plano, o valor adotado foi de $S_1 = 1,0$.

(c) Rugosidade do Terreno, Dimensões da Edificação e Altura Sobre o Terreno (S_2)

A NBR 6123 (1988, p.8) relata que “o fator S_2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação de velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação em consideração.”.

Definido que o edifício está localizado em subúrbios densamente construídos de grandes cidades, sua categoria, de acordo com a norma, é a IV. E por sua maior dimensão estar entre 20 metros e 50 metros, esse modelo se torna pertencente à classe B. Essas categorias são fundamentais para definir os valores usados no cálculo de S_2 demonstrado abaixo:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^p, \quad (01)$$

onde b e p são parâmetros tabelados encontrados na NBR 6123/88, F_r é o fator de rajada e z é a altura do galpão. Dessa forma, utilizando $b = 0,85$, $p = 0,125$ e $F_r = 1$, tem-se os valores de S_2 (conforme tabela 4) relacionados com a altura dos pavimentos.

Tabela 4. Fator S_2 .

z (m)	S_2
1º PAVIMENTO ($z = 2,5$)	0,71
2º PAVIMENTO ($z = 5$)	0,78
3º PAVIMENTO ($z = 7,5$)	0,82
4º PAVIMENTO ($z = 10$)	0,85
5º PAVIMENTO ($z = 12,5$)	0,87
6º PAVIMENTO ($z = 15$)	0,89
7º PAVIMENTO ($z = 17,5$)	0,91
8º PAVIMENTO ($z = 20$)	0,93
9º PAVIMENTO ($z = 22,5$)	0,94
10º PAVIMENTO ($z = 25$)	0,95
11º PAVIMENTO ($z = 27,5$)	0,96
12º PAVIMENTO ($z = 30$)	0,98

Fonte: AUTOR (2020)

(d) Fator Estatístico (S_3)

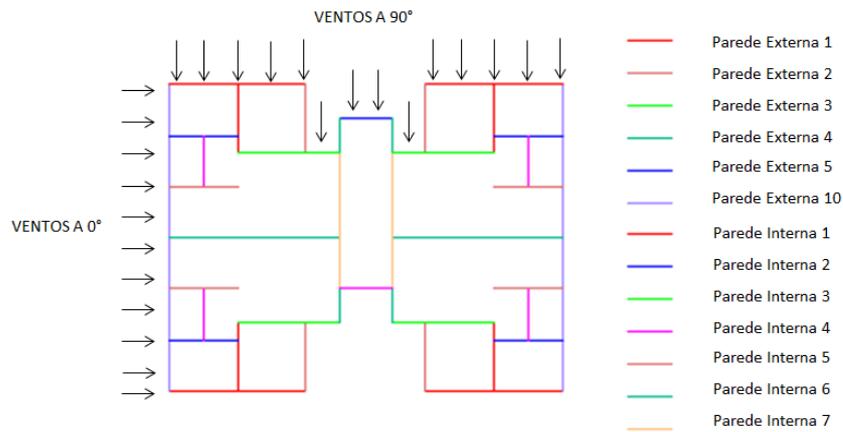
Esse fator é referente ao grau de segurança requerido e a vida útil de 50 anos para a edificação. Para o estudo foi definido que seria um prédio residencial, portanto pela norma o fator S_3 é igual a 1,0.

Portanto, a partir dos coeficientes especificados anteriormente, se calcula a velocidade característica do vento ($V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$) e a pressão dinâmica ($q = 0,613 \cdot V_k^2$). Ao realizar a operação de multiplicação da pressão dinâmica pela área da parede que o vento está sendo aplicado, é calculado o esforço causado pelo vento (F) naquela área específica.

No SAP 2000, esse esforço é dividido pelo número de nós existentes no encontro entre

os pavimentos e inserido nesses mesmos nós. Os ventos a 90° e a 0° foram inseridos da seguinte maneira como mostra a Figura 8, a qual também exibe a nomenclatura adotada para as paredes.

Figura 8. Nomenclatura das paredes e atuação dos ventos.



Fonte: AUTOR (2020)

3.7 COMBINAÇÕES

Para se aproximar de situações reais, utilizando fatores de majoração indicado pelas normas existentes, é necessário criar combinações das ações explicadas anteriormente. Dessa forma, as que foram escolhidas para a geração dos resultados neste trabalho foram:

1,2D + 1,4L	1,2D + 1,4L + W (90°)	1,2D + 1,4L + W (0°)
0,9D	0,9D + 1,6W (90°)	0,9D + 1,6W (0°)
1,2D + L	1,2D + L + 1,4W (90°)	1,2D + L + 1,4W (0°)
1,4D + 1,4L	1,4D + 1,4L + W (90°)	1,4D + 1,4L + W (0°)

Além disso, utilizaram-se combinações de serviço, a fim de obter os deslocamentos sofridos pela estrutura em serviço, sendo eles:

D + L	D + L + 0,6W (90°)	D + L + 0,6W (0°)
	D + 0,8L + W (90°)	D + 0,8L + W (90°)

3.8 MODELOS ESTUDADOS

Utilizando a mesma planta baixa, diferenciando-se apenas entre o número de pavimentos e estacas, foram feitos dois modelos para cada pavimento citado anteriormente, sendo diferenciados pela maneira que o solo influencia em sua estrutura. Nesses modelos citados abaixo, não foram considerado o atrito lateral das estacas.

Modelo 1: Apoio Rígido

No primeiro modelo, as estacas estão totalmente apoiadas, portanto sobre um apoio rígido. Nesse caso, não se considera a influência do solo no apoio, sendo comumente usado nas análises de estrutura por ser um modelo mais simples.

Modelo 2: Apoio Elástico

Já no modelo 2, a base não será considerada rígida e o solo terá influência, pois seu coeficiente de rigidez será considerado nos pontos de apoios localizados no final de cada estaca, onde serão introduzidas molas.

Para aplicar esse modelo no SAP 2000, primeiramente foi calculado, fazendo a divisão da carga aplicada pelo recalque obtido, o coeficiente de rigidez do solo através do gráfico já apresentado anteriormente (Figura 3). Com isso, para representar o solo é utilizado um conjunto de molas adicionadas nas pontas das estacas. Sendo assim, o valor utilizado para o coeficiente de mola, o qual representa o solo, neste trabalho foi de 167 kN/mm.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

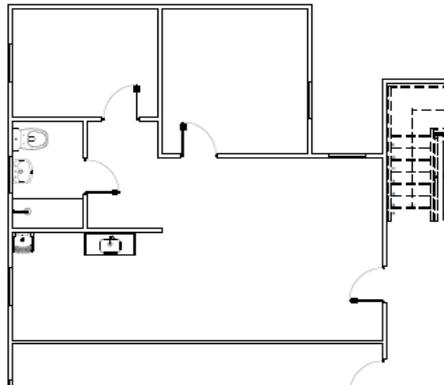
A análise dos resultados obtidos a partir do estudo e modelagem do edifício de alvenaria estrutural, considerando a fundação em radier estaqueado e variando o apoio entre elástico e rígido. Com o intuito de apresentar os dados de forma organizada e condizente com os objetivos, a apresentação e discussão se dividirão em tópicos, resumidos abaixo:

- a) Paredes externas;
- b) Paredes internas;
- c) Radier;
- d) Laje do 4º Pavimento;
- e) Deslocamentos.

a) Paredes Externas

O estudo das paredes externas se deu em um módulo da edificação, como demonstrado na Figura 9, pois se trata de uma edificação simétrica, o que resulta em uma distribuição semelhante de tensões nas paredes opostas.

Figura 9. Módulo da edificação.



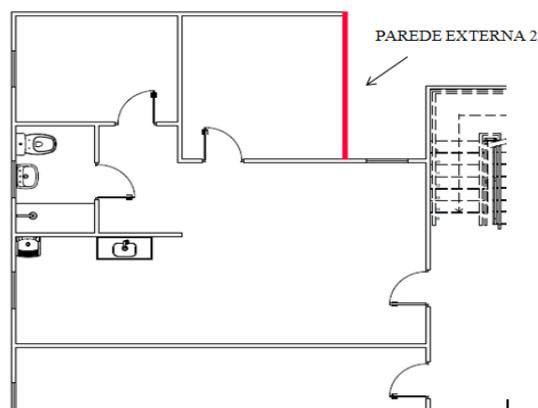
Fonte: AUTOR (2020)

O comportamento apresentado pelas paredes externas foi muito semelhante e, por isso, escolheu-se as paredes externas 2 e 4 para representar e descrever esta situação.

Parede externa 2

A parede externa 2 possui em sua composição uma abertura referente a uma janela e está localizada em uma reentrância, como demonstrado na Figura 10.

Figura 10. Parede Externa 2.



Fonte: AUTOR (2020)

Ao analisá-la considerando os diferentes números de pavimentos, as diferentes combinações estabelecidas, aliando ou não a atuação dos ventos e as diferentes formas de apoio obteve-se os resultados da Tabela 5.

Tabela 5. Tensões da Parede Externa 2 (daN/cm²).

COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			PAVIMENTOS
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 12,87	- 12,63	- 12,91	- 17,12	- 16,84	- 17,18	4
0,9 D	- 7,13	- 6,73	- 7,19	- 9,52	- 9,06	- 9,60	
1,2 D + L	- 11,91	- 11,56	- 11,96	- 15,86	- 15,45	- 15,93	
1,4 D + 1,4 L	- 14,46	- 14,21	- 14,50	- 19,24	- 18,95	- 19,29	5
1,2 D + 1,4 L	- 11,43	- 11,16	- 11,53	- 16,00	- 15,66	- 16,11	
0,9 D	- 6,14	- 5,71	- 6,31	- 8,71	- 8,17	- 8,89	
1,2 D + L	- 10,50	- 10,12	- 10,65	- 14,74	- 14,27	- 14,90	6
1,4 D + 1,4 L	- 12,80	- 12,52	- 12,90	- 17,93	- 17,60	- 18,04	
1,2 D + 1,4 L	- 13,82	- 13,44	- 13,95	- 19,25	- 18,76	- 19,39	
0,9 D	- 7,46	- 6,84	- 7,67	- 10,50	- 9,72	- 10,72	7
1,2 D + L	- 12,71	- 12,17	- 12,90	- 17,75	- 17,07	- 17,94	
1,4 D + 1,4 L	- 15,48	- 15,09	- 15,61	- 21,58	- 21,10	- 21,72	
1,2 D + 1,4 L	- 13,63	- 13,12	- 13,81	- 18,52	- 17,88	- 18,71	8
0,9 D	- 7,28	- 6,47	- 7,57	- 16,06	- 8,98	- 10,30	
1,2 D + L	- 12,51	- 11,80	- 12,76	- 17,04	- 16,29	- 17,30	
1,4 D + 1,4 L	- 15,25	- 14,74	- 15,42	- 20,74	- 20,11	- 20,93	9
1,2 D + 1,4 L	- 11,31	- 10,71	- 11,50	- 15,15	- 14,44	- 15,36	
0,9 D	- 5,90	- 4,94	- 6,22	- 8,01	- 6,87	- 8,34	
1,2 D + L	- 10,33	- 9,49	- 10,60	- 13,87	- 12,87	- 14,16	10
1,4 D + 1,4 L	- 12,62	- 12,02	- 12,81	- 16,93	- 16,22	- 17,14	
1,2 D + 1,4 L	- 9,97	- 9,35	- 10,25	- 13,45	- 12,69	- 13,72	
0,9 D	- 5,10	- 4,11	- 5,56	- 6,99	- 5,79	- 7,45	11
1,2 D + L	- 9,06	- 8,20	- 9,46	- 12,27	- 11,21	- 12,66	
1,4 D + 1,4 L	- 11,10	- 10,48	- 11,38	- 15,00	- 14,24	- 15,28	
1,2 D + 1,4 L	- 11,31	- 10,53	- 11,63	- 15,16	- 14,22	- 15,48	11
0,9 D	- 5,83	- 4,61	- 6,37	- 7,94	- 6,43	- 8,47	
1,2 D + L	- 10,30	- 9,22	- 10,76	- 13,86	- 12,53	- 14,31	
1,4 D + 1,4 L	- 12,60	- 11,83	- 12,92	- 16,93	- 15,98	- 17,25	11
1,2 D + 1,4 L	- 95,49	- 88,81	- 96,77	- 101,54	- 94,83	- 102,23	
0,9 D	- 53,63	- 42,96	- 55,68	- 56,85	- 46,11	- 57,96	
1,2 D + L	- 88,63	- 79,29	- 90,43	- 94,19	- 84,79	- 95,15	11
1,4 D + 1,4 L	- 107,40	- 100,73	- 108,68	- 114,18	- 107,46	- 114,86	

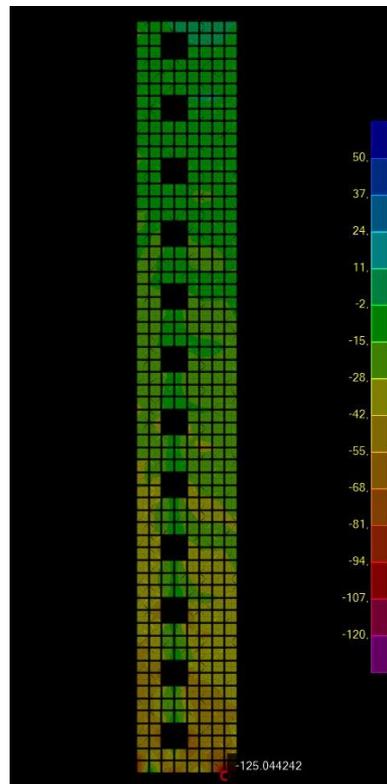
1,2 D + 1,4 L	- 104,11	- 97,29	- 105,38	- 110,62	- 103,76	- 111,30	12
0,9 D	- 58,38	- 47,48	- 60,42	- 61,86	- 50,89	- 62,94	
1,2 D + L	- 96,60	- 87,07	- 98,38	- 102,58	- 92,98	- 103,53	
1,4 D + 1,4 L	- 117,08	- 110,27	- 118,35	- 124,37	- 117,51	- 125,04	

Fonte: AUTOR (2020)

Ao observar os valores obtidos para as diversas combinações e para os diferentes pavimentos, percebe-se que os maiores valores se deram para as combinações 1,4 D + 1,4 L, variando entre a influência do vento ou não. Esse fato se repete para todas as outras paredes do conjunto.

O maior valor encontrado para essa parede foi de -125,04 daN/cm², ocorrendo para a combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0°), apoio elástico e está localizado conforme a Figura 11.

Figura 11. Tensão máxima em daN/cm².

