



Estudo do efeito das variações de geometrias de sistemas de contraventamentos em um edifício estruturado em aço

Study of the effect of geometries variations on bracing systems in a steel structured building

Guilherme Fonseca Antonialli¹

Gregório Sandro Vieira²

Resumo

O estudo realizado teve o intuito de verificar os deslocamentos horizontais de uma estrutura metálica aporticada, inicialmente rígida, e de outras estruturas com o mesmo esqueleto, porém rotulada e submetida a diferentes geometrias de contraventamento entre vãos. Os modelos de contraventamento adotados para análise foram do tipo “V”, simples diagonal e o modelo “K”. Os perfis utilizados foram iguais para todos os modelos, assim como as cargas do edifício e do vento incidente, para que possam ser comparadas as solicitações de cada estrutura de contraventamento juntamente com os deslocamentos dos mesmos, a qual é composta por 25m de comprimento, 9m de largura e 30m de altura. O lançamento da estrutura, dos esforços de carga, sobrecarga, vento e as análises dos mesmos foram feitos através do programa computacional STRAP (versão 2009), buscando simular os esforços, os contraventamentos propostos e os deslocamentos calculados. Dessa forma, concluiu-se que o contraventamento simples diagonal é o mais solicitado e menos eficiente na diminuição do deslocamento horizontal quando aplicada a combinação de cargas para o vento na direção de menor inércia do edifício. Enquanto isso, o modelo aporticado obteve os maiores deslocamentos horizontais devido ao vento no eixo de maior inércia, comprovando assim que os contraventamentos foram mais eficientes que a rigidez entre vigas e pilares para a face de maior comprimento.

Palavras-chave: Contraventamento; Deslocamento; Estrutura; Vento; Carga.

¹ Graduando, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

² Professor Doutor, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil

Abstract

The study carried out aimed to verify the horizontal displacements of a porticoed metallic structure, initially rigid, and of other structures with the same skeleton, but labeled and subjected to different geometries of bracing between spans. The bracing models adopted for analysis were the “V” type, simple diagonal and the “K” model. The profiles used were the same for all models, as well as the building and incident wind loads, so that the requests of each bracing structure can be compared together with their displacements, which is composed of 25m in length, 9m wide and 30m high. The launching of the structure, the load, overload, wind forces and their analysis were done through the computer program STRAP (2009 version), seeking to simulate the efforts, the proposed bracings and the calculated displacements. Thus, it was concluded that the simple diagonal bracing is the most requested and least efficient in reducing horizontal displacement when applying the combination of wind loads in the direction of lower inertia of the building. Meanwhile, the ported model obtained the highest horizontal displacements due to the wind on the axis of greatest inertia, thus proving that the bracings were more efficient than the stiffness between beams and columns for the longest face.

Keywords: Bracing; displacement; Structure; Wind; Charge.

1 INTRODUÇÃO

A verticalização dos centros populacionais é um processo natural, pois a escassez de espaço faz com que as moradias se tornem cada vez mais altas para atender o aumento populacional. Dessa forma, os projetos evoluem a cada dia para atender às necessidades estruturais e normativas desse tipo de edifício.

Sendo assim, meios alternativos e otimizações de diversos tipos de estrutura são procurados para viabilizar os projetos executivamente e financeiramente. Nesse parâmetro, é visto que, quanto maior a estrutura, maior a influência do vento e maior os seus deslocamentos horizontais, por isso, buscam-se meios efetivos de diminuir as movimentações de forma que não altere grosseiramente o plano arquitetônico do edifício e o orçamento do mesmo. Ademais, é de interesse do projetista garantir o conforto do usuário e o conforto visual do edifício, já que grandes deslocamentos podem causar desconforto durante a utilização do empreendimento.

Existem muitas seções de barras metálicas utilizadas no contraventamento dos prédios, tipos diferentes de ligações, e outros meios aplicados, mas essas não são as únicas variáveis para escolha de como contraventar um edifício. Os contraventamentos também se diferenciam em suas geometrias, podendo estar dispostas de diversas formas nos entre vãos, e cada uma delas possui sua eficácia e contribuição para diminuir os deslocamentos horizontais.

