

## Modelos de Contraventamento para Melhora de Desempenho de Edifício Alto

Karoline Nonnenmacher Colferai<sup>1</sup>, Bruna Manica Lazzari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul / karoline.colferai@edu.pucrs.br

<sup>2</sup> Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul / bruna.lazzari@pucrs.br

### Resumo

A crescente urbanização vem criando espaço para prédios cada vez mais altos, devido a limitação de espaço horizontal. Assim, torna-se necessário buscar alternativas de concepções estruturais que atendam a arquitetura, os requisitos de norma e sejam viáveis economicamente. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é o lançamento estrutural de um edifício real em concreto armado utilizando o *software* TQS, assim como sua análise no ELS e ELU. Por fim foi proposta uma concepção estrutural alternativa, a fim de verificar e comparar seu desempenho quanto ao gama z, deslocamento entre pavimentos e deslocamento horizontal. Foram estudados 3 modelos, o modelo 0, edifício base, e os modelos 1 e 2, com a inserção de *outriggers* em um e dois pavimentos. Como objetivo secundário foi quantificado o consumo de concreto e de aço para cada modelo. Assim, a concepção estrutural proposta teve como resultado a redução dos parâmetros de instabilidade global e aumento do consumo de concreto e de aço.

### Palavras-chave

Concepção estrutural; Análise estrutural; Análise global; Outrigger.

### 1. Introdução

A concentração da população no meio urbano vem se intensificando com o passar do tempo e, devido à limitação dos espaços horizontais, torna-se necessária a elaboração de projetos de edifícios comerciais e residenciais cada vez mais altos. Uma das grandes preocupações com edifícios altos são os efeitos das ações horizontais. Por essa razão, dar a devida atenção à concepção estrutural é de extrema importância (DINIZ; LAGES; BARBOZA, 2019).

O objetivo deste trabalho foi realizar o lançamento e a análise no ELU e ELS de uma edificação em concreto armado real, seguindo os critérios previstos pelas NBR 6120/2019, NBR 6123/1988 e NBR 6118/2014, propondo uma concepção estrutural alternativa, através do *software* TQS. Além disso, teve como objetivo secundário fazer um comparativo de consumo de concreto e de aço para a alternativa proposta. O objeto de estudo é uma edificação residencial de 33 pavimentos, além do embasamento e da cobertura. Esta estrutura foi selecionada, pois, segundo a empresa responsável pelo projeto, esta edificação encontra-se próxima ao limite de deformações horizontais aceito pela norma. Dessa forma, o propósito do presente estudo foi avaliar soluções para amenizar as deformações horizontais deste edifício, visando obter melhorias na estrutura e redução nos custos. Foram realizadas análises de deslocamentos horizontais e verticais no ELS; dimensionamento de todos os elementos estruturais no ELU; e, verificação do parâmetro de estabilidade global. A solução escolhida para esse trabalho foi a inserção de *outriggers*, em 1 e 2 pavimentos.

### 2. Referencial teórico

Para a análise do edifício, é necessário um estudo sobre aspectos teóricos que são imprescindíveis para a compreensão do trabalho em questão. Assim, no referencial teórico são apresentados conceitos embasados em normas sobre os critérios de estabilidade global. Além disso, são abordadas alternativas de enrijecimento de estruturas de concreto e como a análise é feita através do *software* TQS.

## 2.1 Estabilidade Global

A instabilidade global ocorre em função de diversos fatores como: as ações verticais e horizontais, a altura e esbeltez da edificação, a rigidez de seus elementos e as ligações entre si. Os fatores que ocasionam a instabilidade global geram um aumento nas deformações. Assim, sua verificação é de extrema importância na concepção estrutural para garantir a segurança na estrutura (DINIZ; LAGES; BARBOZA, 2019).

É possível analisar a estrutura através dos efeitos de 1º ordem e de 2º ordem. Os efeitos de 1º ordem consideram que o equilíbrio do conjunto de elementos é verificado a partir de sua geometria inicial e os deslocamentos horizontais são pequenos, considerando a estrutura com nós fixos. Os efeitos de 2º ordem levam em conta a configuração deformada da estrutura e a presença de nós móveis, uma vez que os deslocamentos horizontais são significativos (CARVALHO; PINHEIRO, 2013). De acordo com a NBR 6118, em situações que as reações e solicitações não apresentarem acréscimo maior que 10% dos respectivos esforços de 1º ordem, os efeitos globais de 2º ordem podem ser desconsiderados. As ocasiões em que os efeitos de 2º ordem não podem ser desprezados, acarreta a não linearidade das ações e deformações. Existem dois tipos principais de não-linearidades: a não-linearidade física e a não-linearidade geométrica. A primeira tem relação com a não proporcionalidade entre a tensão aplicada sobre o elemento e a deformação sofrida, em função da alteração das propriedades físicas do material, como por exemplo a fissuração e a plastificação do concreto. A segunda analisa e define, ao longo do processo de carregamento, os acréscimos de deformações e esforços (DELALIBERA et al., 2014).