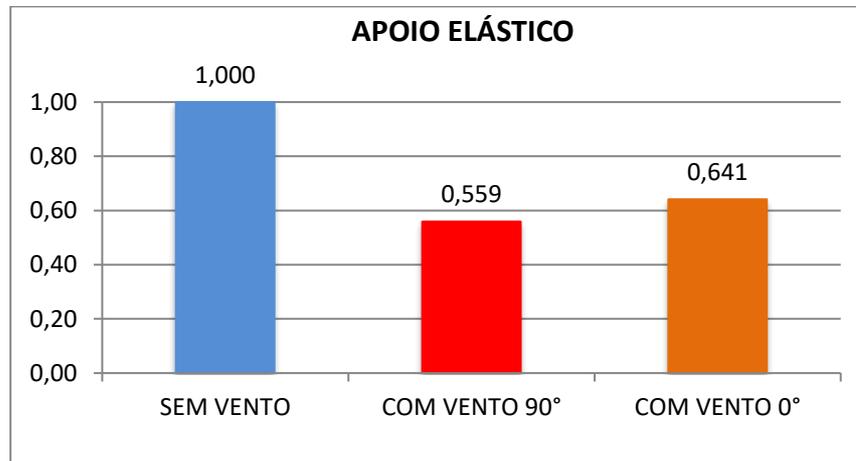


Fonte: AUTOR (2020)

Na Figura 11 nota-se que houveram picos nos cantos da parede, porém, o maior valor ainda se localiza perto do canto inferior direito.

Como a diferença observada entre as tensões com apoio rígido e apoio flexível foi muito pequena, realizou-se uma comparação para verificar qual foi a influência do vento para cada modelo. Sendo assim, a maior diferença dentre os valores obtidos para essa parede, deu-se para a combinação 0,9 D para o modelo com 7 pavimentos, com uma diferença de 44,08% entre a tensão sem vento e a tensão com vento a 90° valor considerando o apoio como elástico, como demonstra o Figura 12.

Figura 12. Gráfico diferença entre as tensões.



Fonte: AUTOR (2020)

A fim de verificar como evoluem as tensões à medida que o número de pavimentos aumenta, organizou-se os valores obtidos para os casos relacionados à combinação 1,4 D + 1,4 L, tanto do apoio rígido quanto do apoio elástico, como demonstrado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Maiores Tensões para 1,4 D + 1,4 L – Apoio rígido (daN/cm²).

Pavimentos	Apoio Rígido		
	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	- 14,46	- 14,21	- 14,50
5	- 12,80	- 12,52	- 12,90
6	- 15,48	- 15,09	- 15,61
7	- 15,25	- 14,74	- 15,42
8	- 12,62	- 12,02	- 12,81
9	- 11,10	- 10,48	- 11,38
10	- 12,60	- 11,83	- 12,92
11	- 107,40	- 100,73	- 108,68
12	- 117,08	- 110,27	- 118,35

Fonte: AUTOR (2020)

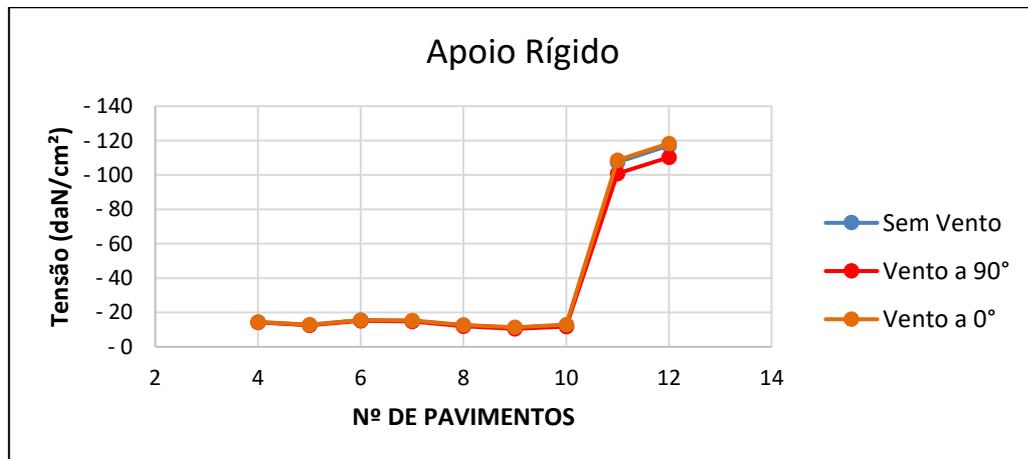
Tabela 7. Maiores Tensões para 1,4 D + 1,4 L – Apoio elástico (daN/cm²).

Apoio Elástico			
Pavimentos	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	- 19,24	- 18,95	- 19,29
5	- 17,93	- 17,60	- 18,04
6	- 21,58	- 21,10	- 21,72
7	- 20,74	- 20,11	- 20,93
8	- 16,93	- 16,22	- 17,14
9	- 15,00	- 14,24	- 15,28
10	- 16,93	- 15,98	- 17,25
11	- 114,18	- 107,46	- 114,86
12	- 124,37	- 117,51	- 125,04

Fonte: AUTOR (2020)

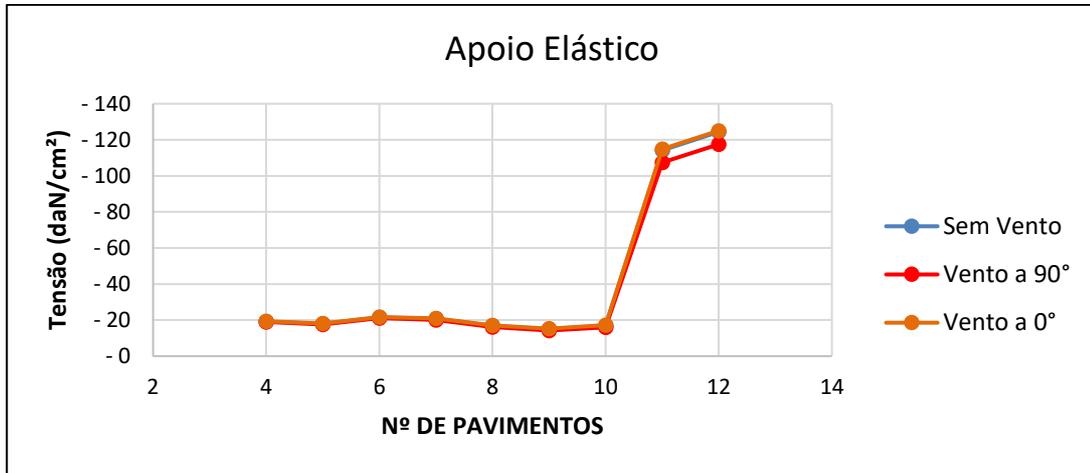
A partir das Tabelas 6 e 7, foi possível comparar como foi a evolução da tensão para cada situação de carregamento, com vento e sem vento, o que permitiu verificar a real influência do vento dentro do modelo. Essa comparação é observada nos Figuras 13 e 14, para os apoios rígido e flexível, respectivamente.

Figura 13. Gráfico Tensão x N° de pavimentos – Apoio rígido.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 14. Gráfico Tensão x N° de pavimentos – Apoio elástico.

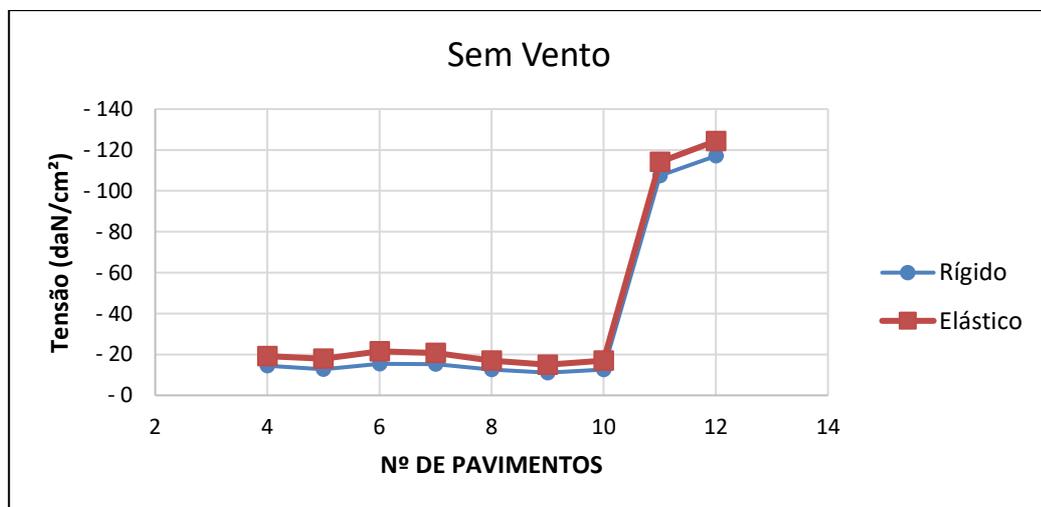


Fonte: AUTOR (2020)

Com isso é possível perceber que o vento não influi de forma considerável nas tensões que atuam na edificação. Após o acréscimo das estacas (ver figura 4) foi verificado um aumento significativo das tensões (88%) na parede, já que a estrutura abaixo da parede se tornou mais rígida.

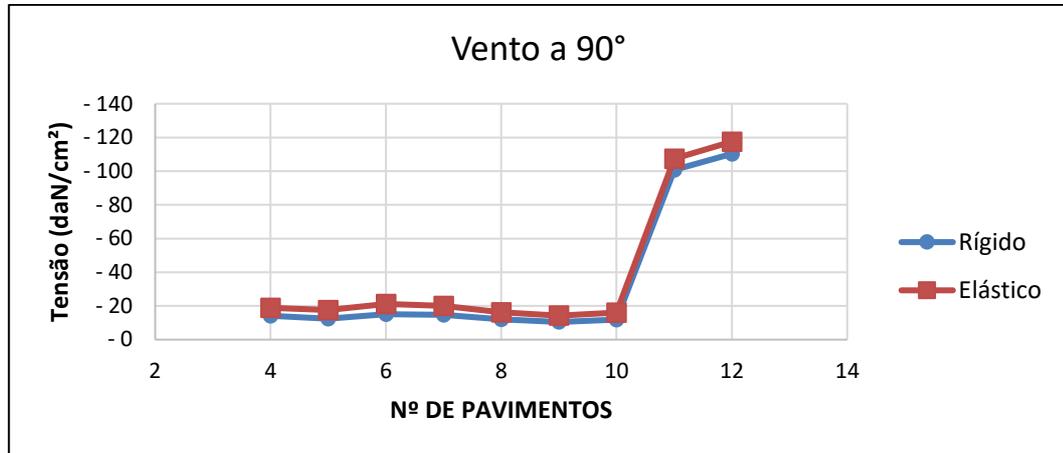
Dessa forma, a última análise realizada para a parede foi verificar as diferenças entre cada um dos esforços dependendo da forma como eles se apoiam no solo. Isso pode ser observado nos Figuras 15, 16 e 17, para os casos sem vento, vento a 90° e vento a 0°, respectivamente.

Figura 15. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Sem Vento.



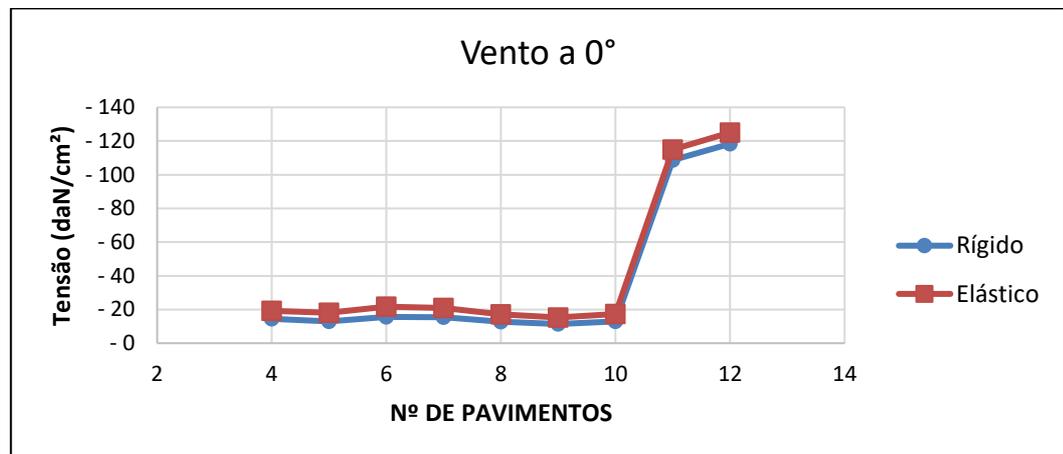
Fonte: AUTOR (2020)

Figura 16. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 90°.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 17. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 0°.



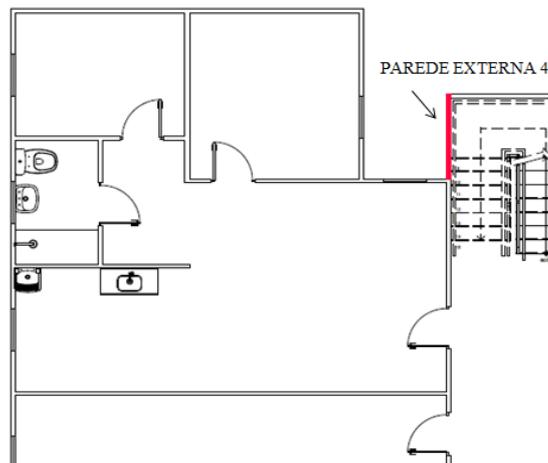
Fonte: AUTOR (2020)

Nota-se com as Figuras 15, 16 e 17 que os valores das tensões para o modelo com apoio elástico são ligeiramente mais altos do que os valores relativos ao modelo com apoio indeslocável, sendo a diferença entre os valores de 25%.

Parede Externa 4

A parede externa 4 não possui abertura e se localiza perto do bloco central da edificação, como demonstra a Figura 18.

Figura 18. Parede externa 4.



Fonte: AUTOR (2020)

As tensões atuantes na parede externa 4, considerando as diferentes situações de carregamento, com e sem vento, além do avanço no número de pavimentos e os diferentes apoios dos modelos, foram organizados em uma tabela assim como a parede externa 2, obtendo-se a Tabela 8.

Tabela 8. Tensões na parede externa 4 (daN/cm²).