A intenção, portanto, é aplicar três diferentes tipos de contraventamento na mesma estrutura, compará-las entre si e com o modelo aporticado rígido sem nenhum tipo de contraventamento. Os contraventamentos escolhidos para análise foram em simples diagonal, modelo “V” e modelo “K”. As estruturas foram aplicadas no programa STRAP (Versão 2009) para obtenção dos deslocamentos e solicitações de cada uma delas.

Por fim, foi possível analisar qual dos métodos de contraventamento utilizados influencia melhor para atenuar os deslocamentos e viabilizar a estrutura de forma mais efetiva, priorizando um melhor desempenho e menor solicitação das seções dos elementos utilizados.

2 METODOLOGIA

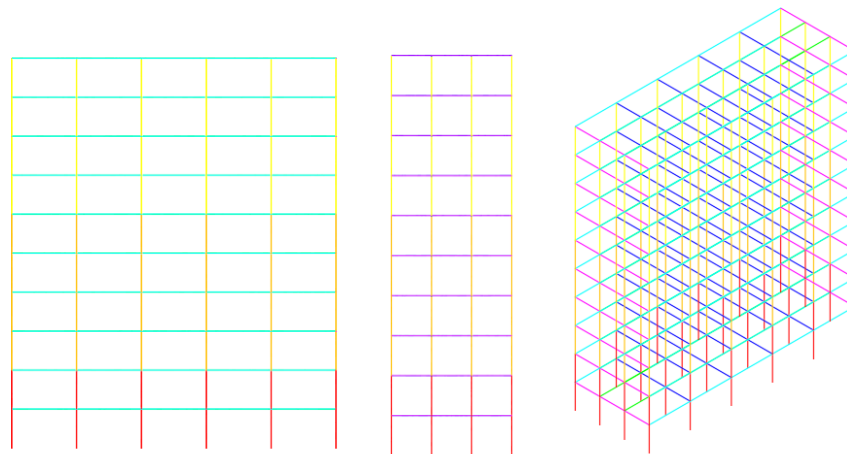
2.1 Apresentação das estruturas

A estrutura utilizada como esqueleto para os quatro pórticos estudados é composta por um edifício com 5 módulos de 5m em sua maior face, 3 módulos de 3m em sua menor face e 10 pavimentos com 3m de altura cada um. A seguir, foram anexadas as vistas frontais, laterais

esquerda e uma vista isométrica de cada um dos edifícios em estudo. As barras de cor preta são as barras de contraventamento consideradas em cada um dos edifícios.

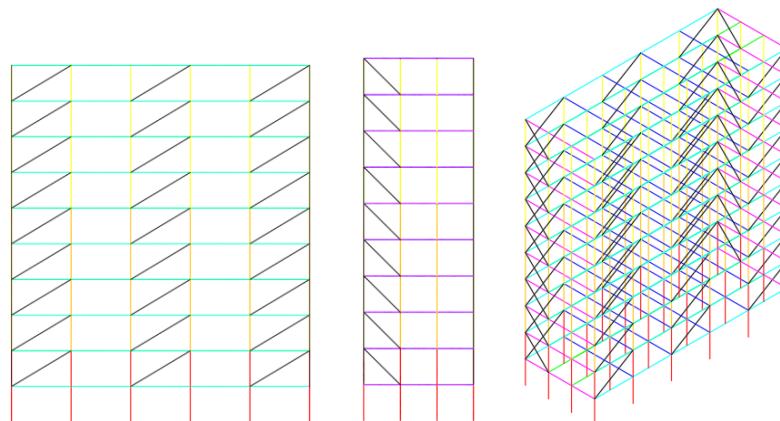
Foram analisados, além da estrutura apertada rígida, os três modelos de contraventamento, os quais são o simples diagonal, modelo em “V” e modelo em “K”. Na maior face do edifício foram inseridos três módulos de contraventamento por pavimento, enquanto na menor face foi disposto apenas um dos módulos com contraventamento para cada um dos andares, como apresentado nas figuras que seguem.

