



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM PARA DOIS SISTEMAS
ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO**

RYAN HENRIQUE RODRIGUES DE FRANÇA

POMBAL – PB

2023

RYAN HENRIQUE RODRIGUES DE FRANÇA

ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM PARA DOIS SISTEMAS
ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leovegildo Douglas Pereira de Souza

POMBAL – PB

2023

F815a França, Ryan Henrique Rodrigues de.

Análise de segunda ordem para dois sistemas estruturais de um edifício em concreto armado / Ryan Henrique Rodrigues de França. – Pombal, 2023.

16 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Prof. Dr. Leovegildo Douglas Pereira de Souza”.
Referências.

1. Análise estrutural. 2. Estabilidade global. 3. Verticalização. 4. Coeficientes de estabilidade. I. Souza, Leovegildo Douglas Pereira de. II. Título.

CDU 624.01 (043)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

RYAN HENRIQUE RODRIGUES DE FRANÇA

**ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM PARA DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS
DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso do discente RYAN HENRIQUE RODRIGUES DE FRANÇA **APROVADO** em 27 de novembro de 2023 pela comissão examinadora composta pelos membros abaixo relacionados como requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL pela Universidade Federal de Campina Grande

Registre-se e publique-se.



Assinado digitalmente por LEOVEGILDO DOUGLAS PEREIRA DE SOUZA.08419377457
CN=LEOVEGILDO DOUGLAS PEREIRA DE SOUZA;
OU=19377457, OU=UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, O=ICPEdu, C=BR
Razão: Eu atesto a precisão e a integridade deste documento
Localização: Pombal - PB
Data: 2023.12.02 07:08:54-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 11.2.1

Prof. Dr. Leovegildo Douglas Pereira de Souza
(Orientador – UFCG)

Prof. Me. Luiz Ricardo da Silva Linhares
(Membro Interno – UFCG)

Eng. Civil Mateus Rodrigues da Costa
(Membro Externo – UFCG)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar esse trabalho as pessoas que estiveram do meu lado e me incentivaram a continuar e nunca desistir.

Ao Prof. Dr. Leovegildo Douglas Pereira de Souza pelo ótimo trabalho de orientação, atenção, compreensão, paciência e pela grande ajuda.

Aos meus pais, por terem me presenteado com a condição necessária para focar nos estudos e por terem moldado o adulto que eu me tornei.

Aos meus verdadeiros amigos pela companhia, pela ajuda e pelo carinho durante todos esses anos de convivência.

ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM PARA DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO

Second order analysis for two structural systems of a reinforced concrete building

Ryan Henrique Rodrigues de França, ryanhenriquerf@gmail.com

Leovegildo Douglas Pereira de Souza, leovegildo.douglas@professor.ufcg.edu.br

RESUMO

A construção de edifícios cada vez mais altos e esbeltos é impulsionada por diversos fatores, entre os quais se destacam o crescimento populacional desordenado, a escassez de recursos e a busca pela otimização dos espaços urbanos. A consideração dos deslocamentos causados por cargas horizontais e verticais se tornou crucial para a análise da estabilidade global dos edifícios, pois os efeitos gerados pelas ações do vento e imperfeições geométricas da própria estrutura, acabam se tornando preponderantes mediante a verticalização do edifício e podem comprometer o funcionamento pleno da estrutura quando não considerados. Para essa análise, diversos métodos, como o processo P-Delta e o coeficiente FAVT, podem ser empregados para avaliar a estabilidade. O presente trabalho tem por objetivo comparar os valores gerados por esses métodos em modelos estruturais com pórticos e pilares-parede. Os resultados obtidos foram satisfatórios, as variações máximas e mínimas entre os valores dos coeficientes se mostraram mais expressivos para os sentidos de vento 90° e 270°, apresentando valores em torno de 4,34% a 25,91% em 90° e 4% a 23,49% em 270°, e pouco significativos para os sentidos 0° e 180°, variando entre 1,36% e 9,24% em 0° e 0,87% a 2,74% em 180°. Esse resultado sugere que a implementação do sistema com pilares-parede não causou um impacto significativo sob a direção de vento 0 e 180, identificada como o sentido de menor exigência da estrutura.

Palavras-chave: Estabilidade global, Verticalização, Coeficientes de estabilidade.

ABSTRACT

The construction of increasingly taller and slender buildings is driven by several factors, including disordered population growth, scarcity of resources and the search for optimization of urban spaces. The consideration of displacements caused by horizontal and vertical loads has become crucial for the analysis of the global stability of buildings, as the effects generated by wind actions and geometric imperfections of the structure itself, end up becoming preponderant through the verticalization of the building and can compromise the full functioning of the structure when not considered. For this analysis, several methods, such as the P-Delta process and the FAVT coefficient, can be used to evaluate stability. The present work aims to compare the values generated by these methods in structural models with frames and wall columns. The results obtained were satisfactory, the maximum and minimum variations between the values of the coefficients were more significant for wind directions 90 and 270, presenting values around 4.34% to 25.91% in 90 and 4% to 23.49% in 270, and little significant for directions 0 and 180, varying between 1.36% and 9.24% in 0 and 0.87% to 2.74% in 180. This result suggests that the implementation of the system with wall pillars did not cause a significant impact under wind directions 0 and 180, identified as the direction of least demand for the structure.

Keywords: Global stability, Verticalization, Stability coefficients

1. INTRODUÇÃO

Fatores como, o avanço tecnológico com o desenvolvimento de softwares de modelagem e análise estrutural, aliado ao crescimento populacional desordenado, a escassez de recursos e a busca por um melhor aproveitamento de espaços urbanos, são fatores que impulsionaram a construção de edifícios cada vez mais altos e esbeltos.

Nos últimos anos, a consideração dos deslocamentos gerados pela ação de cargas horizontais e verticais na estabilidade global de um edifício tem ganhado importância. Visto que, esses deslocamentos podem se tornar expressivos ao ponto de criarem novos esforços, os chamados efeitos de segunda ordem que, quando somados aos esforços originais, podem comprometer o equilíbrio da estrutura e inviabilizar seu uso (CARMO, 1995).