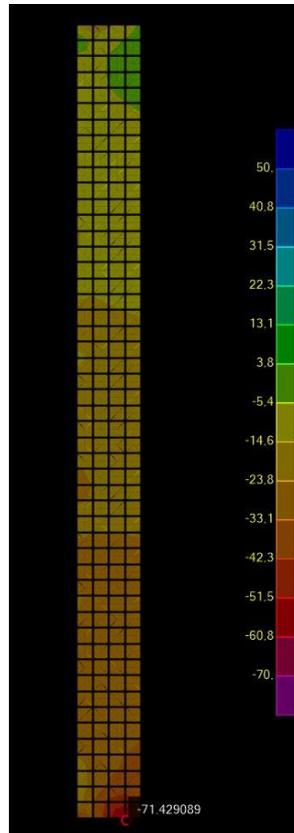
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			PAVIMENTOS
	SEM	COM	COM	SEM	COM	COM	
	VENTO	VENTO	VENTO	VENTO	VENTO	VENTO	
		90°	0°		90°	0°	
1,2 D + 1,4 L	4,68	4,77	4,6	6,11	6,19	6,01	4
0,9 D	2,82	2,95	2,7	3,65	3,77	3,49	
1,2 D + L	4,42	4,54	4,31	5,76	5,87	5,62	
1,4 D + 1,4 L	5,31	5,4	5,23	6,92	7,01	6,83	5
1,2 D + 1,4 L	4,05	4,14	3,92	5,45	5,53	5,3	
0,9 D	2,43	2,57	2,22	3,23	3,35	2,99	
1,2 D + L	3,82	3,95	3,63	5,12	5,23	4,91	6
1,4 D + 1,4 L	4,59	4,68	4,46	6,17	6,24	6,02	
1,2 D + 1,4 L	4,76	4,82	4,6	6,43	6,47	6,25	
0,9 D	2,82	2,91	2,56	3,77	3,82	3,47	
1,2 D + L	4,48	4,56	4,24	6,03	6,08	5,77	
1,4 D + 1,4 L	5,39	5,45	5,22	7,27	7,31	7,09	

1,2 D + 1,4 L	4,78	4,79	4,59	6,33	6,3	6,11	7
0,9 D	2,81	2,81	2,5	3,68	3,63	3,32	
1,2 D + L	4,49	4,5	4,22	5,92	5,89	5,61	
1,4 D + 1,4 L	5,41	5,42	5,22	7,14	7,12	6,93	
1,2 D + 1,4 L	4,98	4,94	4,76	6,38	6,3	6,13	8
0,9 D	2,91	2,82	2,55	3,69	3,56	3,28	
1,2 D + L	4,66	4,6	4,36	5,96	5,86	5,61	
1,4 D + 1,4 L	5,62	5,58	5,41	7,19	7,12	6,95	
1,2 D + 1,4 L	- 56,97	- 54,70	- 57,38	- 45,12	- 43,58	- 45,53	9
0,9 D	- 32,37	- 28,75	- 33,04	- 25,71	- 23,25	- 26,37	
1,2 D + L	- 53,02	- 49,85	- 53,60	- 42,02	- 39,86	- 42,60	
1,4 D + 1,4 L	- 64,16	- 61,89	- 64,58	- 50,83	- 49,29	- 51,24	
1,2 D + 1,4 L	- 63,03	- 60,34	- 63,49	- 49,76	- 47,96	- 50,22	10
0,9 D	- 35,71	- 31,42	- 36,46	- 28,26	- 25,40	- 29,01	
1,2 D + L	- 58,62	- 54,86	- 59,28	- 46,31	- 43,80	- 46,96	
1,4 D + 1,4 L	- 70,96	- 68,27	- 71,43	- 56,04	- 54,24	- 56,50	
1,2 D + 1,4 L	- 53,09	- 50,38	- 53,60	- 40,51	- 38,87	- 41,07	11
0,9 D	- 29,96	- 25,63	- 30,79	- 22,91	- 20,32	- 23,82	
1,2 D + L	- 49,33	- 45,54	- 50,06	- 38,27	- 35,38	- 38,45	
1,4 D + 1,4 L	- 59,75	- 57,04	- 60,26	- 45,60	- 43,96	- 46,16	
1,2 D + 1,4 L	- 57,79	- 55,03	- 58,32	- 43,99	- 42,32	- 44,54	12
0,9 D	- 32,55	- 28,14	- 33,40	- 24,83	- 22,18	- 25,73	
1,2 D + L	- 53,68	- 49,81	- 54,41	- 40,88	- 38,55	- 41,66	
1,4 D + 1,4 L	- 65,03	- 62,26	- 65,55	- 49,51	- 47,84	- 50,06	

Fonte: AUTOR (2020)

Ao observar a Tabela 8 é possível notar que os maiores valores de tensão se dão para as combinações 1,4 D + 1,4 L, assim como ocorreu na parede externa 2. Além disso, é possível perceber que houve uma inversão de sinal no local mais solicitado ao analisar o modelo com 8 pavimentos e o com 9 pavimentos. Dessa forma, em um local onde antes atuavam esforços de tração, passam a atuar esforços de compressão.

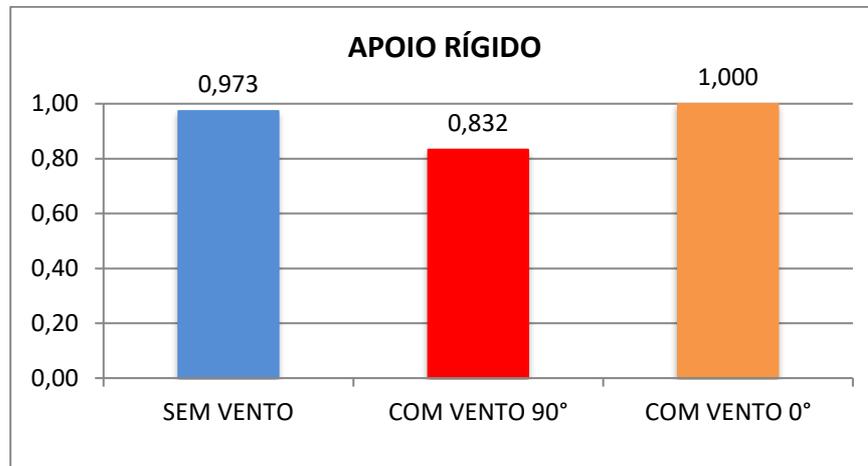
O maior valor -71,43 daN/cm² foi observado no modelo com 10 pavimentos ao ser submetido a combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0°), considerando o apoio rígido e ocorreu no local apresentado na Figura 19.

Figura 19. Tensão máxima em daN/cm².

Fonte: AUTOR (2020)

Além disso, nota-se que os valores obtidos para os apoios rígidos e flexíveis não divergem muito, assim como ocorreu para a parede anterior. Dessa forma, buscou-se verificar o efeito do vento considerando os diversos carregamentos e observou-se que a maior diferença se deu no modelo com 11 pavimentos com apoio rígido considerando a combinação 0,9 D. A diferença obtida foi de 16,76% entre o valor com vento a 0° e o com vento a 90°, como pode ser percebido na Figura 20.

Figura 20. Gráfico diferença entre as tensões.



Fonte: AUTOR (2020)

A evolução das tensões com o aumento do número de pavimentos ocorreu de forma idêntica a parede externa 2, em que se considerou o avanço das tensões em um mesmo ponto da edificação. Os valores das tensões, levando em conta a combinação mais solicitante e disposta para cada um dos apoios, podem ser observados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9. Maiores tensões para 1,4 D + 1,4 L - Apoio rígido (daN/cm²).

Pavimentos	Apoio Rígido		
	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	5,31	5,40	5,23
5	4,59	4,68	4,46
6	5,39	5,45	5,22
7	5,41	5,42	5,22
8	5,62	5,58	5,41
9	- 64,16	- 61,89	- 64,58
10	- 70,96	- 68,27	- 71,43
11	- 59,75	- 57,04	- 60,26
12	- 65,03	- 62,26	- 65,55

Fonte: AUTOR (2020)

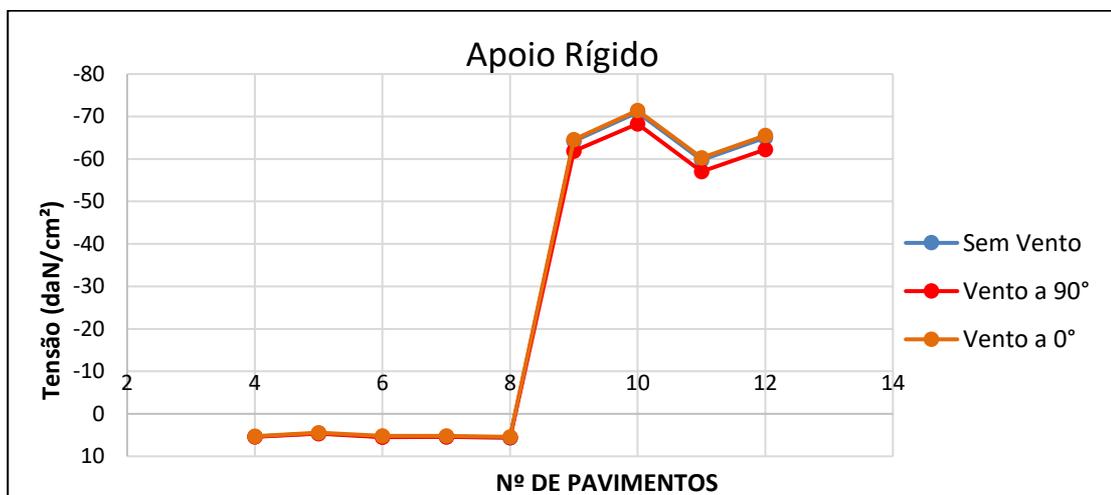
Tabela 10. Maiores tensões para 1,4 D + 1,4 L - Apoio elástico (daN/cm²).

Apoio Elástico			
Pavimentos	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	6,92	7,01	6,83
5	6,17	6,24	6,02
6	7,27	7,31	7,09
7	7,14	7,12	6,93
8	7,19	7,12	6,95
9	- 50,83	- 49,29	- 51,24
10	- 56,04	- 54,24	- 56,50
11	- 45,60	- 43,96	- 46,16
12	- 49,51	- 47,84	- 50,06

Fonte: AUTOR (2020)

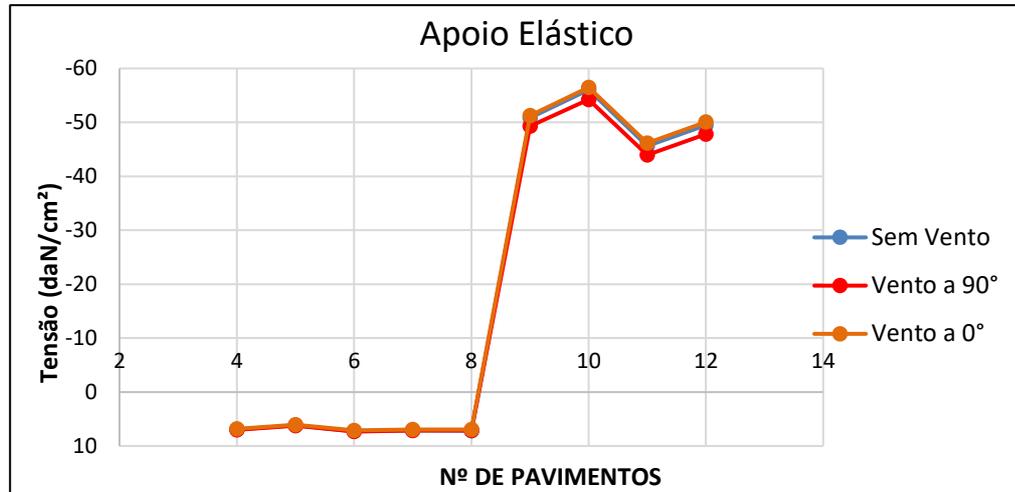
A partir dos valores das Tabelas 9 e 10 foi possível organizar os dados em formas gráficas para o apoio rígido e flexível, respectivamente, como demonstrado nas Figuras 21 e 22.

Figura 21. Gráfico Tensão x N° de pavimentos – Apoio rígido.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 22. Gráfico Tensão x N° de pavimentos – Apoio elástico.

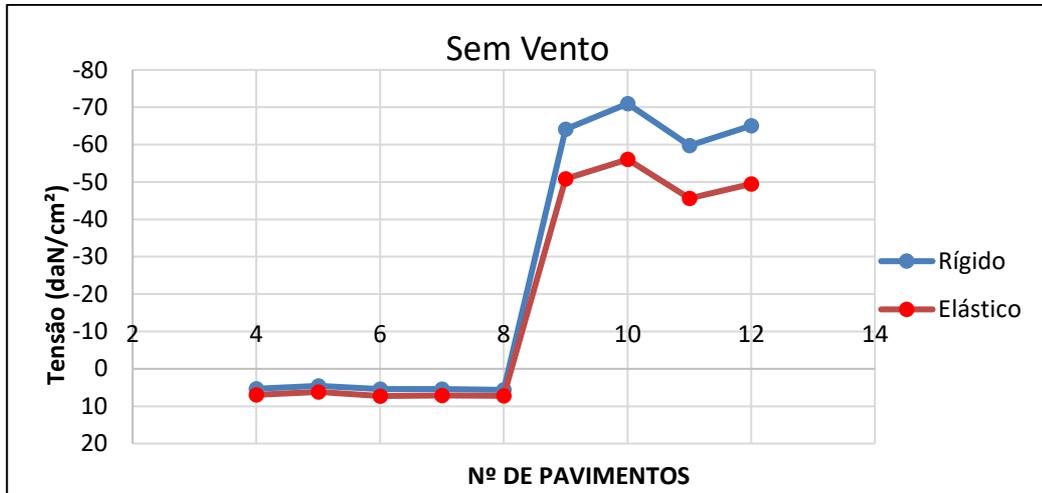


Fonte: AUTOR (2020).

Ao estudar as Figuras 21 e 22 percebe-se que todas as combinações, sejam elas com ou sem vento, possuem a mesma forma e os valores não divergem tanto, o que indica que a atuação do vento não tem tanta influência sobre a edificação, demonstrando que a estrutura possui uma rigidez alta. Além disto, o acréscimo ocorrido entre o modelo com 8 e o modelo com 9 pavimentos, devido ao aumento do número de estacas próximo a parede analisada, foi de 108 a 114% do valor final alcançado.

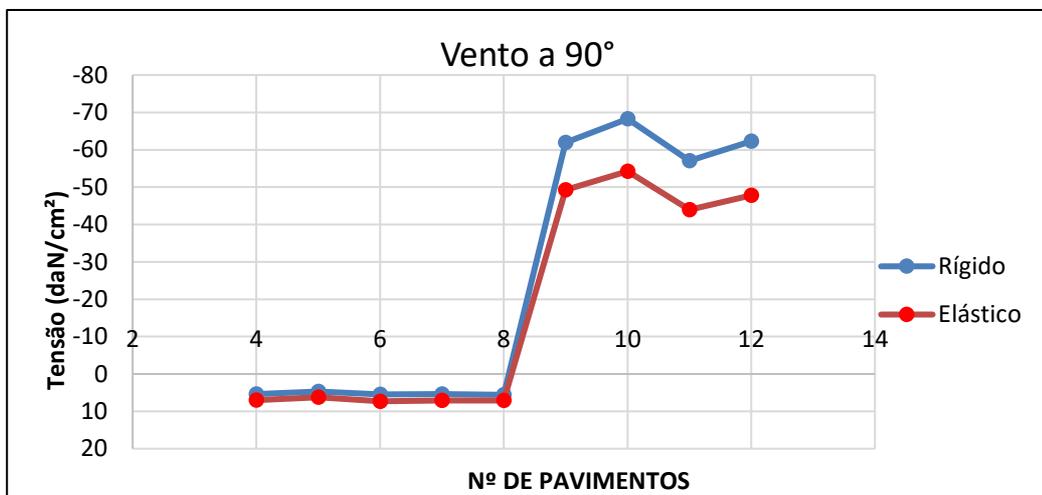
O último estudo pertinente foi da diferença observada entre as diferentes situações referentes a combinação 1,4 D + 1,4 L, considerando os dois tipos de apoio, rígido e elástico. Estas comparações são dispostas nas Figuras 23, 24 e 25.