Para que a estrutura seja considerada como de nós fixos, ela deve desconsiderar os esforços globais de 2º ordem. De acordo com a NBR 6118, item 15.5.3, essa verificação pode ser obtida através do coeficiente  $\gamma_Z$ , que é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares. A estrutura é classificada de nós fixos se  $\gamma_Z \leq 1,1$ . A equação 5 determina o valor de  $\gamma_Z$  em cada caso de carregamento:

$$\gamma_Z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (\text{equação 5})$$

Em que:

$M_{1,tot,d}$  = soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$  = soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura da combinação considerada, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

De acordo com a NBR 6118 quando se trata da análise de estabilidade global, o valor representativo do módulo de deformação pode ser majorado em 10 %. Além disso, no item 15.7.3 da NBR 6118, a não linearidade física pode ser analisada de maneira aproximada considerando uma redução da rigidez dos elementos estruturais. Para as lajes e os pilares a rigidez pode ser reduzida para 0,30 e 0,80, respectivamente. Para as vigas esse valor é reduzido para 0,40 quando a armadura na região tracionada é diferente da região comprimida e 0,50 quando as armaduras são iguais.

No caso do  $\gamma_Z > 1,1$ , a estrutura será considerada de nós móveis, assim, devem ser levados em conta os efeitos globais e locais de 2º ordem e os efeitos de não linearidade física e geométrica. Já quando o  $\gamma_Z$  estiver entre 1,1 e 1,3, pode ser feita uma aproximação dos esforços finais majorando os esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por  $0,95\gamma_Z$ . Por fim, nos casos em que o  $\gamma_Z > 1,3$  a estrutura deverá ser analisada por métodos mais sofisticados, como o  $P - \Delta$  (FREITAS; LUCHI; FERREIRA, 2016).

## 2.2 Elementos de contraventamento

Demonstrando o que foi dito anteriormente, a estabilidade global tem influência direta da rigidez dos elementos estruturais como as vigas, os pilares e as lajes. Os dois primeiros têm função majoritária na estabilidade global enquanto o terceiro atribui a propriedade de diafragma rígido para a estrutura. As lajes, ao trabalharem como diafragma rígido, possibilitam a transferência dos esforços recebidos para os elementos de contraventamento, que impedem os deslocamentos horizontais. Dessa forma,

são abordadas neste item algumas soluções que conferem rigidez para a estrutura (FREITAS; LUCHI; FERREIRA, 2016).

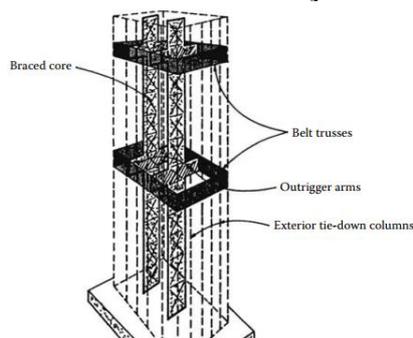
O sistema mais usual em edifícios é o de pórticos rígidos, que são constituídos pelo conjunto de vigas e pilares, dispostos paralelamente ou ortogonalmente, e são conectados rigidamente, resistindo aos esforços de flexão. A principal vantagem deste sistema é a flexibilidade em satisfazer as condições da arquitetura, permitindo uma melhor disposição dos elementos estruturais devido a sua forma retangular. Para edifícios de até 25 andares, é um sistema considerado econômico; sendo que, para edifícios de maior altura, pode ser viabilizado caso combinado com outro sistema de contraventamento (TARANATH, 2010).

Outro sistema bastante utilizado é o de núcleo estrutural, que é formado pela união de pilares paredes em direções diferentes ou por pilares metálicos contraventados, de modo a aumentar a resistência aos esforços laterais. Normalmente, estes elementos de enrijecimento são posicionados no núcleo de escada e de elevador para facilitar na questão arquitetônica (ALI; MOON, 2007). O sistema de núcleo estrutural pode ser projetado por paredes isoladas ou paredes associadas; porém verificou-se em estudos que as paredes associadas podem reduzir os deslocamentos entre 17% e 21% (BERNARDI; FILHO; PACHECO, 2010).