Esses esforços são gerados pelas ações do vento e pelas imperfeições geométricas da própria estrutura, sendo mais evidenciados ao se variar de forma crescente a altura e por consequência a esbeltez dos pilares. Nesta situação, a avaliação global de estabilidade é um dos pontos de maior importância para a concepção estrutural de um edifício, pois é dessa forma que é garantida a segurança da estrutura frente a perda de sua capacidade resistente por consequência do aumento das deformações geradas por esses novos carregamentos (PAIXÃO et al., 2016)

Pelo fato de o concreto armado apresentar um comportamento não-linear em relação à sua constituição e geometria, chamados de forma respectiva como não-linearidade física e não-linearidade geométrica e por existir a possibilidade de falha do sistema estrutural e uma possível ruína do edifício mediante a não consideração desses efeitos em uma análise de primeira ordem, se torna relevante a realização de uma análise de segunda ordem. Condição a qual torna possível considerar o equilíbrio da estrutura em sua posição deslocada por meio da análise desses efeitos não-lineares (PINTO, 1997).

Segundo Franco (1985), vários métodos de cálculo podem ser utilizados para avaliar a estabilidade global frente a ações de segunda ordem, alternado do mais simples ao mais complexo. Nesse cálculo, as não-linearidades são consideradas por cada um deles, sendo a escolha do método mais apropriado feita ao analisar as características da edificação e sua sensibilidade a esses efeitos.

O processo P-Delta pode ser considerado um dos métodos mais utilizados na avaliação de estabilidade, em razão da sua facilidade de aplicação e por estimar de forma eficaz os efeitos que esses carregamentos geram na estrutura. Esse processo, compreende um cálculo feito de forma interativa onde a deslocabilidade sucessiva da estrutura é transformada em forças horizontais equivalentes (LOPES, SANTOS & SOUZA, 2005).

Por outro lado, o coeficiente FAVT é um processo simplificado exclusivo do sistema CAD/TQS que avalia a estabilidade global fazendo uso da mesma formulação do coeficiente Gama-z, mas que considera os deslocamentos horizontais provocados por cargas verticais atuantes na estrutura (MONCAYO, 2011).

Desse modo, o presente trabalho tem a finalidade de avaliar a estabilidade global de um edifício em concreto armado tendo como base um modelo estrutural formado apenas por pórticos e um modelo adicional composto por pórticos com a adição de pilares-parede. Os resultados obtidos para o coeficiente FAVT serão comparados aos obtidos para o processo P-Delta, a fim de avaliar a eficácia desses processos.

2. METODOLOGIA

A metodologia de uma pesquisa científica pode ser classificada em qualitativa e quantitativa. Uma pesquisa de caráter qualitativo é baseada em aspectos não mensuráveis e que podem ser definidos de forma descritiva. Em contrapartida, em uma pesquisa quantitativa os dados são coletados a partir de um sistema lógico mensurável e não de forma intuitiva (FACHIN, 2005).

Nesse sentido, o presente trabalho foi baseado em uma pesquisa do tipo quantitativa exploratória, por se tratar de uma análise sobre os parâmetros de estabilidade global e a aplicação deles em um edifício fictício com o intuito de melhor entender os fatores que podem influenciar na estabilidade. A figura 1, ilustra as etapas do trabalho.

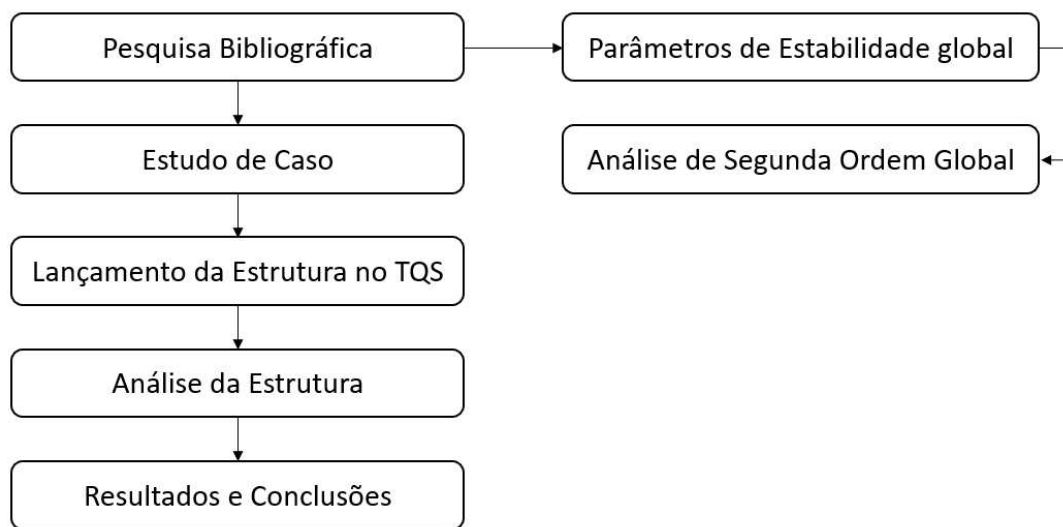


Figura 1 – Etapas do trabalho. (Fonte: Autor, 2023)

2.1. Estudo de caso

Para o presente estudo foi proposto um edifício fictício com estrutura em concreto armado. O modelo foi processado e analisado de acordo com o coeficiente de estabilidade FAVT, chamado de fator de ampliação pelo software CAD/TQS, calculado a partir da mesma formulação do coeficiente Gama-Z proposto pela NBR 6118 e o parâmetro RM2M1 obtido a partir do processo iterativo P-Delta para dois sistemas estruturais, variando-se a altura.

2.1.1. Descrição do modelo

Trata-se de um edifício residencial multifamiliar, com 4 apartamentos por pavimento e com altura de piso a piso de 3 metros, localizado de forma fictícia na cidade de Pombal-PB no estado da Paraíba. Para o estudo da estrutura, foi considerada o acréscimo do número de pavimentos tipo, a fim de analisar o comportamento dos parâmetros de estabilidade FAVT e RM2M1. A figura 2, ilustra a arquitetura adotada no estudo.

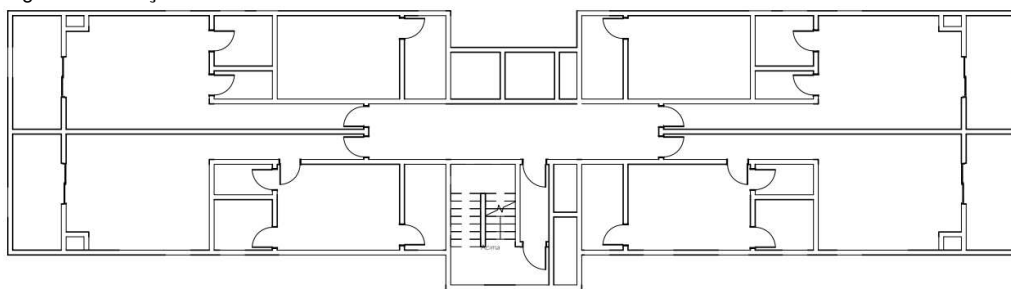


Figura 2 – Planta baixa pavimento tipo. (Fonte: Autor, 2023)

2.1.2. Ações atuantes na estrutura

Para a determinação dos valores das ações permanentes e variáveis atuantes na estrutura, foram seguidos os critérios estabelecidos pela norma NBR 6120:2019 “Ações para o cálculo de estruturas de edificações”. Sendo assim, as cargas consideradas no modelo pelo software CAD/TQS fazem uso de valores de carregamento pré-estabelecidos pela norma.