Figura 1: Modelo 1 – Contraventamento com nós rígidos



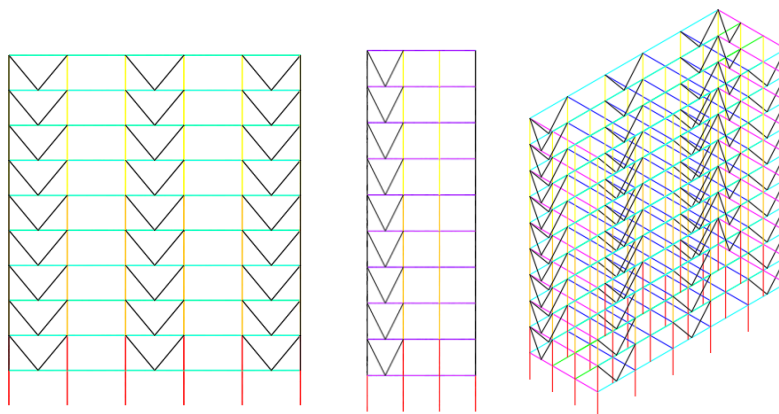
Fonte: Autor (2022)

Figura 2: Modelo 2 – Contraventamento em simples diagonal



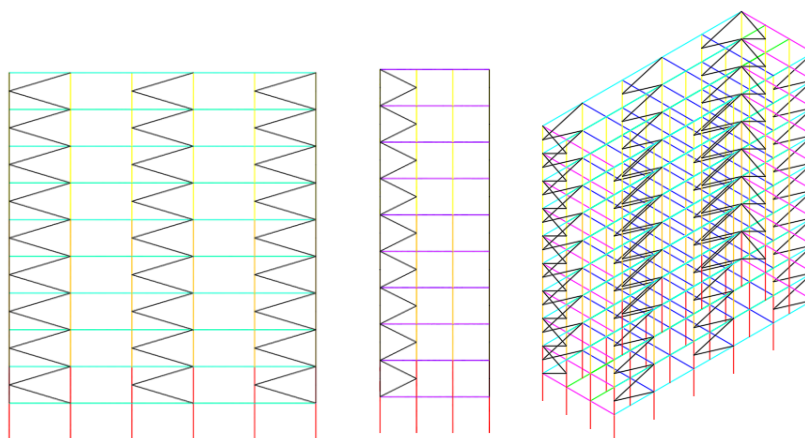
Fonte: Autor (2022)

Figura 3: Modelo 3 – Contraventamento em modelo “V”



Fonte: Autor (2022)

Figura 4: Modelo 4 – Contraventamento em modelo “K”



Fonte: Autor (2022)

O primeiro modelo adotado foi uma estrutura aporticada rígida, sem nenhum tipo de contraventamento, e nenhuma rótula, para que se pudesse comparar os deslocamentos e solicitações das barras desse pórtico com as estruturas contraventadas. As demais estruturas foram articuladas com rótulas nas extremidades das vigas e nas barras utilizadas como contraventamento, com o intuito de evitar que houvesse troca de momentos entre pilares e vigas além de maximizar os deslocamentos exercidos pelo vento na estrutura.

Sendo assim, de forma isolada, as vigas receberam o peso próprio, cargas e sobrecargas dos pavimentos, enquanto os pilares receberam seus pesos próprios e as forças dos ventos nas

duas direções incidentes. As cargas foram lançadas separadamente, para que, durante o cálculo, pudessem ser consideradas as combinações de carga mais adequadas para modelagem das estruturas e inserção das cargas para análise do edifício durante sua utilização.