Figura 23. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Sem Vento.



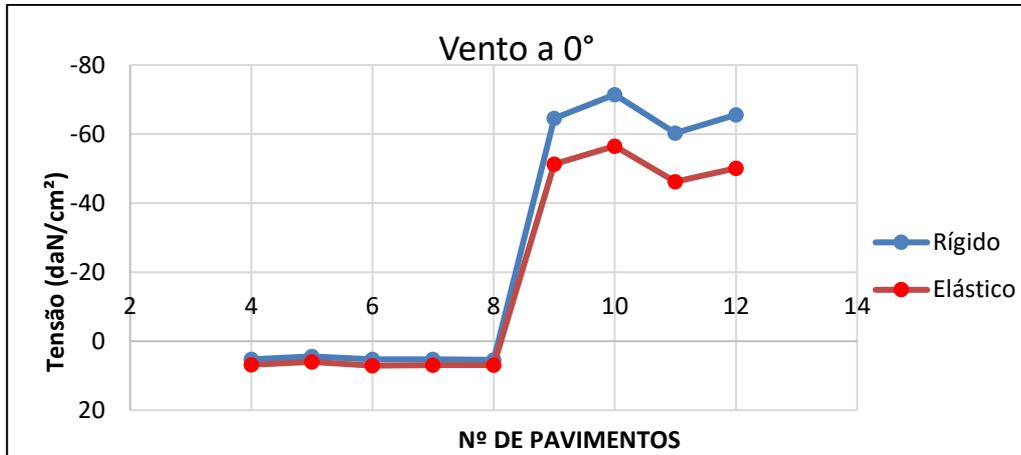
Fonte: AUTOR (2020)

Figura 24. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 90°.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 25. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 0°.



Fonte: AUTOR (2020)

Analisando as Figuras 23, 24 e 25, aparenta que a diferença dos valores para os modelos de 9 a 12 pavimentos teve uma variação maior do que os modelos de 4 a 8, porém, a diferença se manteve entre 20 a 25% para ambas. E essa maior diferença, existente entre o 8º e 9º pavimento, foi observada quando se inseriu estacas muito próximas a parede.

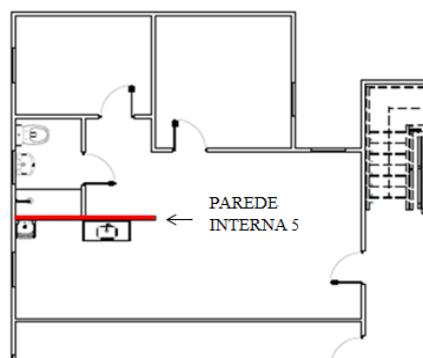
b) Paredes Internas

O comportamento das paredes internas da edificação foi muito semelhante, assim como o ocorrido para as paredes externas. Dessa forma, selecionou-se a parede interna 5, pois dentre todas as paredes analisadas, foi a que apresentou os maiores valores de tensão.

Parede interna 5

A parede interna 5 não possui aberturas e está localizada próxima ao maior pano de laje da edificação, como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26. Parede interna 5.



Fonte: AUTOR (2020)

Da mesma forma que foi obtida as tensões das paredes externas, obteve-se para a parede interna, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11. Tensões parede interna 5.

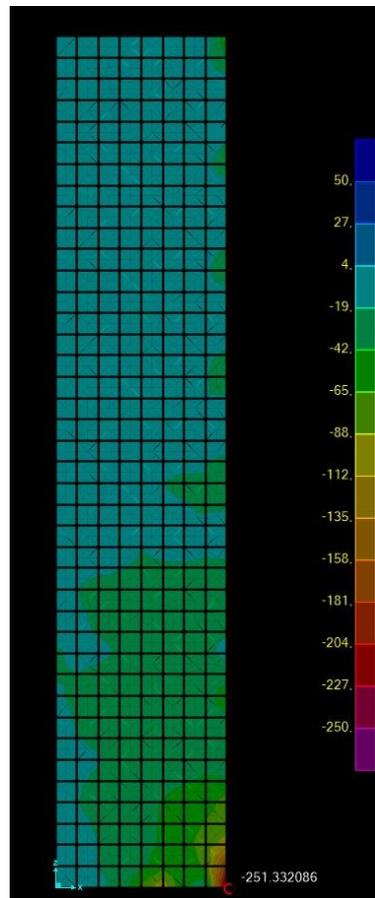
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			PAVIMENTOS
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 20,07	- 19,93	- 20,43	- 19,72	- 19,49	- 20,04	4
0,9 D	- 7,48	- 7,26	- 8,06	- 7,23	- 6,88	- 7,73	
1,2 D + L	- 17,18	- 16,98	- 17,69	- 16,83	- 16,52	- 17,28	
1,4 D + 1,4 L	- 21,73	- 21,58	- 22,09	- 21,32	- 21,09	- 21,64	5
1,2 D + 1,4 L	- 19,97	- 19,79	- 20,44	- 19,52	- 19,23	- 19,94	
0,9 D	- 7,19	- 6,92	- 7,93	- 6,90	- 6,45	- 7,56	
1,2 D + L	- 17,00	- 16,74	- 17,65	- 16,57	- 16,16	- 17,15	6
1,4 D + 1,4 L	- 21,56	- 21,38	- 22,03	- 21,05	- 20,76	- 21,47	
1,2 D + 1,4 L	- 27,60	- 27,30	- 28,13	- 27,10	- 26,66	- 27,58	
0,9 D	- 11,36	- 10,89	- 12,21	- 11,03	- 10,34	- 11,80	7
1,2 D + L	- 24,04	- 23,63	- 24,78	- 23,56	- 22,95	- 24,23	
1,4 D + 1,4 L	- 30,12	- 29,83	- 30,66	- 29,55	- 29,11	- 30,03	
1,2 D + 1,4 L	- 45,64	- 45,04	- 46,29	- 49,66	- 48,80	- 50,25	8
0,9 D	- 22,12	- 21,16	- 23,16	- 24,27	- 22,90	- 25,21	
1,2 D + L	- 41,03	- 40,19	- 41,94	- 44,72	- 43,51	- 45,54	
1,4 D + 1,4 L	- 50,56	- 49,96	- 51,21	- 55,05	- 54,19	- 55,64	9
1,2 D + 1,4 L	- 182,87	- 181,49	- 183,15	- 223,78	- 221,61	- 223,18	
0,9 D	- 101,19	- 98,98	- 101,63	- 123,99	- 120,51	- 123,03	
1,2 D + L	- 169,17	- 167,24	- 169,56	- 207,08	- 204,03	- 206,23	10
1,4 D + 1,4 L	- 205,36	- 203,98	- 205,63	- 251,33	- 249,16	- 250,73	
1,2 D + 1,4 L	- 162,33	- 161,03	- 163,12	- 199,60	- 197,41	- 199,44	
0,9 D	- 89,31	- 87,22	- 90,57	- 109,92	- 106,42	- 109,65	11
1,2 D + L	- 149,97	- 148,15	- 151,07	- 184,44	- 181,38	- 184,21	
1,4 D + 1,4 L	- 182,18	- 180,88	- 182,97	- 224,03	- 221,84	- 223,86	
1,2 D + 1,4 L	- 179,77	- 178,05	- 180,44	- 221,20	- 218,40	- 220,72	10
0,9 D	- 98,90	- 96,15	- 99,98	- 121,80	- 117,32	- 121,04	
1,2 D + L	- 166,08	- 163,67	- 167,02	- 204,40	- 200,48	- 203,73	
1,4 D + 1,4 L	- 201,75	- 200,02	- 202,42	- 248,26	- 245,46	- 247,79	11
1,2 D + 1,4 L	- 166,29	- 164,52	- 167,01	- 204,30	- 201,29	- 203,64	
0,9 D	- 91,07	- 88,23	- 92,22	- 111,96	- 107,16	- 110,92	
1,2 D + L	- 153,47	- 150,99	- 154,48	- 188,58	- 184,38	- 187,67	11
1,4 D + 1,4 L	- 186,53	- 184,76	- 187,25	- 229,18	- 226,18	- 228,53	

1,2 D + 1,4 L	- 181,05	- 179,21	- 181,75	- 222,61	- 219,53	- 221,92	12
0,9 D	- 99,19	- 96,25	- 100,31	- 122,04	- 117,11	- 120,94	
1,2 D + L	- 167,11	- 164,53	- 168,09	- 205,50	- 201,18	- 204,53	
1,4 D + 1,4 L	- 203,09	- 201,25	- 203,79	- 249,73	- 246,65	- 249,04	

Fonte: AUTOR (2020)

Os maiores valores, como observado na Tabela 11 foram obtidos para a combinação 1,4 D + 1,4 L, fato que se repete para todas as paredes internas, sendo que o maior valor - 251,33 daN/cm², ocorreu para a combinação 1,4 D + 1,4 L do modelo com 8 pavimentos e apoio elástico. O maior valor e sua localização são exibidos na Figura 27.

Figura 27. Tensão máxima em daN/cm².



Fonte: AUTOR (2020)

A Figura 27 permite perceber que existem alguns pequenos picos de tensão nos locais onde se apoiam as lajes e que o ponto de maior tensão se localiza em um canto onde não existe ligação com outras paredes.

Depois, com o objetivo de avaliar o avanço das tensões com os pavimentos, organizaram-se os valores, referentes à combinação mais solicitante, em tabelas dividindo-as a depender do apoio estudado, como mostra as Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Maiores tensões para 1,4 D + 1,4 L - Apoio rígido (daN/cm²).

Apoio Rígido			
Pavimentos	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	- 21,73	- 21,58	- 22,09
5	- 21,56	- 21,38	- 22,03
6	- 30,12	- 29,83	- 30,66
7	- 50,56	- 49,96	- 51,21
8	- 205,36	- 203,98	- 205,63
9	- 182,18	- 180,88	- 182,97
10	- 201,75	- 200,02	- 202,42
11	- 186,53	- 184,76	- 187,25
12	- 203,09	- 201,25	- 203,79

Fonte: AUTOR (2020)

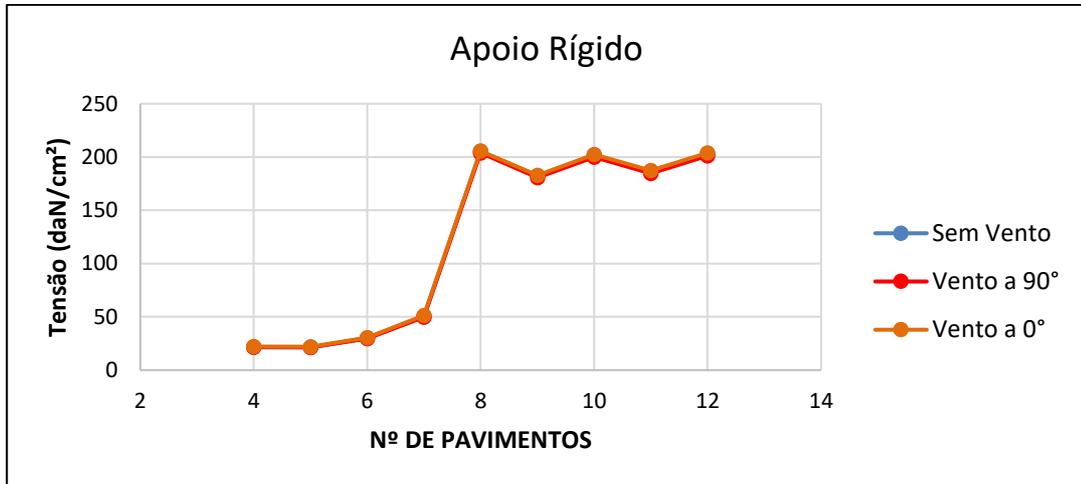
Tabela 13. Maiores tensões para 1,4 D + 1,4 L - Apoio elástico (daN/cm²).

Apoio Elástico			
Pavimentos	Sem Vento	Vento 90°	Vento 0°
4	- 21,32	- 21,09	- 21,64
5	- 21,05	- 20,76	- 21,47
6	- 29,55	- 29,11	- 30,03
7	- 55,05	- 54,19	- 55,64
8	- 251,33	- 249,16	- 250,73
9	- 224,03	- 221,84	- 223,86
10	- 248,26	- 245,46	- 247,79
11	- 229,18	- 226,18	- 228,53
12	- 249,73	- 246,65	- 249,04

Fonte: AUTOR (2020)

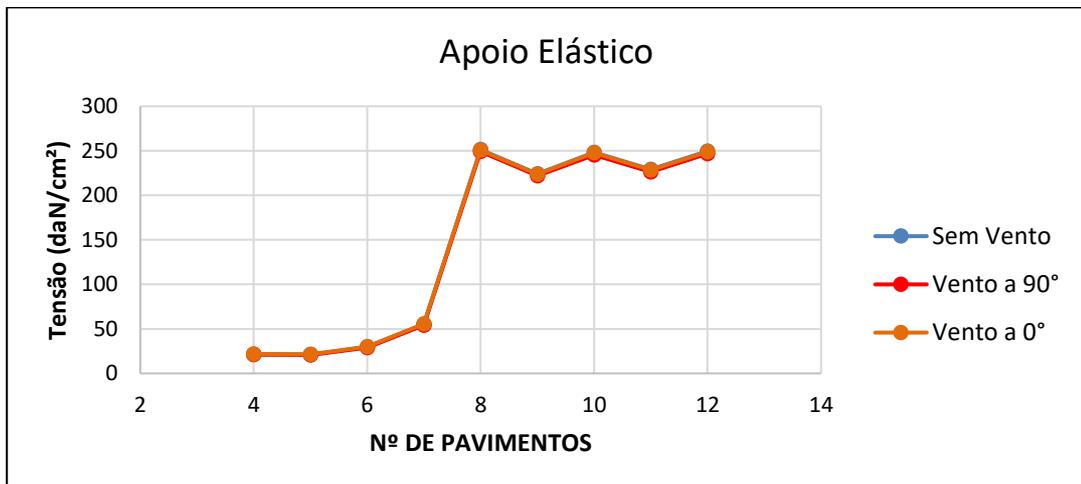
A partir dos valores das Tabelas 12 e 13 é possível posicioná-los em gráficos para melhor visualização da evolução das tensões, como apresentado nas Figuras 28 e 29.

Figura 28. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Apoio Rígido.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 29. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Apoio elástico.