Por motivo de simplificação na modelagem e por tratar de um edifício residencial, foram adotados tipos de carregamento para tipos de lajes principais. Além disso, todas as cargas lineares de alvenaria distribuídas em vigas e lajes, foram calculadas por unidade de área mais altura de parede pelo software CAD/TQS. A tabela 1 expõe os valores adotados para os carregamentos em lajes e a tabela 2, o valor das cargas por área de parede utilizados.

Tabela 1 – Cargas distribuídas por área em lajes

Tipo	Descrição	Permanente (tf/m ²)	Acidental (tf/m ²)
1	Ambientes	0,1	0,2
2	Cobertura	0,15	0,1
3	Escada	0,1	0,3

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 2 – Cargas distribuídas por área de parede

Tipo	Descrição	Permanente (tf/m ²)
BLOCO 19	Alvenaria de bloco de concreto c/19cm	0,32

Fonte: Autor, 2023.

2.1.3. Ações do Vento

O cálculo das ações do vento no modelo em estudo, seguiram os critérios e recomendações estabelecidos pela NBR 6123:1988 “Forças devidas ao vento em edificações”.

Como entrada inicial de dados, foi definida a velocidade básica (V_0), entendida como a velocidade de uma rajada de 3 segundos, a pelo menos 10 metros acima do terreno em um campo aberto e plano, excedida em média uma vez a cada 50 anos.

Ao analisar o gráfico das isopletras da velocidade básica no Brasil ilustrado na figura 3 e levando-se em consideração a localização do edifício fictício, a velocidade básica do vento adotada para o estudo será de 30 m/s.

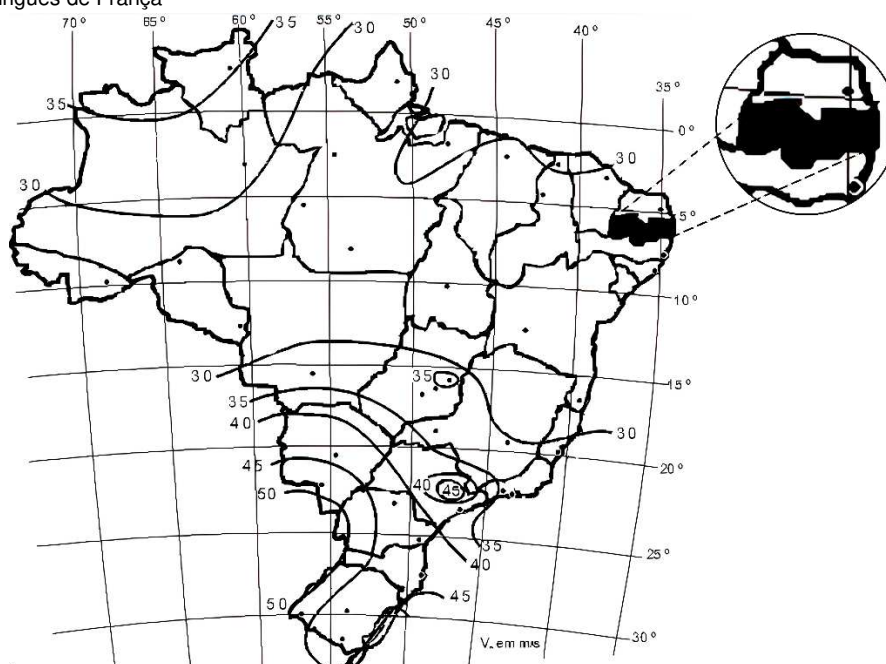


Figura 3 – Mapa de velocidade básica do vento. (Fonte: NBR 6123, 1988)

Em seguida, foram analisados os parâmetros S1 (Fator do terreno) e S2 (Categoria de rugosidade), o qual leva em consideração, de forma respectiva, as variações presentes no relevo do terreno e a rugosidade, adotando-se o valor de 1 para o parâmetro S1 e categoria de rugosidade IV para o parâmetro S2, ou seja, o terreno foi classificado como tendo obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.

Na sequência, dando continuidade à determinação do parâmetro S2, sendo a edificação em estudo, de 10,98 x 39,85 metros, foi classificada de acordo com as suas dimensões em planta como classe B, por apresentar a maior dimensão horizontal ou vertical dentro do intervalo de 20 a 50 metros.

Para o fator estatístico S3, foram considerados os valores expressos na NBR 6123 (ABNT, 1988). Para o modelo em estudo, foi adotado o valor de 1 para esse parâmetro, por pertencer ao segundo grupo classificado pela norma “Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação”. A tabela 3 ilustra em resumo os dados extraídos do modelo.

Tabela 3 – Entrada de dados para o cálculo de esforços devido ao vento

Entrada de dados	Valor
V0 - Velocidade básica (m/s)	30
S1 - Fator do terreno	1,00
S2 - Categoria de rugosidade	IV
S2 - Classe da edificação	B
S3 - Fator estatístico	1,00

Fonte: Autor, 2023.

Com a entrada desses dados, é criada a possibilidade de o software CAD/TQS estimar o valor dos coeficientes de arrasto para os sentidos de atuação do vento. O modelo em estudo foi caracterizado como uma edificação de baixa turbulência, ou seja, a incidência do vento se dá de forma perpendicular as suas faces e a altura total do edifício é maior que o dobro das edificações vizinhas.

Vale ressaltar que, esse procedimento de cálculo deve ser repetido para cada variação de altura no modelo original, já que, quanto maior for a altura da edificação maior

serão os efeitos gerados pelo vento e por consequência, maiores serão os coeficientes de arrasto calculados.

Por fim, foi verificado a influência do efeito do vento para os sentidos de atuação 0° e 180° e 90° e 270° . É notável que a menor inércia da estrutura atua no sentido de vento perpendicular a maior fachada, ou seja, na direção vertical 90° e 270° e a maior inércia no sentido 0° e 180° . A figura 4 ilustra o Ângulo de incidência de vento.