2.2 Determinação do carregamento

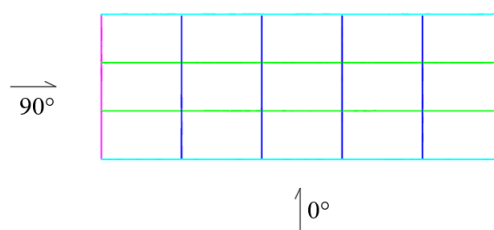
2.2.1 Cálculo das forças do vento

Para calcular as forças exercidas pelo vento, foi utilizada a ABNT NBR 6123 de 1988 – “Forças devido ao vento em edificações”, com parâmetros afixados para tal. Trata-se de um edifício comercial localizado na cidade de Bauru - SP, com vento de velocidade básica 40m/s segundo o perfil de isopletras de vento. O terreno é plano e encontra-se no subúrbio da cidade em consideração.

Sendo assim, o empreendimento classifica-se como Categoria IV por estar localizado no subúrbio da cidade, e Classe C por não ultrapassar 50m em nenhuma das dimensões.

O vento calculado foi distribuído nas áreas de contribuição por pavimentos, descarregados nos pilares e considerando as direções de 0° (eixo de menor inércia do edifício) e 90° (eixo de maior inércia).

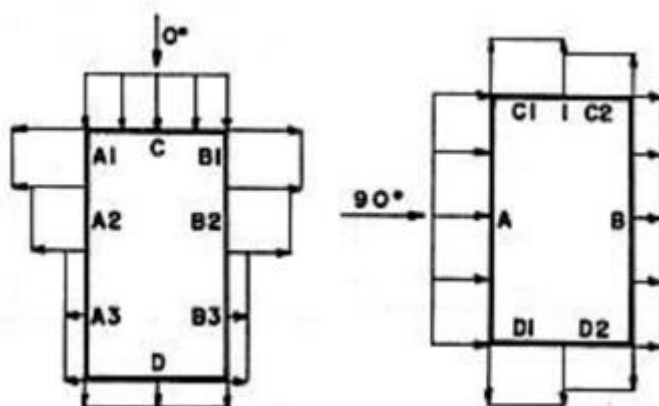
Figura 5: Direções do vento



Fonte: Autor (2022)

Além da incidência direta na face principal (barlavento), foram considerados os esforços de sota-vento das estruturas em questão, que como citado, foi utilizada a ABNT NBR 6123 como embasamento. Na Figura 6 estão apresentados os modelos de vento nas duas direções contidos na norma para visualização de como foi realizada a distribuição do vento no plano horizontal das faces dos edifícios.

Figura 6: Exemplo de vento distribuído nas faces da estrutura



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988)

2.2.2 Adoção das cargas e sobrecarga

Para obtenção das cargas permanentes dos materiais a serem utilizados na construção do edifício, foi utilizada a ABNT NBR 6120:2019 – “Ações para o cálculo de estruturas de edificações”. Os materiais considerados para o somatório das cargas permanentes foram: o concreto das lajes pré-moldadas, a argamassa a ser utilizada como contra piso, o porcelanato a ser assentado e o forro de gesso para acabamento no teto das salas.

Os elementos permanentes considerados para a construção do edifício somam o valor de $3,46\text{kN/m}^2$, carga essa a ser distribuída em cada uma das lajes, considerando a área total da projeção do edifício, de forma que possa ser descarregada apenas nas vigas.

A sobrecarga, por sua vez foi inserida isoladamente das cargas permanentes, pois é considerada como carga variável, que, por tratar-se de um edifício comercial, possui valor de carga uniformemente distribuída de $2,5\text{kN/m}^2$, considerando que as lajes suportem salas de uso geral e sanitários para os funcionários.

Dessa forma, com o lançamento do peso próprio dos materiais, carga permanente, sobrecarga e ventos das duas direções, foi possível escolher uma combinação de carga que atenda à situação de utilização do empreendimento, tornando possível analisar os deslocamentos horizontais e as solicitações das barras dos modelos estruturais.