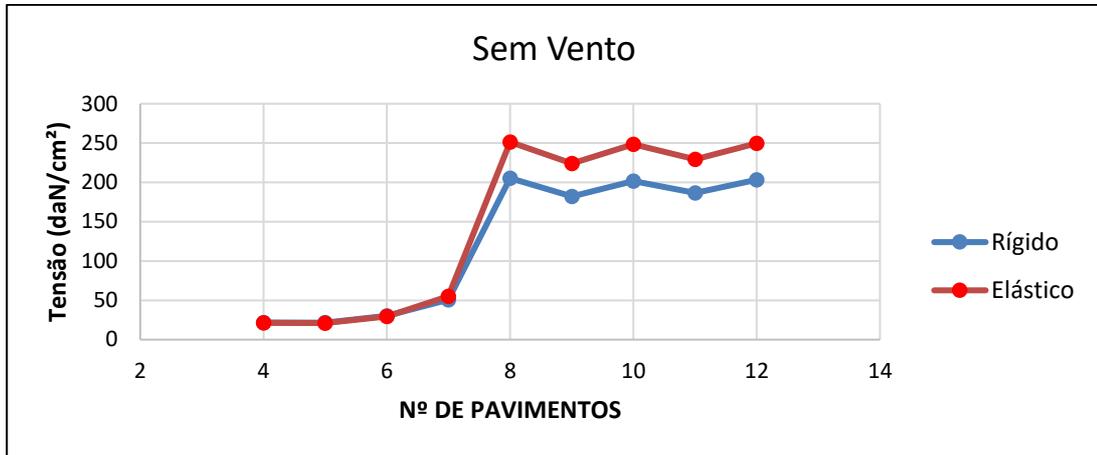


Fonte: AUTOR (2020)

A partir das Figuras 28 e 29 é possível notar que para cada uma das vinculações não existe tanta divergência dos valores devido à ação do vento, o que demonstra a rigidez da estrutura. Ainda nota-se que houve um incremento entre o modelo com 7 e o modelo com 8 pavimentos de 75 a 78% do valor final atingido.

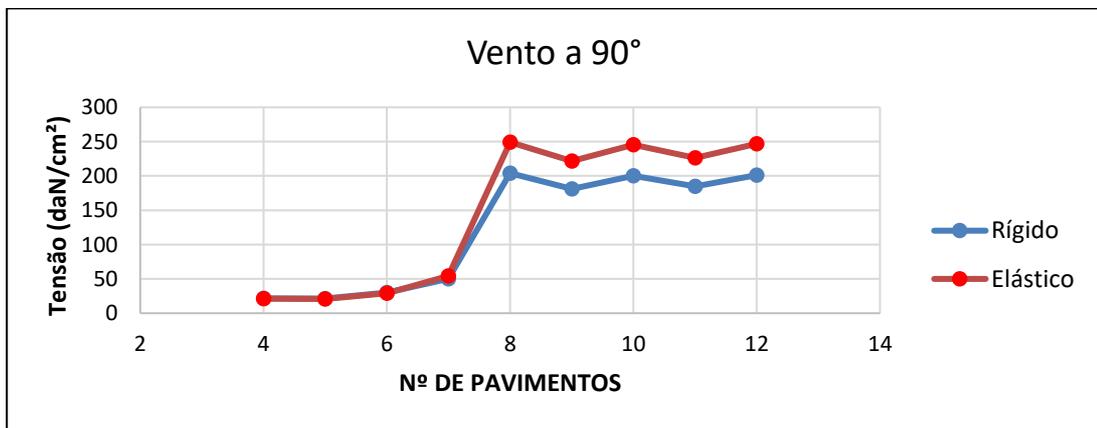
A última análise é referente às diferenças entre os valores das combinações para diferentes vinculações, como pode ser observado nas Figuras 30, 31 e 32..

Figura 30. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Sem Vento.



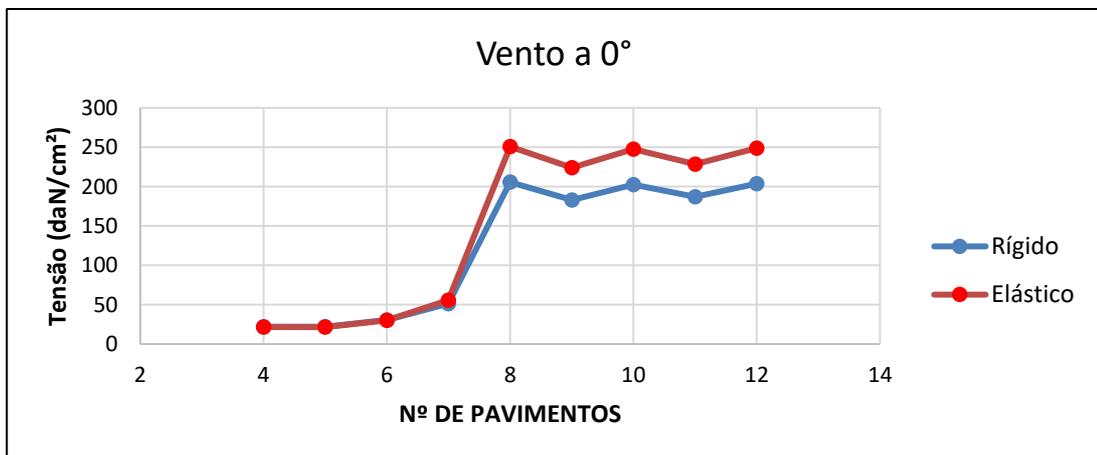
Fonte: AUTOR (2020)

Figura 31. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 90°.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 32. Gráfico Tensão x N° de pavimentos - Vento a 0°.



Fonte: AUTOR (2020)

Observa-se nas Figuras 30, 31 e 32, que a diferença entre os valores dos primeiros pavimentos não foi muito grande, ficando entre 2 e 3%, enquanto a diferença para os modelos com 8 ou mais pavimentos foi mais significativo, ficando entre 17 e 18%, devido a existência das estacas próximas.

c) Radier

O radier que serviu de apoio às paredes da edificação possui 20 cm e é feito com concreto fck 20 Mpa, o que faz dele um elemento flexível, por não possuir vigas enrijecedoras. Os valores dos momentos atuantes no radier foram obtidos tanto na direção X, que consiste no momento M11 apontado pelo SAP2000, quanto na direção Y, que consiste no momento M22 apontado pelo SAP2000.

Momento em X (M11)

Os valores de momentos positivos e negativos obtidos para o radier, considerando o momento M11, são colocados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14. Momentos Negativos M11 em 10^3 daN.m/m.

MOMENTOS NEGATIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 9,80	- 9,86	- 9,88	- 9,65	- 9,72	- 9,73	4
0,9 D	- 5,68	- 5,77	- 5,81	- 5,60	- 5,71	- 5,72	
1,2 D + L	- 9,17	- 9,24	- 9,28	- 9,03	- 9,13	- 9,14	
1,4 D + 1,4 L	- 11,06	- 11,11	- 11,15	- 10,90	- 10,97	- 10,97	5
1,2 D + 1,4 L	- 9,47	- 9,56	- 9,58	- 9,31	- 9,40	- 9,41	
0,9 D	- 5,42	- 5,57	- 5,59	- 5,34	- 5,48	- 5,51	
1,2 D + L	- 8,83	- 8,96	- 8,98	- 8,68	- 8,81	- 8,83	6
1,4 D + 1,4 L	- 10,68	- 10,77	- 10,79	- 10,49	- 10,58	- 10,60	
1,2 D + 1,4 L	- 11,12	- 11,25	- 11,28	- 10,91	- 11,04	- 11,06	
0,9 D	- 6,32	- 6,53	- 6,58	- 6,22	- 6,43	- 6,46	7
1,2 D + L	- 10,35	- 10,54	- 10,57	- 10,16	- 10,34	- 10,37	
1,4 D + 1,4 L	- 12,52	- 12,66	- 12,68	- 12,29	- 12,42	- 12,44	
1,2 D + 1,4 L	- 10,74	- 10,92	- 10,94	- 10,40	- 10,57	- 10,59	
0,9 D	- 6,06	- 6,35	- 6,38	- 5,89	- 6,16	- 6,19	
1,2 D + L	- 9,98	- 10,23	- 10,26	- 9,67	- 9,91	- 9,93	
1,4 D + 1,4 L	- 12,09	- 12,26	- 12,29	- 11,71	- 11,88	- 11,90	

1,2 D + 1,4 L	- 10,81	- 11,02	- 11,06	- 10,12	- 10,32	- 10,35	8
0,9 D	- 6,09	- 6,41	- 6,49	- 5,71	- 6,02	- 6,08	
1,2 D + L	- 10,04	- 10,33	- 10,39	- 9,40	- 9,68	- 9,72	
1,4 D + 1,4 L	- 12,16	- 12,37	- 12,41	- 11,39	- 11,59	- 11,61	9
1,2 D + 1,4 L	- 9,65	- 9,87	- 9,88	- 9,25	- 9,47	- 9,47	
0,9 D	- 5,40	- 6,04	- 5,78	- 5,19	- 5,59	- 5,54	
1,2 D + L	- 8,95	- 9,34	- 9,28	- 8,59	- 8,89	- 8,89	10
1,4 D + 1,4 L	- 10,85	- 11,07	- 11,08	- 10,41	- 10,62	- 10,63	
1,2 D + 1,4 L	- 10,66	- 10,94	- 10,95	- 10,21	- 10,48	- 10,49	
0,9 D	- 5,95	- 6,77	- 6,42	- 5,72	- 6,25	- 6,16	11
1,2 D + L	- 9,88	- 10,43	- 10,29	- 9,47	- 9,85	- 9,86	
1,4 D + 1,4 L	- 11,98	- 12,26	- 12,27	- 11,48	- 11,75	- 11,76	
1,2 D + 1,4 L	- 9,84	- 10,15	- 10,22	- 9,35	- 9,64	- 9,70	12
0,9 D	- 5,48	- 6,17	- 6,09	- 5,22	- 5,75	- 5,78	
1,2 D + L	- 9,12	- 9,55	- 9,65	- 8,67	- 9,08	- 9,15	
1,4 D + 1,4 L	- 11,06	- 11,37	- 11,44	- 10,51	- 10,80	- 10,86	12
1,2 D + 1,4 L	- 10,69	- 11,01	- 11,08	- 10,15	- 10,45	- 10,51	
0,9 D	- 5,95	- 6,63	- 6,57	- 5,66	- 6,18	- 6,23	
1,2 D + L	- 9,90	- 10,35	- 10,44	- 9,41	- 9,83	- 9,90	12
1,4 D + 1,4 L	- 12,01	- 12,33	- 12,40	- 11,41	- 11,71	- 11,76	

Fonte: AUTOR (2020)

Tabela 15. Momentos Positivos M11 em 10³ daN.m/m.

MOMENTOS POSITIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	6,13	6,14	6,18	6,54	6,56	6,58	4
0,9 D	3,51	3,53	3,59	3,75	3,78	3,82	
1,2 D + L	5,71	5,73	5,78	6,10	6,12	6,16	
1,4 D + 1,4 L	6,91	6,92	6,96	7,37	7,39	7,41	5
1,2 D + 1,4 L	6,09	6,11	6,16	6,43	6,45	6,48	
0,9 D	3,45	3,48	3,56	3,65	3,68	3,74	
1,2 D + L	5,67	5,69	5,76	5,98	6,01	6,06	6
1,4 D + 1,4 L	6,86	6,88	6,93	7,24	7,26	7,29	
1,2 D + 1,4 L	7,13	7,16	7,22	7,53	7,56	7,60	
0,9 D	4,02	4,06	4,16	4,25	4,30	4,37	6
1,2 D + L	6,63	6,66	6,75	7,00	7,04	7,10	
1,4 D + 1,4 L	8,02	8,05	8,11	8,48	8,51	8,55	

1,2 D + 1,4 L	6,62	6,65	6,72	6,59	6,62	6,68	7
0,9 D	3,69	3,74	3,86	3,68	3,73	3,83	
1,2 D + L	6,13	6,17	6,28	6,11	6,15	6,24	
1,4 D + 1,4 L	7,44	7,47	7,54	7,41	7,44	7,50	
1,2 D + 1,4 L	7,02	7,20	7,08	7,15	7,34	7,21	8
0,9 D	3,94	4,22	4,05	4,02	4,31	4,15	
1,2 D + L	6,51	6,76	6,60	6,63	6,90	6,74	
1,4 D + 1,4 L	7,89	8,07	7,95	8,03	8,23	8,10	
1,2 D + 1,4 L	7,09	7,16	7,07	7,73	7,83	7,74	9
0,9 D	3,97	4,22	3,93	4,31	4,64	4,34	
1,2 D + L	6,58	6,72	6,62	7,16	7,38	7,19	
1,4 D + 1,4 L	7,98	8,04	7,95	8,69	8,77	8,70	
1,2 D + 1,4 L	7,86	7,95	7,89	8,57	8,73	8,58	10
0,9 D	4,39	4,73	4,44	4,78	5,19	4,80	
1,2 D + L	7,29	7,50	7,33	7,94	8,24	7,96	
1,4 D + 1,4 L	8,83	8,90	8,87	9,63	9,77	9,65	
1,2 D + 1,4 L	7,75	8,28	7,84	8,94	9,53	8,99	11
0,9 D	4,30	5,16	4,45	4,95	5,89	5,02	
1,2 D + L	7,17	7,92	7,30	8,27	9,09	8,34	
1,4 D + 1,4 L	8,70	9,24	8,79	10,04	10,63	10,09	
1,2 D + 1,4 L	8,46	9,01	8,55	9,75	10,35	9,80	12
0,9 D	4,69	5,57	4,83	5,39	6,35	5,47	
1,2 D + L	7,83	8,60	7,95	9,02	9,86	9,09	
1,4 D + 1,4 L	9,50	10,05	9,59	10,95	11,55	11,00	

Fonte: Autor (2020)

A partir da análise das Tabelas 14 e 15 é possível perceber que o maior momento negativo na direção X ocorreu no modelo com 6 pavimentos, apoio rígido e para a combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0°), sendo seu valor $-12,68 \times 10^3$ daN.m/m. Enquanto o maior valor positivo ocorreu para o modelo de 12 pavimentos, apoio elástico e para a combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0°), sendo seu valor $11,55 \times 10^3$ daN.m/m. Além disso, percebe-se que os maiores valores de momento de deram para as combinações de 1,4 D + 1,4 L.

Momento em Y (M22)

Os valores dos momentos negativos e positivos na direção Y estão colocados nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16. Momentos Negativos M22 em 10³ daN.m/m.