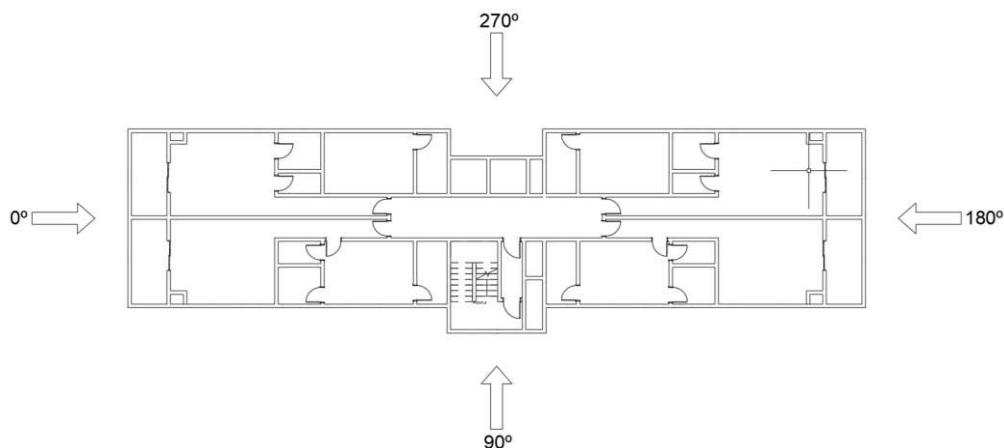


Figura 4 – Ângulos de incidência do vento. (Fonte: Autor, 2023)

3. Modelo de Cálculo Adotado

Segundo Kimura (2018), uma concepção estrutural dita convencional de um edifício em concreto armado, geralmente é constituído de elementos como vigas, pilares e lajes e a análise desses elementos é feita de forma integrada com o auxílio de um pórtico espacial. Para o modelo em estudo, foi adotado no software CAD/TQS o modelo estrutural IV – modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios. Os pilares foram considerados vinculados na fundação/solo, os efeitos construtivos foram desprezados, as ligações entre os elementos viga e pilar foram consideradas com a utilização dos critérios em trechos rígidos e conforme a flexibilização adotada pelo software.

Nesse modelo, a estrutura será modelada por um pórtico espacial composto por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, os efeitos gerados por ações verticais e horizontais nesses elementos serão calculados com o pórtico espacial. Por outro lado, as lajes serão entendidas como um diafragma rígido, não sendo considerados os efeitos gerados pelas ações horizontais em seu dimensionamento.

Nesse contexto, a integração entre lajes e o pórtico espacial ocorre pela transferência das cargas das lajes, simuladas por um modelo de grelha, onde os esforços resultantes das barras na laje sobre as vigas são transferidos como cargas para o pórtico espacial.

4. Lançamento da Estrutura

Para o lançamento da estrutura, as dimensões dos elementos pilar e viga foram padronizadas em cada um dos sistemas estruturais modelados. Para os pilares foram adotadas dimensões de $19 \times 40 \text{ cm}$ no sentido de menor solicitação e 19×50 no sentido em que a estrutura deveria ser enrijecida frente as solicitações do vento. Em alguns pontos da edificação e pela incapacidade da locação de um pilar intermediário, algumas vigas precisavam vencer vãos com dimensões consideráveis, para tanto foram consideradas vigas com dimensões variando entre $19 \times 55 \text{ cm}$ e $19 \times 40 \text{ cm}$.

Ademais, foram adotadas lajes maciças padronizadas com 10cm de espessura para todos os pavimentos. Vale ressaltar que, as cargas de algumas paredes internas foram lançadas diretamente sobre as lajes na forma de um carregamento linearmente distribuído. Para tanto, foi considerado uma carga permanente por área de $0,32 \text{ tf/m}^2$, usualmente adotada para blocos de concreto com 19cm, multiplicando pela à altura da parede.

Na sequência, o mesmo edifício foi modelado para dois sistemas estruturais distintos. O primeiro sistema, formado pela associação de pórticos bem definidos (figura 5) e um outro sistema, constituído por pórticos com a adição de pilares-paredes (figura 6). Vale pontuar que, com a inclusão desses elementos na concepção estrutural inicial, alguns pilares foram retirados e os pilares-paredes adicionados no sentido de maior solicitação a fim de enrijecer a estrutura frente as ações preponderantes, fazendo com que os pilares participem da estabilização global apenas como elementos de suporte.

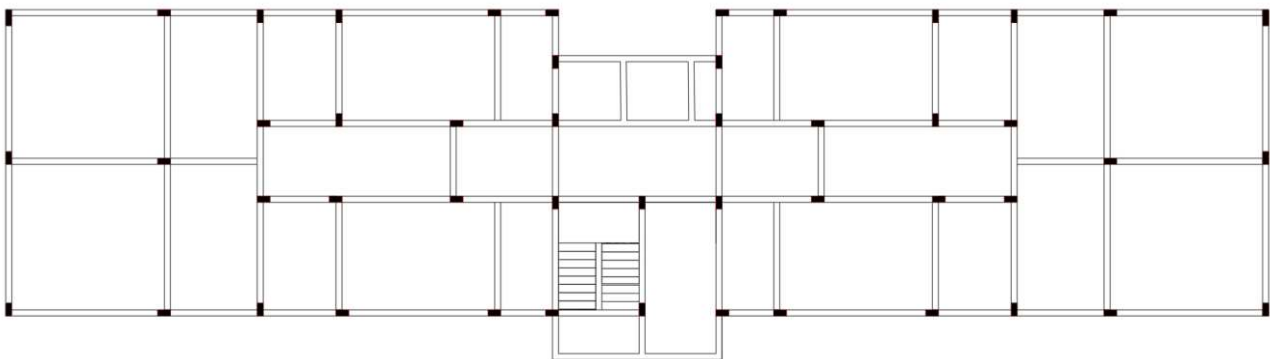


Figura 5 – Modelo 01: Sistema constituído apenas por pórticos. (Fonte: Autor, 2023)

Vale ressaltar que, para o lançamento dos pilares-parede foi considerado como valor mínimo para a maior dimensão do elemento, cinco vezes a menor dimensão. Para tanto, foram adotados pilares parede com 19×100 e 19×150 , respectivamente, no sentido de menor e maior exigência estrutural.