2.3 Combinações dos carregamentos

Os carregamentos foram combinados no intuito de verificar como o edifício se comporta durante a utilização. Sendo assim, foi adotada uma combinação de serviço, pois as forças de vento consideradas se repetem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, que é de 50 anos.

Foi respeitado o fato de que o vento é uma variável frequente e reversível, e nem sempre com intensidade o suficiente para ser tratada como uma combinação rara de serviço. Logo, foi escolhida a combinação frequente de serviço, a qual conta com a seguinte equação:

$$F_{\text{ser}} = \sum_{i=1}^m F_{G_i,k} + \Psi_1 F_{Q_1,k} + \sum_{j=2}^n (\Psi_{2j} F_{Q_j,k})$$

- $F_{G_i,k}$ é o peso próprio e as cargas permanentes do edifício, que foram lançados efetivamente na estrutura, sem nenhum coeficiente de ponderação ou majoração;
- $F_{Q_1,k}$ são as cargas variáveis principais submetidas na combinação considerada;
- $F_{Q_j,k}$ são as cargas variáveis atuantes concomitantemente na mesma combinação;
- Ψ_1, Ψ_{2j} são os coeficientes das ações variáveis, que possuem valores diferentes para o tipo de edifício e cargas consideradas.

O coeficiente Ψ_2 da ação do vento é igual a 0, e, como o intuito do experimento é verificar os deslocamentos referentes ao mesmo, foram descartadas as combinações nas quais o vento trata-se de uma força variável secundária.

Sendo assim, restaram duas combinações a serem analisadas, as quais são considerando o vento na direção 0° como carga variável principal, e a mesma situação para o vento na direção 90° . Nos dois casos estudados, segundo a verificação da ABNT NBR 8800:2008 – “Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto em edifícios”, foram utilizados os valores de $\Psi_1 = 0,3$ para a ação do vento e $\Psi_2 = 0,4$ para a ação da sobrecarga, considerando equipamentos fixos por grande período de tempo no edifício comercial.

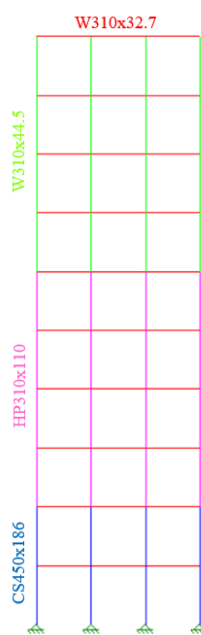
2.4 Definição dos perfis utilizados

O modelo aporticado rígido foi utilizado como esqueleto para as estruturas com contraventamento, porém com a adição das barras de contraventamento e as vinculações rotuladas das peças. Foi admitido que, como as vigas suportam apenas as cargas verticais, as barras poderiam possuir as mesmas seções em todas as estruturas, porque, independente do pavimento, elas seriam igualmente solicitadas nas estruturas contraventadas, já que as cargas distribuídas permanentes e de sobrecarga foram consideradas as mesmas para cada um dos pavimentos. Quanto aos pilares, foram seccionados em três partes para garantir menor carga e maiores solicitações nas barras dos pavimentos superiores.

Assim que os carregamentos foram inseridos nos modelos, definem-se alguns perfis no programa STRAP (Versão 2009) para que os esforços das barras pudessem ser calculados. Em seguida, foi possível verificar a solicitação de cada uma delas e escolher os perfis adequados para que as barras pudessem suportar os esforços solicitantes.

Sendo assim, os perfis escolhidos para atender às solicitações estão representados na Figura 7. Em todas as barras de contraventamento foram escolhidos perfis do tipo dupla cantoneira dobrada 2L 5" x 5/16", já que uma das barras de contraventamento do modelo de simples diagonal atingiu 91% de solicitação com o perfil citado.