MOMENTOS NEGATIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 9,40	- 9,40	- 9,40	- 9,35	- 9,40	- 9,39	4
0,9 D	- 5,60	- 5,61	- 5,60	- 5,45	- 5,64	- 5,51	
1,2 D + L	- 8,84	- 8,86	- 8,85	- 8,75	- 8,87	- 8,81	
1,4 D + 1,4 L	- 10,64	- 10,64	- 10,65	- 10,56	- 10,61	- 10,60	
1,2 D + 1,4 L	- 8,94	- 8,98	- 8,98	- 9,04	- 9,21	- 9,06	5
0,9 D	- 5,16	- 5,35	- 5,23	- 5,24	- 5,51	- 5,27	
1,2 D + L	- 8,35	- 8,41	- 8,42	- 8,46	- 8,69	- 8,49	
1,4 D + 1,4 L	- 10,09	- 10,13	- 10,13	- 10,21	- 10,38	- 10,23	
1,2 D + 1,4 L	- 10,46	- 10,53	- 10,53	- 10,63	- 10,87	- 10,66	6
0,9 D	- 6,00	- 6,32	- 6,11	- 6,11	- 6,50	- 6,16	
1,2 D + L	- 9,76	- 9,94	- 9,85	- 9,92	- 10,26	- 9,97	
1,4 D + 1,4 L	- 11,80	- 11,86	- 11,86	- 11,98	- 12,23	- 12,02	
1,2 D + 1,4 L	- 10,31	- 10,64	- 10,30	- 10,34	- 10,67	- 10,36	7
0,9 D	- 5,90	- 6,43	- 6,03	- 5,90	- 6,42	- 5,96	
1,2 D + L	- 9,61	- 10,07	- 9,62	- 9,64	- 10,09	- 9,67	
1,4 D + 1,4 L	- 11,62	- 11,95	- 11,61	- 11,65	- 11,98	- 11,67	
1,2 D + 1,4 L	- 10,07	- 10,50	- 10,33	- 9,27	- 9,66	- 9,49	8
0,9 D	- 5,74	- 6,40	- 6,16	- 5,29	- 5,86	- 5,64	
1,2 D + L	- 9,38	- 9,97	- 9,75	- 8,63	- 9,16	- 8,94	
1,4 D + 1,4 L	- 11,34	- 11,76	- 11,61	- 10,44	- 10,82	- 10,66	
1,2 D + 1,4 L	- 9,21	- 9,71	- 9,46	- 8,62	- 9,04	- 8,83	9
0,9 D	- 5,19	- 5,98	- 5,59	- 4,85	- 5,53	- 5,20	
1,2 D + L	- 8,56	- 9,25	- 8,91	- 8,00	- 8,60	- 8,31	
1,4 D + 1,4 L	- 10,37	- 10,86	- 10,62	- 9,69	- 10,12	- 9,91	
1,2 D + 1,4 L	- 10,21	- 10,82	- 10,52	- 9,53	- 10,06	- 9,80	10
0,9 D	- 5,73	- 6,71	- 6,23	- 5,35	- 6,19	- 5,78	
1,2 D + L	- 9,48	- 10,33	- 9,91	- 8,84	- 9,58	- 9,22	
1,4 D + 1,4 L	- 11,48	- 12,09	- 11,79	- 10,72	- 11,24	- 10,99	
1,2 D + 1,4 L	- 9,31	- 10,00	- 9,71	- 9,12	- 9,72	- 9,37	11
0,9 D	- 5,22	- 6,32	- 5,86	- 5,11	- 6,08	- 5,52	
1,2 D + L	- 8,64	- 9,60	- 9,20	- 8,46	- 9,31	- 8,82	
1,4 D + 1,4 L	- 10,47	- 11,16	- 10,87	- 10,25	- 10,86	- 10,51	
1,2 D + 1,4 L	- 10,15	- 10,84	- 10,55	- 9,92	- 10,53	- 10,18	12
0,9 D	- 5,67	- 6,79	- 6,32	- 5,55	- 6,54	- 5,97	
1,2 D + L	- 9,41	- 10,39	- 9,98	- 9,20	- 10,06	- 9,56	
1,4 D + 1,4 L	- 11,41	- 12,10	- 11,81	- 11,15	- 11,77	- 11,41	

Fonte: AUTOR (2020)

Tabela 17. Momentos Positivos em 10³ daN.m/m.

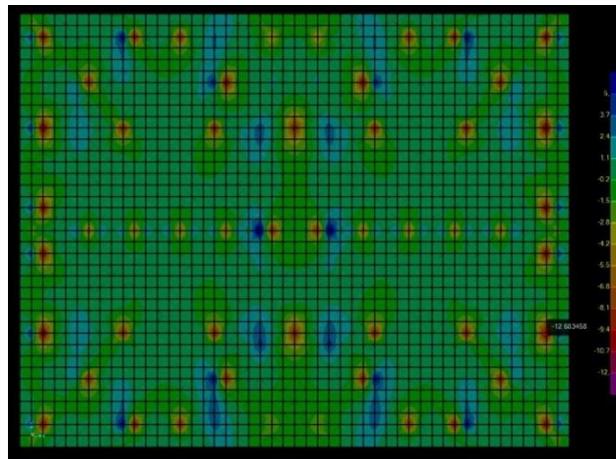
MOMENTOS POSITIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	6,14	6,15	6,15	5,84	5,86	5,85	4
0,9 D	3,53	3,54	3,54	3,33	3,37	3,35	
1,2 D + L	5,73	5,75	5,74	5,44	5,47	5,45	
1,4 D + 1,4 L	6,93	6,94	6,93	6,58	6,60	6,59	5
1,2 D + 1,4 L	5,93	5,94	5,93	5,68	5,71	5,69	
0,9 D	3,36	3,38	3,36	3,20	3,24	3,22	
1,2 D + L	5,52	5,53	5,53	5,28	5,31	5,29	6
1,4 D + 1,4 L	6,68	6,69	6,69	6,39	6,42	6,40	
1,2 D + 1,4 L	7,01	7,04	7,02	6,75	6,79	6,76	
0,9 D	3,95	4,00	3,97	3,78	3,86	3,81	7
1,2 D + L	6,51	6,55	6,53	6,26	6,33	6,28	
1,4 D + 1,4 L	7,89	7,92	7,90	7,59	7,64	7,60	
1,2 D + 1,4 L	7,86	7,91	7,87	8,39	8,44	8,41	8
0,9 D	4,43	4,51	4,45	4,74	4,82	4,78	
1,2 D + L	7,30	7,37	7,31	7,80	7,87	7,83	
1,4 D + 1,4 L	8,85	8,89	8,85	9,44	9,49	9,47	9
1,2 D + 1,4 L	8,23	8,34	8,33	9,27	9,39	9,39	
0,9 D	4,61	4,77	4,79	5,20	5,39	5,40	
1,2 D + L	7,63	7,78	7,78	8,60	8,78	8,77	10
1,4 D + 1,4 L	9,25	9,36	9,36	10,42	10,54	10,55	
1,2 D + 1,4 L	7,77	7,89	7,88	8,66	8,83	8,79	
0,9 D	4,32	4,52	4,50	4,81	5,07	5,02	11
1,2 D + L	7,19	7,37	7,35	8,02	8,25	8,20	
1,4 D + 1,4 L	8,73	8,85	8,84	9,73	9,90	9,86	
1,2 D + 1,4 L	8,59	8,75	8,73	9,59	9,80	9,75	12
0,9 D	4,77	5,03	5,00	5,32	5,66	5,57	
1,2 D + L	7,96	8,18	8,15	8,88	9,17	9,10	
1,4 D + 1,4 L	9,65	9,82	9,79	10,77	10,98	10,93	12
1,2 D + 1,4 L	7,81	7,98	7,99	8,72	8,94	8,92	
0,9 D	4,32	4,59	4,61	4,82	5,17	5,14	
1,2 D + L	7,23	7,46	7,48	8,07	8,37	8,35	12
1,4 D + 1,4 L	8,77	8,94	8,95	9,79	10,01	9,99	
1,2 D + 1,4 L	8,50	8,67	8,69	9,50	9,72	9,70	
0,9 D	4,70	4,97	5,00	5,24	5,61	5,57	12
1,2 D + L	7,86	8,10	8,12	8,78	9,10	9,06	
1,4 D + 1,4 L	9,55	9,72	9,73	10,66	10,89	10,86	

Fonte: AUTOR (2020)

A partir da análise das Tabelas 16 e 17, observou-se que o maior valor negativo foi de $-12,23 \times 10^3$ daN.m/m e ele ocorreu no modelo com 6 pavimentos, apoio elástico e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (90°). Já o maior momento positivo foi de $10,98 \times 10^3$ daN.m/m e foi observado no modelo com 10 pavimentos, apoio elástico e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (90°). Fato este ocorrido também pela variação do número de estacas com o aumento do número de pavimentos.

Dessa forma, observa-se que o maior momento em módulo ocorreu para o momento em X negativo e ele está localizado conforme Figura 33.

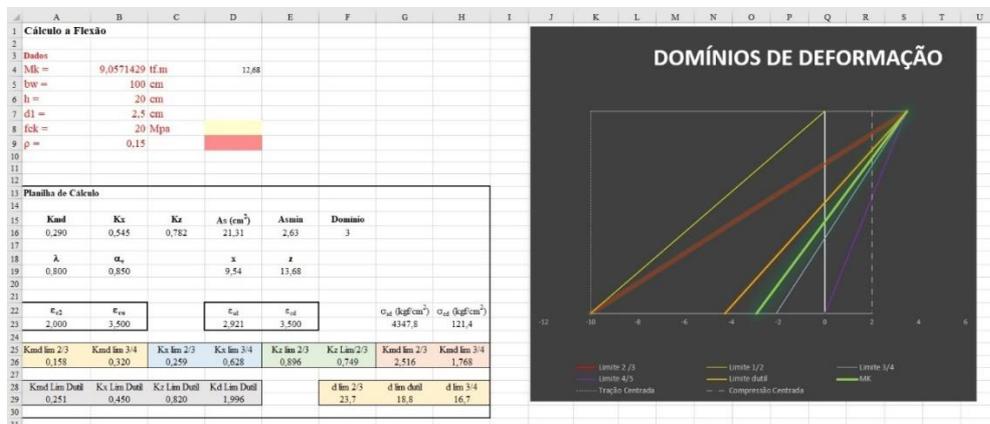
Figura 33. Maior momento do radier em 10^3 daN.m/m.



Fonte: AUTOR (2020)

Ao considerar as características do radier dimensionado, o valor máximo obtido fica acima do valor limite da ductilidade, que para o caso da peça em análise é $10,98 \times 10^3$ daN.m/m, como mostra a Figura 34.

Figura 34. Dutilidade do máximo momento.



Fonte: AUTOR (2020)

A linha verde fosforescente é indicativa do domínio em que se encontra a peça ao ser submetido ao momento solicitante característico, que corresponde ao valor do momento obtido no SAP2000 dividido pelo coeficiente de ponderação de 1,4.

Porém, esses valores de momento que ocorrem pontualmente estão localizados sobre as estacas, o que, de acordo com a NBR 6118:2014 item 14.6.3, esses momentos podem ser reduzidos, em um valor ΔM , considerando o valor da reação de apoio e da espessura do pilar ou estaca sobre o qual ele ocorre. Dessa forma, como a reação sobre a estaca é $R = 53,8078 \times 10^3$ daN e a espessura da estaca é $t = 0,4$ m, é possível utilizar a fórmula de redução apresentada na norma e que é indicada na Equação 02.

$$\Delta M = \frac{R \times t}{8} \tag{02}$$

Ao substituir os valores, obtêm-se.

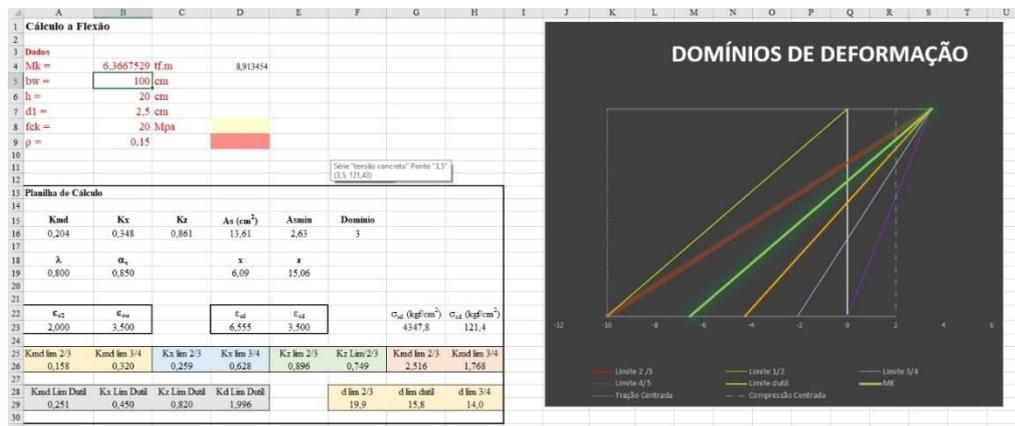
$$\Delta M = \frac{53,8078 \times 10^3 \times 0,4}{8} = 2,69039 \times 10^3 \text{ daN.m/m} \tag{03}$$

Assim, ao retirar o valor do fator de majoração 1,4 do momento máximo obtido, retirar o momento ΔM , chega-se no valor de um novo momento M_0 .

$$M_0 = \frac{12,68 \times 10^3}{1,4} - 2,69 \times 10^3 = 6,37 \times 10^3 \text{ daN.m/m} \tag{04}$$

Isso resulta que o momento ao ser reduzido permite o radier a permanecer dútil, como mostra a Figura 35.

Figura 35. Dutilidade para o momento reduzido.



Fonte: AUTOR (2020)

d) Laje do 4º Pavimento

A laje do 4º pavimento foi escolhida para análise, pois é encontrada em todos os modelos, além de constituir a pior situação no modelo com 4 pavimentos, por receber a maior solicitação de vento. Os momentos obtidos são divididos em momentos na direção X e momentos na direção Y.

Momentos em X (M11)

Os valores dos momentos negativos e positivos obtidos para a laje do 4º pavimento considerando os diversos modelos, condições de apoio e combinações estão colocadas nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18. Momentos Negativos M11 em 10^3 daN.m/m (LAJE DO 4º PAVIMENTO).