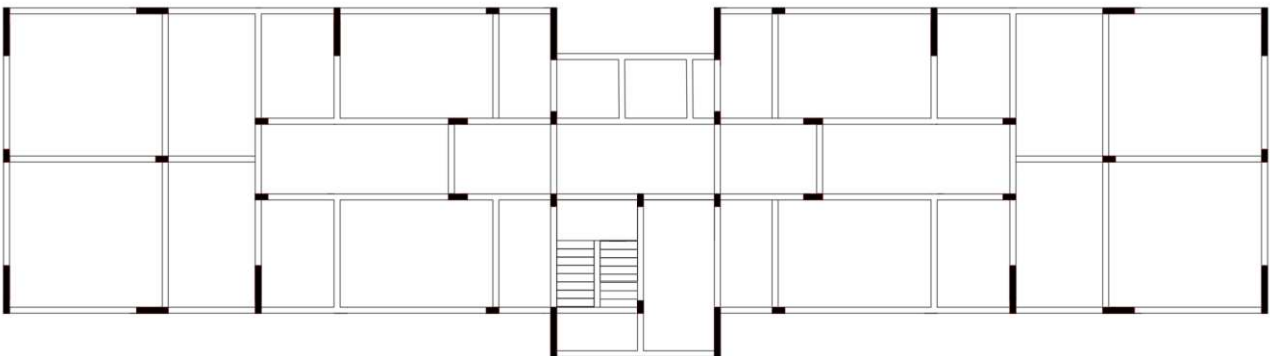


Figura 6 – Modelo 02: Sistema constituído por pórticos com a adição de pilares-parede. (Fonte: Autor, 2023)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a NBR 6118, uma estrutura de concreto armado pode ser classificada de acordo com a classificação da deslocabilidade do edifício como sendo uma estrutura composta por nós fixos ou nós móveis.

Conforme o item 15.5.2 da NBR 6118 os efeitos de 2ª ordem podem ser desprezados desde que não excedam 10% dos efeitos de 1ª ordem. Nesse contexto, caso a estrutura apresente coeficientes de estabilidade menores que 1,1, essa estrutura é entendida como constituída de nós fixos. Por outro lado, caso a estrutura apresente coeficientes variando

entre 1,1 e 1,3, essa estrutura é dita como de nós móveis, sendo necessário avaliar a estabilidade global considerando os efeitos de segunda ordem.

Nesse sentido, para o presente estudo, foram propostos dois lançamentos estruturais a fim de avaliar a eficácia dos sistemas adotados frente as ações do vento e imperfeições geométricas da própria estrutura à medida que a altura da edificação aumenta. O modelo 01, constituído apenas por pórticos, ilustrado na figura 5, e o modelo 02, constituído por pórticos com a adição de pilares-parede, conforme mostra a figura 6. Os valores obtidos para os coeficientes de estabilidade FAVT e RM2M1, para cada sentido de vento, estão expressos nas tabelas 4,5,6 e 7.

Tabela 4 – Valores obtidos para o coeficiente FAVT para o modelo 1

Altura (m)	90º		270º		0º		180º	
	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z
14,6	1,057	1,06	1,063	1,06	1,042	1,041	1,042	1,04
23,6	1,127	1,13	1,132	1,13	1,091	1,09	1,093	1,09
32,6	1,214	1,21	1,218	1,21	1,148	1,15	1,152	1,15
41,6	1,326	1,32	1,325	1,32	1,215	1,21	1,221	1,21
50,6	1,468	1,46	1,462	1,46	1,292	1,29	1,3	1,29

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5 – Valores obtidos para o coeficiente RM2M1 para o modelo 1

Altura (m)	90º	270º	0º	180º
14,6	1,053	1,065	1,043	1,043
23,6	1,127	1,135	1,091	1,094
32,6	1,221	1,223	1,15	1,156
41,6	1,339	1,337	1,218	1,227
50,6	1,492	1,488	1,3	1,312

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 6 – Valores obtidos para o coeficiente FAVT para o modelo 2

Altura (m)	90º		270º		0º		180º	
	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z	FAVT	γ _z
14,6	1,013	1,01	1,021	1,01	1,028	1,03	1,032	1,03
23,6	1,041	1,04	1,052	1,04	1,065	1,07	1,077	1,07
32,6	1,08	1,08	1,091	1,08	1,109	1,11	1,129	1,11
41,6	1,129	1,13	1,14	1,13	1,159	1,16	1,185	1,16
50,6	1,189	1,19	1,201	1,19	1,215	1,22	1,276	1,22

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 7 – Valores obtidos para o coeficiente RM2M1 para o modelo 2

Altura (m)	90º	270º	0º	180º
14,6	1,007	1,024	1,025	1,034
23,6	1,033	1,055	1,058	1,08
32,6	1,072	1,094	1,098	1,133
41,6	1,123	1,143	1,147	1,189
50,6	1,185	1,205	1,19	1,277

Fonte: Autor, 2023.

Observa-se que com o aumento da altura da edificação, os efeitos de segundo ordem se tornam cada vez mais preponderantes, o que resulta em valores cada vez maiores para os coeficientes de estabilidade.

Além disso, é notável que para o sistema estrutural composto apenas por pórticos, esses valores acabam se tornando muito maiores quando comparados aos valores dos coeficientes obtidos para o sistema com a rigidez fornecida pelos pilares-parede.