Figura 7: Seções das barras – Face lateral esquerda



Fonte: Autor (2022)

Levando em consideração as solicitações verificadas, os pilares e os contraventamentos foram escolhidos para todas as estruturas com base no modelo de simples diagonal, por ser mais solicitado. A estrutura de contraventamento, como citado, apresentou solicitações altas com valores acima de 90% como representados em azul, e valores acima de 70% na cor verde escuro.

Pôde-se verificar que o modelo aporticado rígido possuiu as menores solicitações nos pilares, devido à melhor distribuição dos esforços entre eles devido às ligações rígidas entre as vigas e os pilares. Diferentemente dos pilares dos outros modelos, que foram mais solicitados nos locais onde os contraventamentos foram admitidos.

Apesar de as vigas possuírem baixas porcentagens de solicitação apresentada na Figura 8, as barras internas foram solicitadas em 80% nos modelos contraventados, enquanto o modelo rígido aporticado apresentou apenas 25% a 41% de solicitação nas barras, logo, foram escolhidas utilizando as estruturas rotuladas como parâmetro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Logo após a definição de todas as seções, calculou-se os deslocamentos levando em consideração as duas combinações que foram adotadas com o vento a 0° e 90°. Na Tabela 1 estão presentes os dados obtidos dos deslocamentos horizontais resultado dos ventos em questão. Como já explicitado, o vento a 0° está perpendicular à maior face, enquanto o vento à 90° está perpendicular à face de menor comprimento.

Por meio da ABNT NBR 8800:2008 foram calculados os deslocamentos máximos normativos (Δh) permitidos para estruturas como descritos abaixo, utilizando a altura que se queira verificar, os quais são todos os pavimentos, dividido por 500.

Logo,

$$\Delta h = H_x/500;$$

Onde H_x é a altura para qual se está calculando os deslocamentos horizontais.

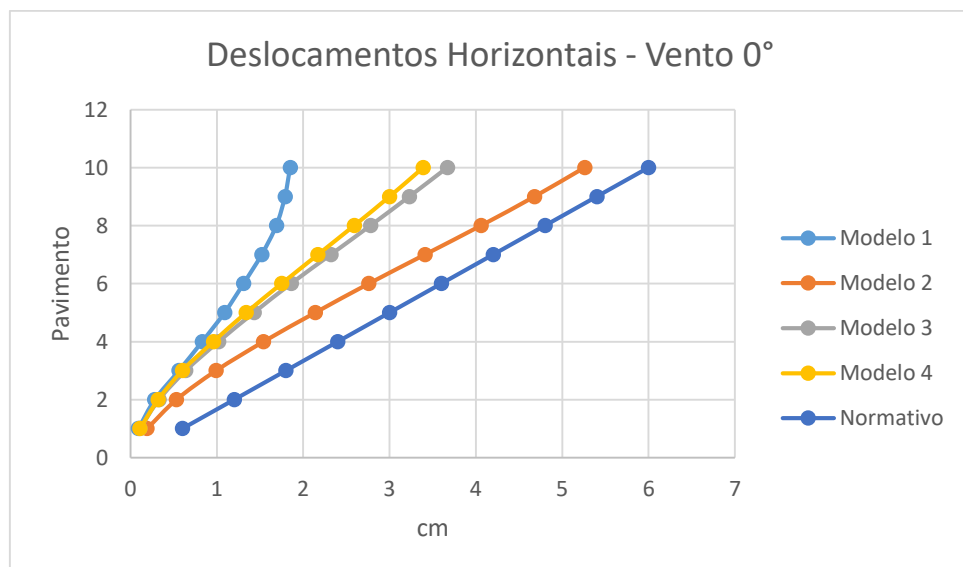
Tabela 1: Deslocamentos horizontais em centímetros