MOMENTOS NEGATIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 0,97	- 0,97	- 0,98	- 0,97	- 0,97	- 0,97	4
0,9 D	- 0,48	- 0,48	- 0,48	- 0,48	- 0,48	- 0,48	
1,2 D + L	- 0,88	- 0,88	- 0,88	- 0,87	- 0,87	- 0,88	
1,4 D + 1,4 L	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,07	- 1,08	5
1,2 D + 1,4 L	- 1,01	- 1,01	- 1,01	- 1,01	- 1,01	- 1,01	
0,9 D	- 0,50	- 0,50	- 0,50	- 0,50	- 0,50	- 0,50	
1,2 D + L	- 0,91	- 0,91	- 0,92	- 0,91	- 0,91	- 0,91	6
1,4 D + 1,4 L	- 1,12	- 1,12	- 1,12	- 1,12	- 1,12	- 1,12	
1,2 D + 1,4 L	- 1,01	- 1,02	- 1,02	- 1,01	- 1,01	- 1,01	
0,9 D	- 0,50	- 0,50	- 0,51	- 0,50	- 0,50	- 0,51	7
1,2 D + L	- 0,92	- 0,92	- 0,92	- 0,91	- 0,91	- 0,92	
1,4 D + 1,4 L	- 1,13	- 1,13	- 1,13	- 1,12	- 1,12	- 1,12	
1,2 D + 1,4 L	- 1,03	- 1,03	- 1,04	- 1,02	- 1,02	- 1,03	8
0,9 D	- 0,51	- 0,51	- 0,52	- 0,51	- 0,51	- 0,51	
1,2 D + L	- 0,93	- 0,93	- 0,94	- 0,92	- 0,93	- 0,93	
1,4 D + 1,4 L	- 1,14	- 1,15	- 1,15	- 1,13	- 1,14	- 1,14	
1,2 D + 1,4 L	- 1,03	- 1,03	- 1,03	- 1,02	- 1,02	- 1,02	
0,9 D	- 0,51	- 0,51	- 0,52	- 0,50	- 0,51	- 0,51	
1,2 D + L	- 0,93	- 0,93	- 0,93	- 0,92	- 0,92	- 0,93	
1,4 D + 1,4 L	- 1,14	- 1,14	- 1,14	- 1,13	- 1,13	- 1,14	

1,2 D + 1,4 L	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	8
0,9 D	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1,2 D + L	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
1,4 D + 1,4 L	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
1,2 D + 1,4 L	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	9
0,9 D	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1,2 D + L	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
1,4 D + 1,4 L	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
1,2 D + 1,4 L	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	10
0,9 D	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1,2 D + L	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
1,4 D + 1,4 L	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
1,2 D + 1,4 L	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	11
0,9 D	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1,2 D + L	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
1,4 D + 1,4 L	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
1,2 D + 1,4 L	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	12
0,9 D	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	
1,2 D + L	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	
1,4 D + 1,4 L	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	

Fonte: AUTOR (2020)

Os valores obtidos nas Tabelas 18 e 19 mostram que os momentos atuantes na laje do 4º pavimento não sofreram grandes alterações à medida que o número de pavimentos aumentou. O maior momento negativo foi observado no modelo com 10 pavimentos, apoio rígido e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0°), sendo o valor igual a $-1,15 \times 10^3$ daN.m/m. Enquanto o maior valor positivo estava no modelo com 11 pavimentos, apoio elástico e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (90°), sendo o valor igual a $0,35969 \times 10^3$ daN.m/m.

Momentos em Y (M22)

Os momentos obtidos em Y, tanto negativos quanto positivos, considerando os vários modelos, apoios e combinações são colocados nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20. Momentos Negativos M22 em 10³ daN.m/m (LAJE DO 4º PAVIMENTO).

MOMENTOS NEGATIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	- 1,11	- 1,11	- 1,11	- 1,11	- 1,11	- 1,11	4
0,9 D	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	
1,2 D + L	- 1,01	- 1,01	- 1,01	- 1,00	- 1,00	- 1,01	
1,4 D + 1,4 L	- 1,24	- 1,24	- 1,24	- 1,23	- 1,23	- 1,23	5
1,2 D + 1,4 L	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,11	- 1,10	
0,9 D	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	
1,2 D + L	- 1,00	- 1,00	- 1,00	- 0,99	- 0,99	- 0,99	6
1,4 D + 1,4 L	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	
1,2 D + 1,4 L	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,10	
0,9 D	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	- 0,55	7
1,2 D + L	- 1,00	- 1,00	- 1,00	- 0,99	- 0,99	- 0,99	
1,4 D + 1,4 L	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,22	
1,2 D + 1,4 L	- 1,10	- 1,10	- 1,10	- 1,09	- 1,09	- 1,09	8
0,9 D	- 0,54	- 0,54	- 0,55	- 0,54	- 0,54	- 0,54	
1,2 D + L	- 0,99	- 0,99	- 0,99	- 0,99	- 0,99	- 0,99	
1,4 D + 1,4 L	- 1,22	- 1,22	- 1,22	- 1,21	- 1,21	- 1,22	9
1,2 D + 1,4 L	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	
0,9 D	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	
1,2 D + L	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	10
1,4 D + 1,4 L	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	
1,2 D + 1,4 L	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	- 1,09	
0,9 D	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	11
1,2 D + L	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	
1,4 D + 1,4 L	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	- 1,21	
1,2 D + 1,4 L	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	12
0,9 D	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	
1,2 D + L	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	
1,4 D + 1,4 L	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	
1,2 D + 1,4 L	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	- 1,08	
0,9 D	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	- 0,54	
1,2 D + L	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	- 0,98	
1,4 D + 1,4 L	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	- 1,20	

Fonte: AUTOR (2020)

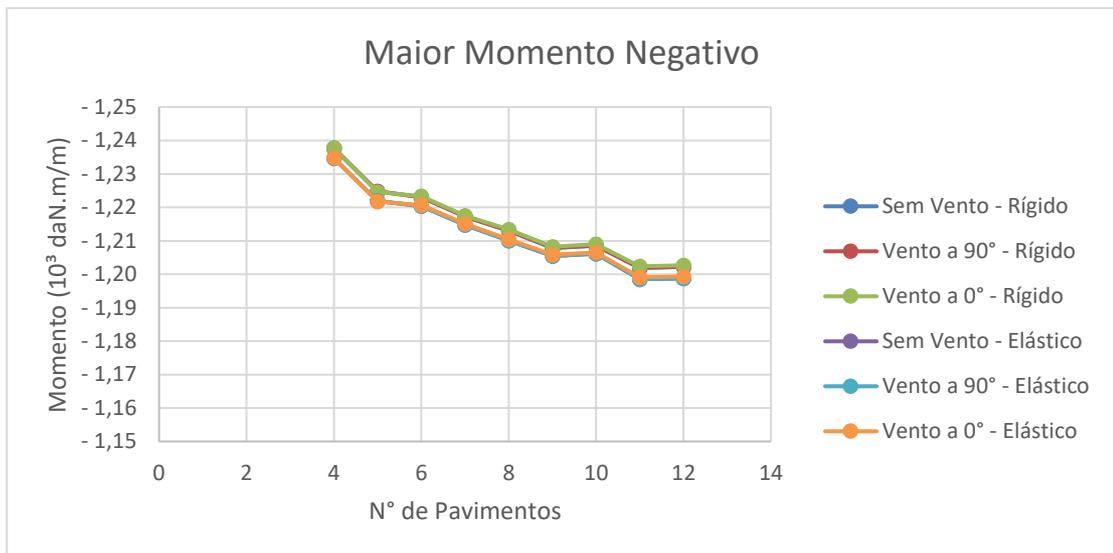
Tabela 21. Momentos Positivos M22 em 10^3 daN.m/m(LAJE DO 4º PAVIMENTO).

MOMENTOS POSITIVOS							PAVIMENTOS
COMBINAÇÕES	APOIO RÍGIDO			APOIO ELÁSTICO			
	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	SEM VENTO	COM VENTO 90°	COM VENTO 0°	
1,2 D + 1,4 L	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	4
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
1,2 D + L	0,48	0,47	0,48	0,48	0,47	0,48	
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	5
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	6
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	7
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	8
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	9
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	10
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	11
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	
1,2 D + 1,4 L	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	12
0,9 D	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	
1,2 D + L	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	
1,4 D + 1,4 L	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	

Fonte: AUTOR (2020)

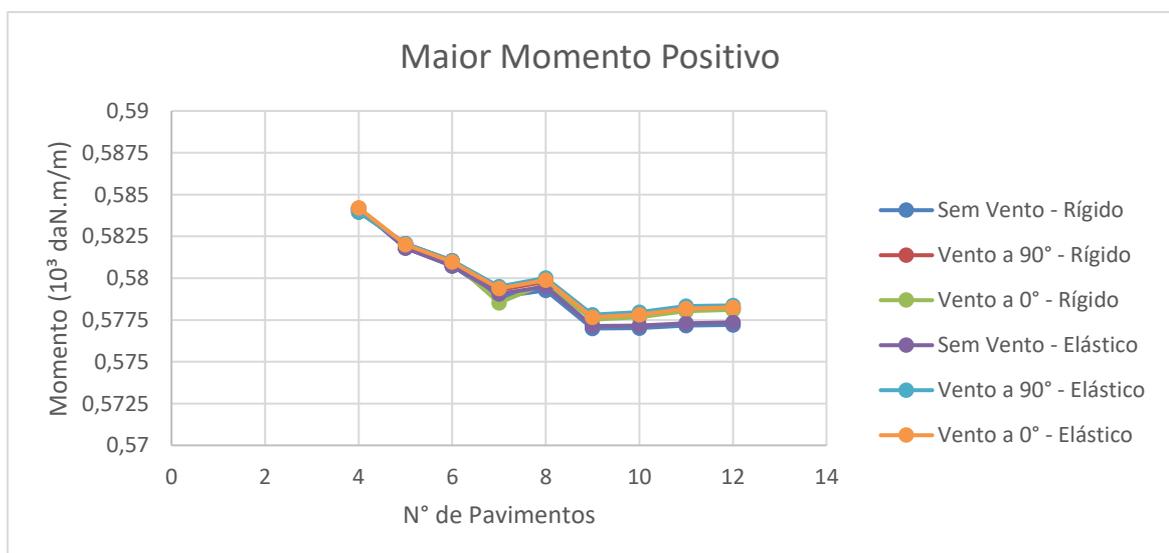
Os valores dos momentos apresentados nas Tabelas 20 e 21 são muito semelhantes, sendo muito parecido com o ocorrido para o momento em X. Porém, é possível perceber uma diminuição dos valores negativos e positivos à medida que o número de pavimentos e de estacas aumenta. O decréscimo foi demonstrado nas Figuras 36 e 37, considerando o apoio rígido e apoio elástico.

Figura 36. Gráfico Maior Momento Negativo em Y em 10^3 daN.m/m (APOIO RÍGIDO E ELÁSTICO).



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 37. Gráfico Momento Positivo em Y em 10^3 daN.m/m (APOIO RÍGIDO E ELÁSTICO).



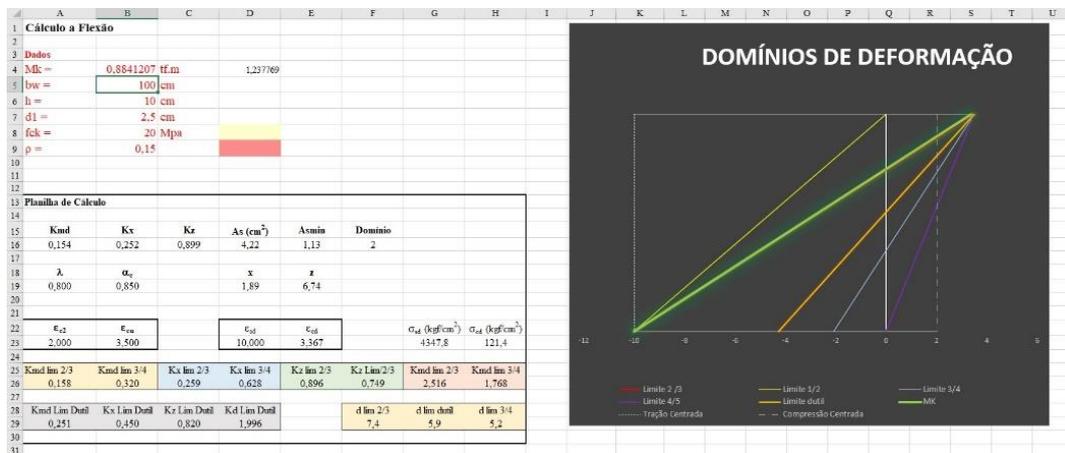
Fonte: AUTOR (2020)

Como foi observado nas Figuras 36 e 37, a variação dos momentos entre os pavimentos foram muito pequenas (no máximo 1,07 % entre o 4º e 5º pavimento), o que mostra que o número de pavimentos não influencia no dimensionamento da laje, bem como o efeito do vento e o tipo de apoio.

O maior valor obtido para o momento negativo ocorreu no modelo com 4 pavimentos, apoio rígido e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0º), sendo seu valor equivalente a $1,237769 \times 10^3$ daN.m/m. Enquanto o maior valor positivo apareceu no modelo com 4 pavimentos, apoio elástico e combinação 1,4 D + 1,4 L + W (0º), tendo como valor $0,584205 \times 10^3$ daN.m/m.

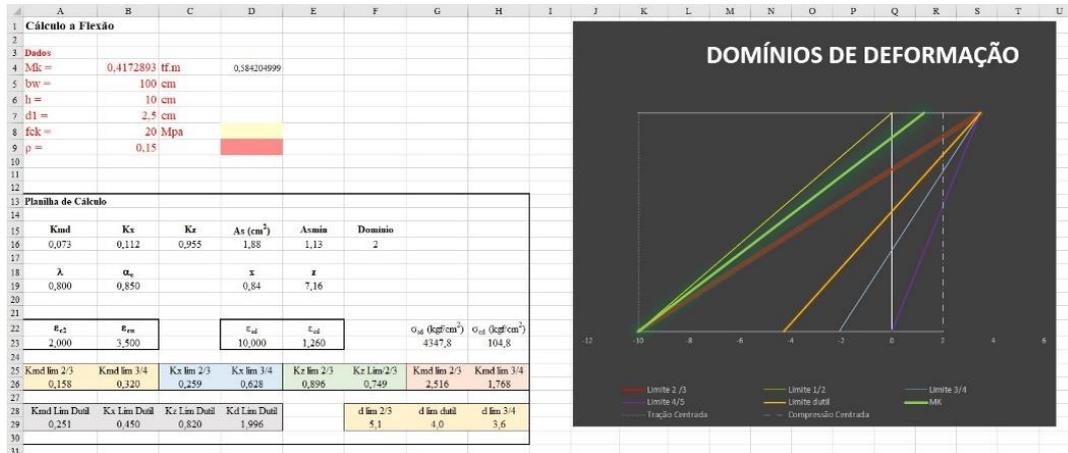
Sendo assim, os maiores valores para a laje do 4º pavimento foram os valores correspondentes ao momento em Y. As lajes utilizadas ao longo dos pavimentos possuem as mesmas características do radier, mas com espessura de 10 cm, o que diminui o valor limite da ductilidade, considerando o fator de majoração de 1,4, para $2,02 \times 10^3$ daN.m/m. Dessa forma, como ambos os valores obtidos para os momentos na laje deram menores que o valor limite, a laje trabalha dentro da sua ductilidade, como mostram as Figuras 38 e 39.

Figura 38. Dutilidade para o maior momento negativo.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 39. Dutilidade para o maior momento positivo.



Fonte: AUTOR (2020)

Como se pode observar pelas Figuras 38 e 39, ambos os momentos ficaram bem distantes do limite de ductilidade, permanecendo no domínio 2.

e) Deslocamentos

Os deslocamentos foram verificados no radier e no topo do modelo com 12 pavimentos, pelo fato de ser o mais alto e apresentar os maiores deslocamentos. As análises foram feitas para as duas vinculações e utilizou-se as combinações de serviço para verificar se a edificação atende os critérios normativos. Os deslocamentos estão colocados nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22. Deslocamentos no radier.