90° - Valores de FAVT

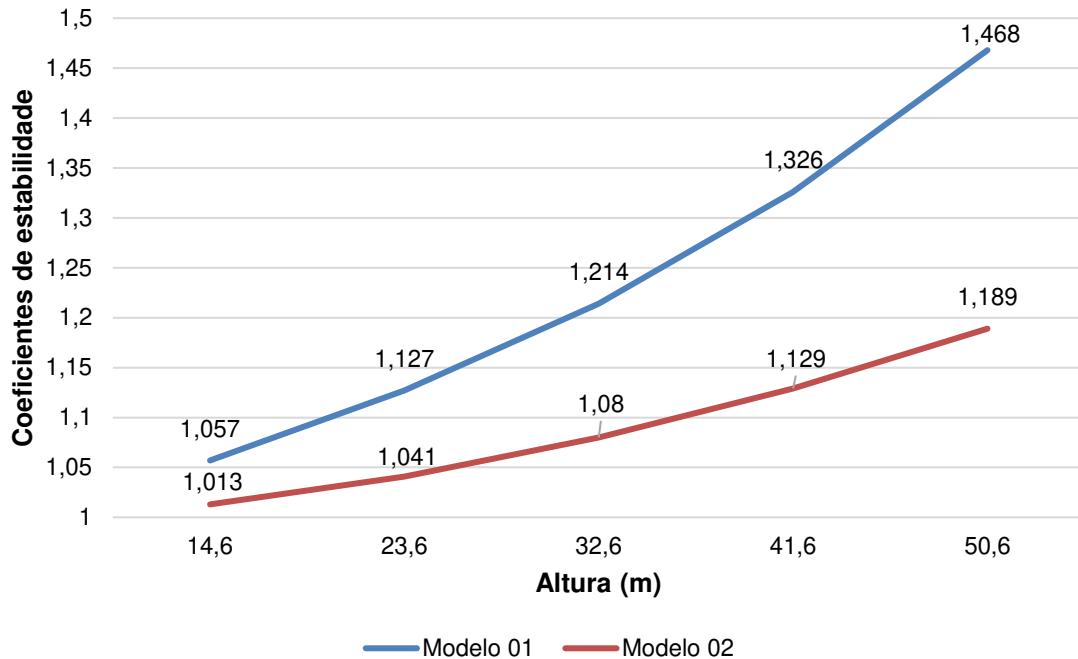


Gráfico 1 – Gráfico coeficiente de estabilidade FAVT x Altura do edifício em 90°. (Autor, 2023)

270° - Valores de FAVT

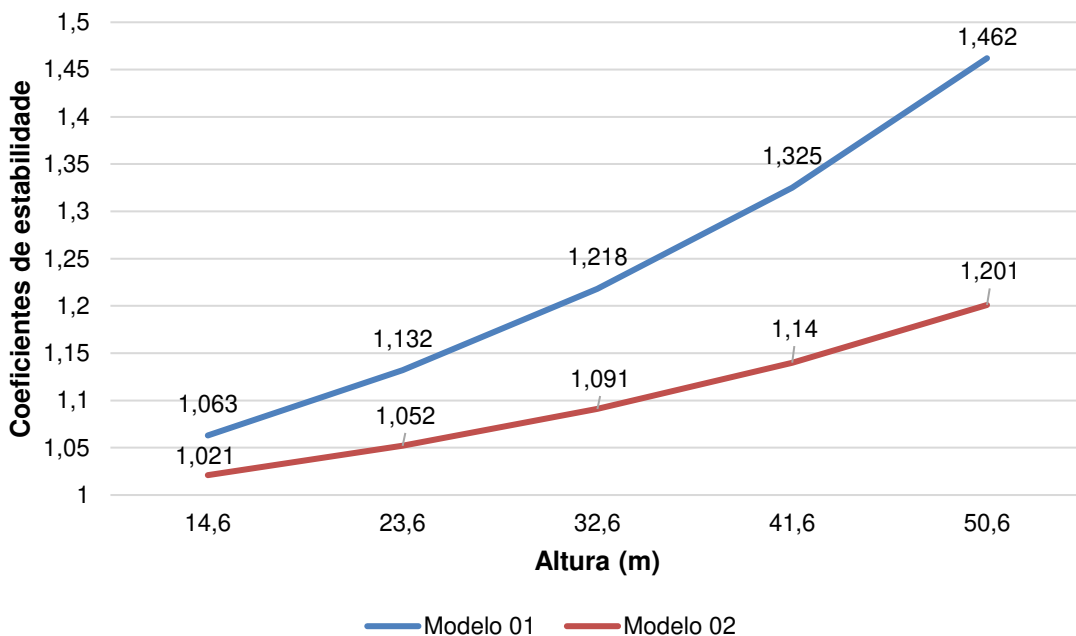


Gráfico 2 – Gráfico coeficiente de estabilidade FAVT x Altura do edifício em 270°. (Autor, 2023)

0° - Valores de FAVT

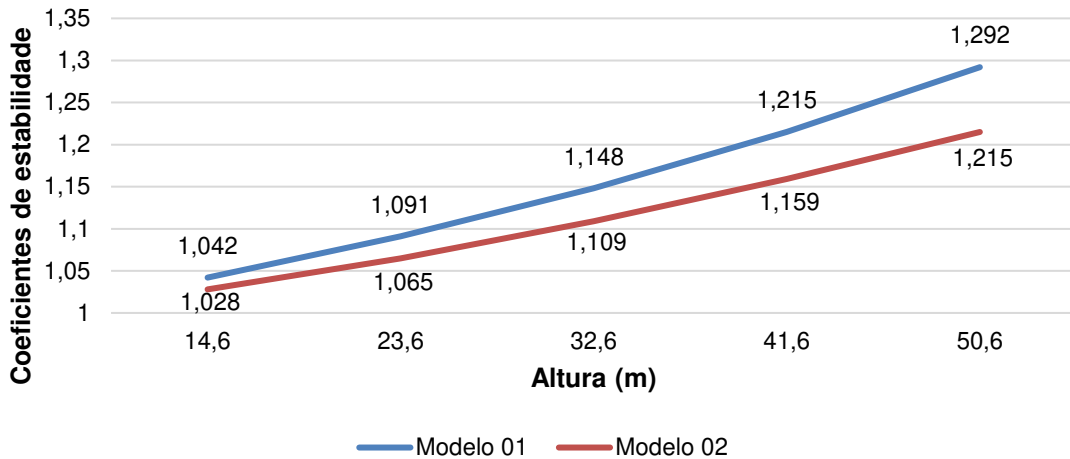


Gráfico 3 – Gráfico coeficiente de estabilidade FAVT x Altura do edifício em 0°. (Autor, 2023)

180° - Valores de FAVT

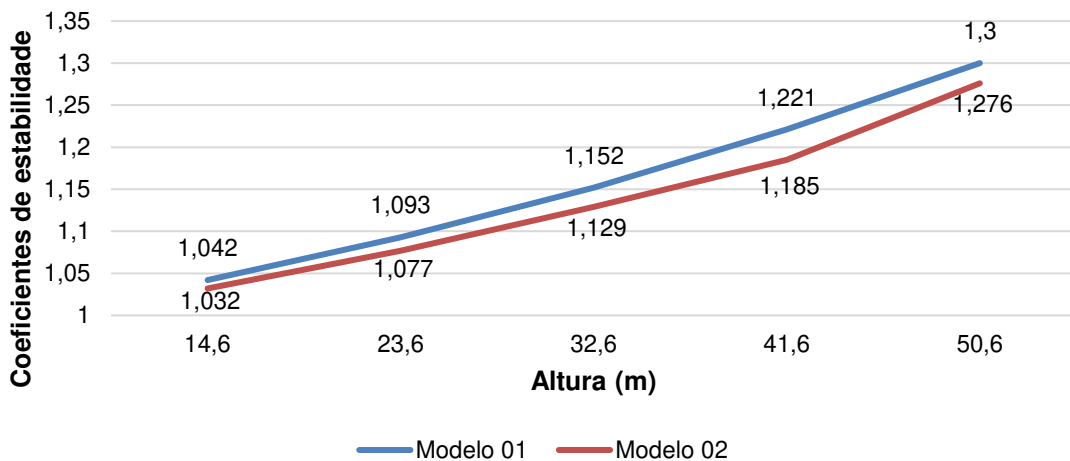


Gráfico 4 – Gráfico coeficiente de estabilidade FAVT x Altura do edifício em 180°. (Autor, 2023)