Andares	Deslocamento Horizontal [cm]								Normativo
	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3		Modelo 4		
	Vento 0°	Vento 90°	Vento 0°	Vento 90°	Vento 0°	Vento 90°	Vento 0°	Vento 90°	
10° Pavimento	1,85	1,33	5,26	0,49	3,67	0,24	3,39	0,43	6
9° Pavimento	1,79	1,29	4,68	0,45	3,23	0,22	3	0,39	5,4
8° Pavimento	1,69	1,17	4,06	0,4	2,78	0,19	2,59	0,35	4,8
7° Pavimento	1,52	0,96	3,41	0,34	2,32	0,16	2,17	0,31	4,2
6° Pavimento	1,31	0,68	2,76	0,29	1,86	0,14	1,75	0,26	3,6
5° Pavimento	1,09	0,58	2,14	0,24	1,43	0,11	1,34	0,22	3
4° Pavimento	0,83	0,45	1,54	0,19	1,02	0,09	0,96	0,17	2,4
3° Pavimento	0,56	0,31	0,99	0,14	0,64	0,07	0,6	0,13	1,8
2° Pavimento	0,28	0,16	0,53	0,09	0,33	0,05	0,32	0,09	1,2
1° Pavimento	0,09	0,06	0,19	0,05	0,11	0,03	0,11	0,05	0,6

Fonte: Autor (2022)

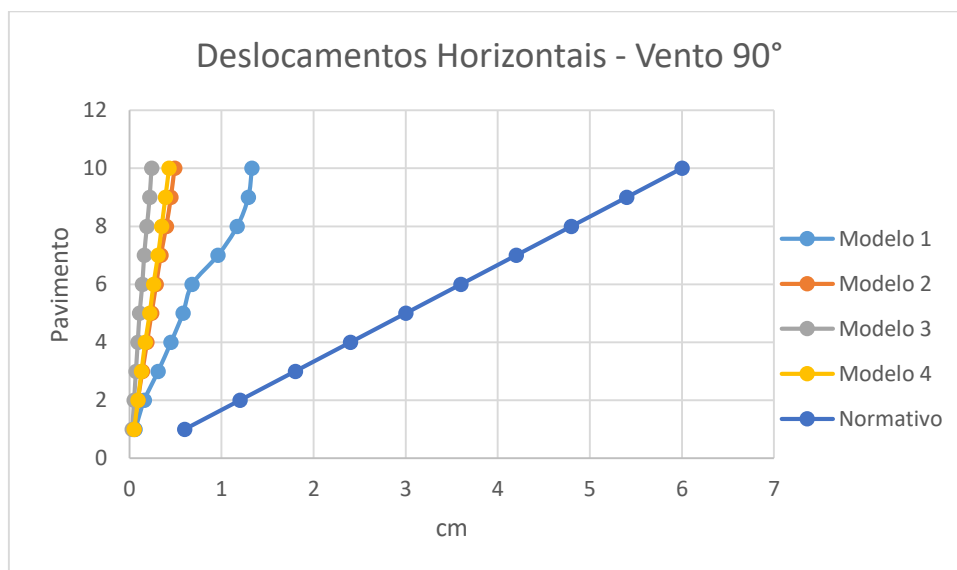
Sendo assim, foram desenvolvidos dois gráficos para visualização dos deslocamentos horizontais calculados de acordo com cada um dos modelos comparando-os inclusive com o máximo deslocamento calculado permitido segundo a norma.

Gráfico 1: Combinação 1



Fonte: Autor (2022)

Gráfico 2: Combinação 2



Fonte: Autor (2022)

Portanto, pode-se analisar que todos os deslocamentos calculados dos modelos de contraventamento atenderam à norma de deslocamento horizontal máximo dos pavimentos. O vento calculado a 0° está no eixo de menor inércia do edifício, por isso seus deslocamentos foram maiores do que aquele verificado na direção de 90°, por tratar-se de um edifício mais esbelto em uma das direções.

O modelo aporticado rígido foi o qual obteve os menores deslocamentos para o vento incidente a 0°, porém os maiores deslocamentos obtidos com o vento na direção do eixo de maior inércia do edifício. Já dentre os modelos com estrutura de contraventamento, o Modelo 4 foi o mais eficiente considerando o vento a 0°, porém possui pilares mais solicitados que o Modelo 3, o qual alcançou menores deslocamentos horizontais na direção de 90°.