		Radier					
Pavimento	Consideração	Apoio Rígido			Apoio Elástico		
		U1(cm)	U2 (cm)	U3 (cm)	U1 (cm)	U2 (cm)	U3 (cm)
12	Máximo	0,00372	0,003257	0,014037	0,003821	0,003421	-0,04401
	Mínimo	-0,00307	-0,00399	-0,31833	-0,00376	-0,00416	-0,52271

Fonte: AUTOR (2020)

Tabela 23. Deslocamentos no topo do edifício.

		Topo do Edifício					
Pavimento	Consideração	Apoio Rígido			Apoio Elástico		
		U1(cm)	U2 (cm)	U3 (cm)	U1 (cm)	U2 (cm)	U3 (cm)
12	Máximo	0,072375	-0,03029	-0,31786	0,092993	-0,04141	-0,48641
	Mínimo	-0,00511	-0,16075	-0,70704	-0,00459	-0,21525	-0,90226

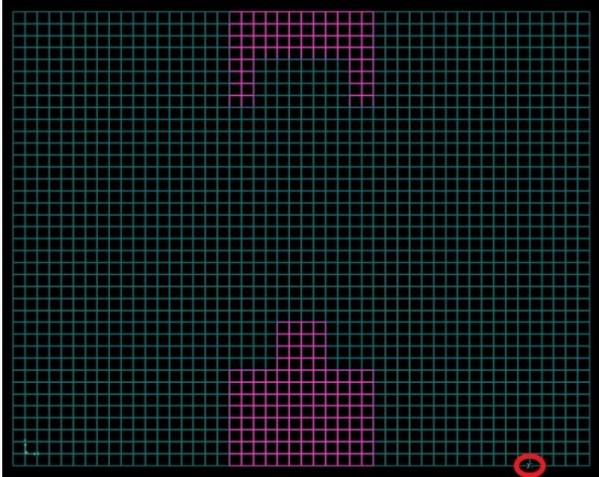
Fonte: AUTOR (2020)

Analisando as Tabelas 22 e 23, é perceptível que os valores entre as diferentes vinculações variam consideravelmente, onde se observa um aumento 28% para o maior deslocamento em Z, sendo os maiores valores encontrados para o apoio elástico, pois o vínculo final (mola) se deforma, não acontecendo no rígido.

O maior deslocamento em X, representado por U1, no radier, foi de 0,0038 cm e ele ocorreu para a combinação D + L + 0,6W (0°). Enquanto o maior valor em X, para o topo do edifício, foi de 0,093 cm para a combinação D + 0,8L + W (0°). Já para o deslocamento em Y, indicado por U2, no radier, foi de -0,0042 cm para a combinação D + 0,8L + W (90°) e, no topo, foi de - 0,22 cm para D + 0,8L + W (90°). A movimentação em Z (U3), no radier, foi de - 0,5227 cm para D + L + 0,6W (90°) e, no topo, foi de - 0,9 cm para D + L + 0,6W (90°).

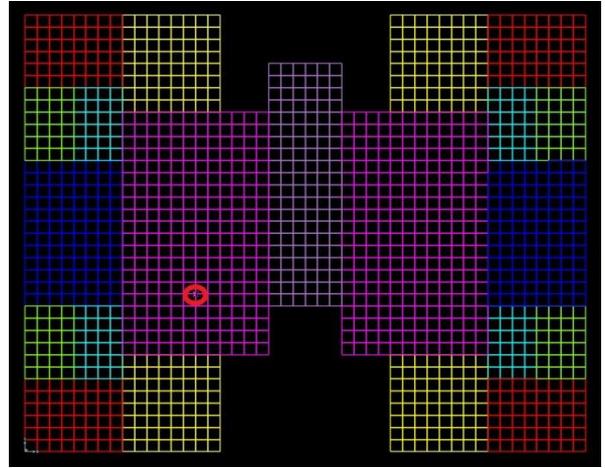
Os maiores valores encontrados de deslocamento se deram na direção Z negativa, sendo que o maior deslocamento no radier ocorreu para a combinação D + L + 0,6W (90°), possuindo um valor igual a - 0,52271 cm. Enquanto o maior valor do deslocamento no topo do edifício ocorreu para a mesma do radier, tendo um valor de - 0,9 cm. Os locais desses deslocamentos podem ser vistos nas Figuras 40 e 41.

Figura 40. Deslocamento no radier.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 41. Deslocamento no topo do edifício.



Fonte: AUTOR (2020)

A última análise referente aos deslocamentos foi a de verificar se existia uma divergência muito grande de valores dos deslocamentos quando o modelo era submetido a cargas de vento. Desta maneira, utilizou-se o modelo com 12 pavimentos e apoio elástico como base, pelo fato dele apresentar deslocamentos maiores que os outros modelos. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24. Deslocamentos em relação as cargas de vento.

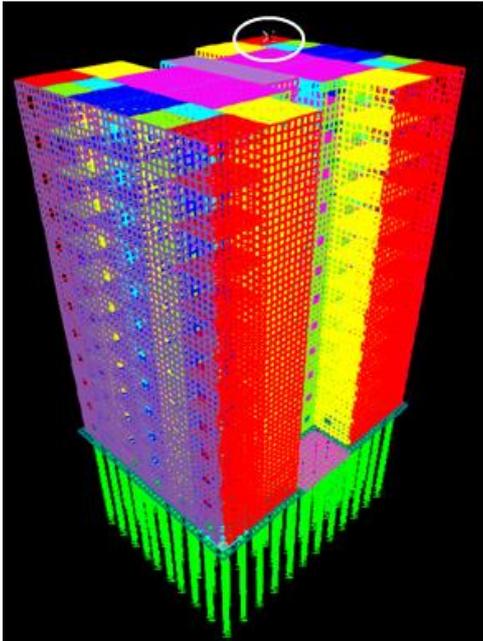
Combinações	Deslocamentos (m)	
	Esquerdo	Direito
Sem Vento	-0,54788	-0,54766
Vento a 90°	-0,52516	-0,52494
Vento a 0°	-0,56132	-0,53416

Fonte: AUTOR (2020)

Os valores apresentados na Tabela 24 permitem identificar que a edificação é bastante rígida, pois não existe uma distorção muito grande entre os valores de deslocamento, mesmo considerando a atuação do vento.

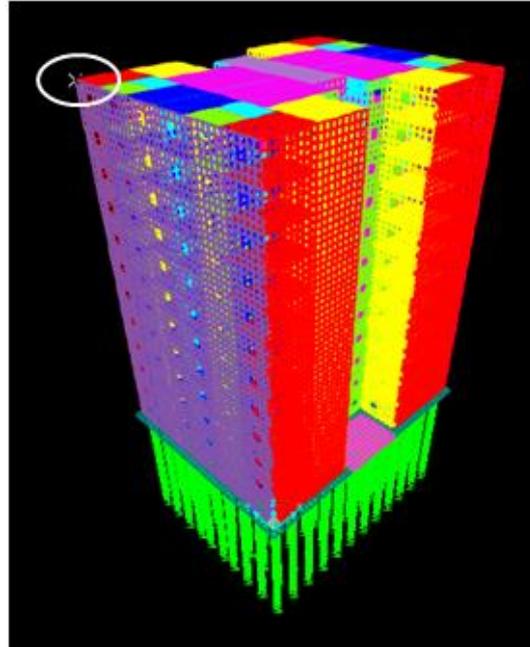
Os locais utilizados para coletar esses deslocamentos estão apresentados nas Figuras 42 e 43.

Figura 42. Deslocamento lado esquerdo.



Fonte: AUTOR (2020)

Figura 43. Deslocamento lado direito.



Fonte: AUTOR (2020)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do trabalho desenvolvido, foi possível realizar diversas análises nos modelos descritos anteriormente no texto. Após a modelagem do edifício, foram verificadas as tensões geradas em todas as paredes a cada pavimento adicionado a edificação, e assim, constatou-se que ao fazer a comparação utilizando os diferentes tipos de apoios (rígido e elástico), os valores praticamente não se alteraram, tanto para as paredes, quanto para o radier e a laje analisadas.

A influência do vento não ocasionou grandes mudanças, sendo que as maiores diferenças foram observadas utilizando a combinação “0,9D”, que em todos os casos gerou valores de tensões relativamente baixos se comparado aos resultados das outras combinações.

Na análise de todas as paredes, independente do pavimento analisado, os maiores valores foram encontrados para a combinação de ações 1,4D + 1,4L, variando entre a influência ou não do vento, porém sempre mantendo valores muito próximos. E como foi citado anteriormente, o tipo de apoio não interferiu significativamente nas tensões de compressão.

A partir das imagens retiradas do programa SAP 2000, pode-se notar que as maiores tensões são encontradas nos cantos da parte inferior do edifício, o que explica a necessidade do grauteamento nos blocos e o uso de armação, principalmente nos encontros entre as paredes.

Um ponto importante apresentado nos resultados das paredes, tanto externa como na interna, foi o aumento repentino no valor das tensões a partir do acréscimo de pavimentos, e consequentemente no número de estacas, o que torna o sistema de apoio das paredes mais rígido.

Na parede externa 2, por exemplo, o comportamento do gráfico mudou na passagem do 10º para o 11º pavimento, onde foram acrescentadas 16 estacas. Dessa forma, como mostra a Figura 4, essa mudança ocorreu principalmente pela inserção da estaca H1 que se encontra muito próxima à parede.

Na parede externa 4, tem-se a mesma análise, porém a mudança ocorre a partir do 9º pavimento devido a proximidade com as estacas J2 e L2 acrescentadas. E na interna 5, que tem a alteração a partir do 8º pavimento, a estaca D4 se torna responsável por esse tipo de resultado observado nas Figuras 28 e 29.

Nas análises do radier, os maiores valores de momentos negativos foram encontrados nos locais onde as estacas estavam posicionadas, sendo isso o esperado, pois são as regiões onde existem picos de tensão já que as estacas foram modeladas como elementos tipo frame. De acordo com a norma NBR 6118/2014, o radier se encontra no domínio adequado, como apresentado nos resultados, o que garante a ductilidade da peça.

Na laje do 4º pavimento, foi visto que houve um decréscimo nos valores dos momentos encontrados em relação ao aumento do número de pavimentos, e essa diminuição observada tem relação direta com o enrijecimento do radier, pois à medida que se aumenta o número de estacas, que ocorre gradualmente com o aumento no número de pavimentos, diminuem-se os deslocamentos da parte mais solicitada, mas não são significativos para mudarem a armação, por exemplo.

A atuação do vento não interferiu nos resultados das tensões de compressão, como comentado anteriormente, e isso é resultado de uma estrutura rígida, independente do seu tipo de apoio. Com o intuito de comprovar essa rigidez existente, comparou-se os valores obtidos dos deslocamentos em X, Y e Z com os limites normativos da NBR 6118:2014, apresentados na Tabela 13.3 da norma. Dessa forma, obteve-se $l/481$ e $l/667$, para o radier e o topo, respectivamente, considerando que os maiores vãos são 250 cm para o radier e 600 cm para o topo, respeitando o limite de $l/250$.

Além disso, os deslocamentos horizontais, para o radier e para o topo, foram $H/19608$ e $H/750000$, respectivamente, sendo o limite normativo dado por $H/1700$, sendo H da edificação 30 m.

Podemos concluir que o presente estudo demonstrou que o número e posições de estacas alteram significativamente as tensões de compressão nas paredes da edificação. O efeito do vento e o fato dos apoios de ponta da estaca serem rígidos ou flexíveis não alteram de modo considerável os resultados no dimensionamento das paredes.

Por fim, esse trabalho também tem como objetivo dar sequência aos estudos voltados a área de alvenaria estrutural. Dessa forma, abaixo estão sugestões para os próximos trabalhos a serem desenvolvidos:

- Utilizar como fundação o radier rígido, aumentando gradativamente a espessura do mesmo;
- Usa coeficientes de mola sobre o radier simulando um apoio elástico em toda região;
- Aumentar o f_{ck} do radier gradativamente para analisar o comportamento;
- Analisar o efeito das etapas de construções de cada pavimento no resultado final.

REFERÊNCIAS

ANTONIAZZI, J. P.; **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. 2011. 139f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.

AOKI, Nelson. **Aspectos geotécnicos da interação estrutura - maciço de solos**. São Carlos: SET-EESC-USP/Associação Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961**: Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto - Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961**: Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto - Parte 2: Execução e Controle de Obras. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

FELIPE, T. R. C.; **Novo método para a avaliação do risco de colapso progressivo em edifícios de alvenaria estrutural**. 2017. 150f. Dissertação apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

GOSHY, A. D.; **Soil-Foundation-Structure Interaction**. Journal of the Structural Division, American Society of Civil Engineering - ASCE, Reston (Virginia), v. 104, n. ST5, p. 749-761, 1978.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Contribuição à prática de fundações: a experiência de Recife**. 1995. Tese (Professor Titular) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A. **Construction Sequency Effect on Settlement of Buildings**. In: XIII ICSMSFE - International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. New Delhi, Índia, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering - ISSMFE. Proceedings..., v. 3, p. 1803-1806, 1994.

HOLANDA JÚNIOR, O. G. et al. **Influência da interação solo-estrutura em edifícios de concreto armado sobre fundações diretas submetidos a ações verticais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 41., Salvador, 1999. Anais... Salvador: Instituto Brasileiro do Concreto - Ibracon, 1999.

JUNIOR, A. R. B.; **Alvenaria estrutural e alvenaria tradicional – vantagens e desvantagens no empreendimento**. Revista Especialize On-line IPOG, Goiânia, ano 8, nº14, páginas (61). dez 2017.

JUNIOR, J. A. F.; **Alvenaria estrutural**. Universidade Federal do Paraná. 2013.107 slides.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015.

MOTA, M. M. C. **Interação solo-estrutura em edifícios com fundação profunda: método numérico e resultados observados no campo**. 2009. 222p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PARSEKIAN, Guilherme. **Apostila de alvenaria estrutural**. São Carlos: UFSCAR. Depto. de Engenharia, 2012.

PORTO, T. B.; **Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com a estrutura de fundação**. 2010. 243f. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

RAMALHO, Marcio; CORRÊA, Márcio. **Projetos de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.

RIBEIRO, C. M.; **Estudo numérico do comportamento tensão-deslocamento de fundação do tipo radier**. 2017.197f. Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica do Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

SCARLAT, A. S. **Effect of soil deformability on rigidity: related aspects of multistory buildings analysis**. ACI Struct. J., Detroit, v. 90, n. 2, p. 156-162, 1993.

SOUZA, R. A.; REIS, J. H. C. **Interação solo-estrutura para edifícios sobre fundações rasas**. Acta Sci. Technol., Maringá, v. 30. n. 2, p 161-171, 2008.

TAUIL, Carlos; NESSE, Flávio. **Alvenaria Estrutural**. São Paulo: PINI, 2010.