90° - Valores de P-Delta

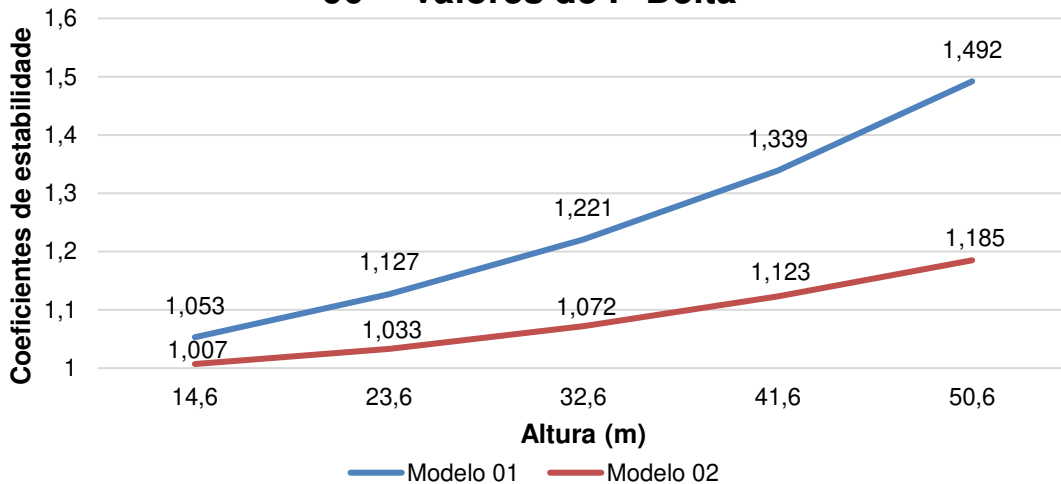


Gráfico 5 – Gráfico coeficiente de estabilidade RM2M1 x Altura do edifício em 90°. (Autor, 2023)

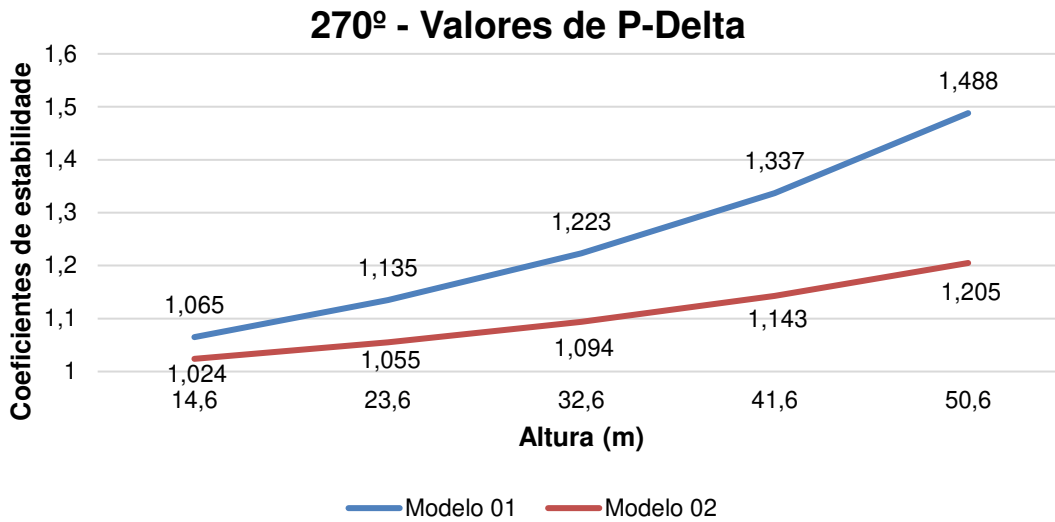


Gráfico 6 – Gráfico coeficiente de estabilidade RM2M1 x Altura do edifício em 270º. (Autor, 2023)

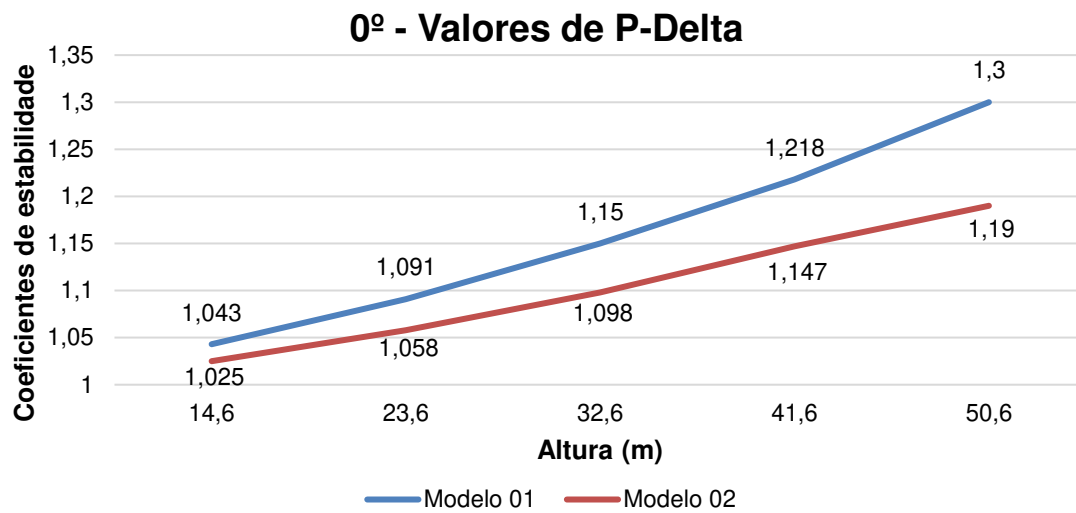


Gráfico 7 – Gráfico coeficiente de estabilidade RM2M1 x Altura do edifício em 0º. (Autor, 2023)