4 CONCLUSÃO

Por meio dos deslocamentos calculados, pode-se concluir que o modelo aporticado rígido possui uma eficiência maior, no caso do vento a 0°, do que todos os modelos de contraventamento propostos, garantindo menores deslocamentos horizontais. Isso ocorre porque a rigidez das ligações do modelo aporticado rígido permite que as vigas transmitam os

esforços dos primeiros pilares a serem atingidos pelo vento, para os demais ao longo da estrutura, distribuindo melhor os esforços e as solicitações entre eles. Por esse motivo os pilares do modelo em questão foram menos solicitados do que os demais edifícios. Os deslocamentos calculados foram próximos aos verificados por Matos (2014), em seu Módulo II, com considerações similares ao presente estudo.

Em contrapartida, os modelos que utilizaram estruturas de contraventamento possuíram menores deslocamentos horizontais que o modelo aporticado rígido na direção de 90° , que pode ser compreendido devido à grande quantidade de módulos contraventados nessa direção. Sendo assim, os contraventamentos mostraram sua eficácia acima, ainda, do modelo rígido, que tem maior capacidade de dissipar as ações do vento entre os pilares.

Os modelos em “V” e “K” alcançaram valores próximos de deslocamento nas duas direções, porém, na direção de 0° o Modelo 4 foi mais eficaz na resistência às forças aplicadas, enquanto na direção de 90° , o Modelo “V” apresentou valores menores. Essas estruturas conseguiram dissipar melhor os esforços por possuírem mais nós de descarregamento do que o contraventamento em simples diagonal.

Porém, apesar de o modelo em simples diagonal alcançar grandes deslocamentos na direção do eixo de menor inércia, ele mostrou resultados parecidos aos outros modelos com contraventamento na direção do vento em 90° , comprovando sua eficácia de utilização em fachadas com maior comprimento, mesmo com apenas dois nós de ligação na estrutura.

Apesar de não poder ter sido tão útil comparado com o modelo rígido, os contraventamentos se mostraram efetivos na direção de maior inércia do que até mesmo o modelo aporticado rígido. Portanto, foi verificado que os contraventamentos, quando inseridos em mais módulos e de forma correta, possuem funções importantes para garantir menores deslocamentos horizontais.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.
- BELLEI, Ildony H. **Edifícios de múltiplos andares em aço**. 2. ed. rev. e ampl. de com a NBR 8800 São Paulo: Pini, 2008. 556 p., il. Inclui bibliografia. ISBN 9788572661843 (broch.).
- BOMFIM, Ícaro Eufrásio. **Estudo Paramétrico de Estrutura de Contraventamento: Método dos Pórticos Planos Compatibilizados no Topo**. Orientador: Antônio Macário Cartaxo de Melo. 101 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- CARVALHO, Syria Freitas De. **Análise da Eficiência dos Contraventamentos de Edifícios de Múltiplos Pavimentos a Partir da Avaliação dos seus Deslocamentos Máximos**. Orientador: Nichollas Emmanuel de Melo Nunes. 63 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário CESMAC, Alagoas, 2017.
- CHAVES, José Roberto Ferreira. **Análise Dinâmica de Pórticos Metálicos Contraventados**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- FRANCA, Marcelo Pessoa de Aquino. **Estudo da Eficiência dos Contraventamentos Treliçados em Edifícios com Estrutura de Aço**. Orientador: Romilde Almeida de Oliveira. 332 folhas. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.
- MATOS, Rafael Carrijo De. **Sistemas de Contraventamentos em Edifícios de Estrutura Metálica**. Orientador: William Bessa. 65 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas (FATECS), Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2014.
- MORTARI, Naisa N. e SILVA, Thaís E. Alves. **Análise Comparativa de Arranjos de Contraventamento em Estrutura de Aço**. Orientador: Álvaro Oliveira Júnior. Artigo – Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2021.