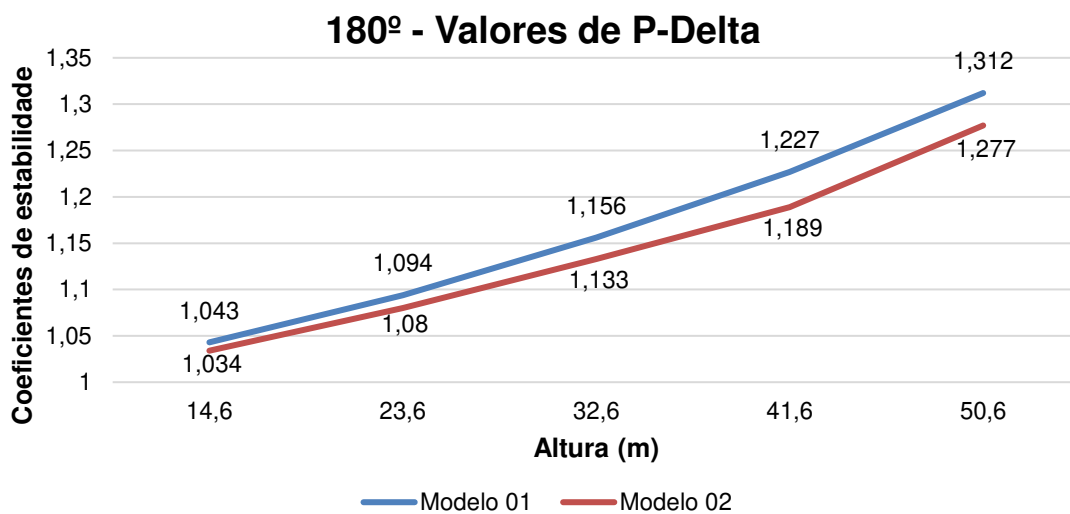


Gráfico 8 – Gráfico coeficiente de estabilidade RM2M1 x Altura do edifício em 180º. (Autor, 2023)

Analisando os gráficos 1, 2, 3 e 4, nota-se que os valores dos coeficientes de estabilidade para o sentido de vento 90° , foram maiores que 1,013 e menores que 1,468. No sentido de vento 270° , os coeficientes foram maiores que 1,021 e menores que 1,462. Para o sentido de vento 0° e 180° , identificado como o sentido de menor sollicitação da estrutura, os resultados não apresentaram variações tão expressivas sendo, maiores que 1,028 e menores que 1,292 em 0° e maiores que 1,032 e menores que 1,3 em 180° . Esse resultado sugere que, a implementação do sistema com pilares-parede não causou um impacto significativo na estabilidade do edifício sob as direções de vento 0 e 180. O sentido de maior inércia desses elementos foi estrategicamente alinhado com o sentido de maior sollicitação da estrutura. Desse modo, os pórticos assumiram a responsabilidade de enrijecer a estrutura na direção de menor exigência.

De forma análoga, ao analisar os gráficos 5, 6, 7 e 8, é perceptível uma pequena mudança nesses valores. Para o sentido de vento 90° , os coeficientes de vento apresentaram valores maiores que 1,007 e menores que 1,492. No sentido de vento 270° , os coeficientes foram maiores que 1,024 e menores que 1,488. Por outro lado, para o sentido 0° e 90° , os resultados obtidos foram maiores que 1,025 e menores que 1,3 em 0° e maiores que 1,034 e menores que 1,312 no sentido de vento 180° .

Através do que foi exposto, pode-se observar que, com a retirada de alguns pilares e adição do sistema com pilares-parede no sentido de maior sollicitação da estrutura. Os coeficientes de estabilidade se mantiveram dentro do limite esperado. Por outro lado, o sistema composto apenas por pórticos sem a adição dos pilares-parede apresenta valores acima do limite estabelecido, o que resulta na falta de estabilidade global para do edifício.

4. CONCLUSÕES

No trabalho foi desenvolvida e aplicada uma metodologia, a fim de entender como os efeitos de segunda ordem podem contribuir para a instabilidade de um edifício. Os resultados obtidos revelaram-se satisfatórios, indicando que é viável, até certo ponto, modelar estruturas com cerca de 10 pavimentos utilizando como sistema principal pórticos. Contudo, evidenciou-se a inviabilidade de ir além dessa quantidade de pavimentos com esse sistema, tornando-se necessário fazer uso de um modelo com a adição de pilares-parede, para que assim sejam atendidas às exigências estruturais.

Em uma perspectiva estrutural, o uso exclusivo do sistema composto apenas por pórticos é recomendado para edifícios de pequeno ou médio porte, onde os efeitos de segunda ordem não se mostram significantes. Nesse contexto, a adoção de elementos estruturais mais robustos como é o caso dos pilares-parede, poderia ser justificada em uma condição de altura onde a alternativa inicial com pórticos não satisfaz os critérios de estabilidade necessários.

De maneira geral, considerando que o sistema estrutural composto apenas por pórticos demonstrou um desempenho insatisfatório na quantidade máxima de pavimentos adotados no estudo, o que evidencia falta de estabilidade. A abordagem que parece mais adequada para otimizar o funcionamento pleno da estrutura nessa condição, seria a implementação dos pilares-parede como sistema de contraventamento principal. Dessa forma, seria possível aproveitar toda a capacidade resistente desses elementos, com o intuito de conferir à uma maior rigidez a estrutura no sentido de maior sollicitação, ao mesmo tempo que os pilares desempenhariam um papel fundamental como elementos de suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: **Força Devidas ao Vento em Edificações**, Rio de Janeiro, 1988.

CARMO, Regina Maria dos Santos. **Efeitos de segunda ordem em edifícios usuais de concreto armado**. 1995. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

FACHIN, Odilia. **Fundamentos de Metodologia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2005. 113 p.

FRANCO, M. (1985). **Problemas de estabilidade nos edifícios de concreto armado**. In: Reunião Anual do Ibracon: Colóquio sobre Estabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado, São Paulo, 1985.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 428 p.

LOPES, A. P., SANTOS; G. O.; SOUZA, A. L. A. C. (2005). **Estudo sobre diferentes métodos de análise p-delta**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 47., Olinda. Anais... Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo.

PAIXÃO, João Fernando Martins et al. Análise de estabilidade global em edifícios altos. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, s, v. 13, n. 1, p. 48-63, 31 out. 2016.

PINTO, R. S. (1997). **Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado**. 108p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

ZUMAETA MONCAYO, W. J. (2011). **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 221p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.