Outras alternativas estão sendo estudadas em busca de melhores soluções para a redução dos deslocamentos horizontais, além de considerar os custos envolvidos. Um método que vem sendo bastante empregado são os *outriggers*, que são elementos estruturais de alta rigidez, responsáveis por transferir uma parte dos esforços que seriam absorvidos apenas pelo núcleo da estrutura para os pilares externos do edifício. Quanto maior a altura dos *outriggers*, mais rígida será a estrutura, sendo em muitas situações uma tarefa difícil realizar a compatibilização com a arquitetura. Em algumas situações, por causa da altura das vigas, é necessário utilizar mais de um andar para a implementação desse sistema. Assim, os *outriggers* normalmente não são posicionados em sua melhor localização, sendo limitados à instalação em pisos intermediários ou de serviço (HO, 2016).

A transferência de parte dos esforços faz com que o momento externo seja resistido não apenas pela flexão do núcleo, mas também pela tensão de tração das colunas à barlavento e compressão à sotavento. Os pilares da fachada muitas vezes são conectados entre si por meio de vigas, denominadas *belt truss*, para auxiliar na melhor distribuição dos esforços, uma vez que esses pilares não são dimensionados para receber os esforços do núcleo. Por fim, é importante enfatizar que o uso do sistema de *outriggers* é eficiente apenas no auxílio da absorção dos esforços horizontais, não sendo funcional para aumentar a resistência ao cisalhamento. A figura 1 indica soluções de contraventamentos citados acima para uma edificação (TARANATH, 2010).

**Figura 1: Contraventamentos na edificação: Outriggers e belt truss**



(fonte: TARANATH, 2010)

Para determinar o posicionamento dos *outriggers* é necessário avaliar duas variáveis. A primeira delas é a rigidez, que possui valor mínimo quando os *outriggers* se localizam no topo da edificação e máximo na situação contrária. A segunda é a magnitude de rotação que, em decorrência de carregamentos laterais uniformemente distribuídos, um elemento em balanço varia parabolicamente com um valor máximo desse ângulo na parte superior e mínimo na parte inferior. Portanto, a melhor localização do *outrigger*, do ponto de vista da rigidez, é na base; já da perspectiva da magnitude de rotação, é interessante posicionar *outrigger* no topo (TARANATH, 2010).

Assim, verificando as duas variáveis, é possível concluir que a melhor posição para executar um *outrigger* único, é aproximadamente na metade da altura do edifício. Já quando forem escolhidos dois andares com esse sistema, as posições ideais são a um terço e a dois terços da altura total. As posições ótimas para a inclusão de um e dois *outriggers* estão representadas nas equações 6 e 7, respectivamente, sendo H a altura total do edifício (TARANATH, 2010).

$$x = 0,455 \times H \quad (\text{equação 6})$$

$$x_1 = 0,312 \times H \quad e \quad x_2 = 0,685 \times H \quad (\text{equação 7})$$

### 2.3 Software TQS

Com o avanço dos programas computacionais que auxiliam na engenharia é improvável ver o lançamento e análise de grandes estruturas feitos manualmente, uma vez que, com o uso de programas, os estudos são feitos com um tempo mais reduzido e com um nível de confiabilidade maior. Entretanto, o uso de *softwares* não altera a responsabilidade do engenheiro, que tem função de interpretar os resultados obtidos (KIMURA, 2018).

O presente trabalho utiliza o *software* TQS para propor diferentes concepções estruturais para o edifício em estudo. É importante frisar que o programa escolhido para a análise do edifício segue as normas brasileiras em vigor. Além disso, o programa já calcula as cargas de peso próprio dos elementos estruturais, assim como as cargas de vento utilizadas na edificação. Logo, o *software* gera as combinações de ações verticais e horizontais.

Após o lançamento dos elementos de lajes, vigas e pilares, deve ser definido o modelo estrutural que será utilizado para a análise do edifício. Os modelos estruturais disponíveis são o Modelo IV e o Modelo VI, em que o processamento dos esforços é realizado pelos modelos de grelhas e pórticos. A principal diferença entre os dois é que, no segundo modelo citado, as lajes são consideradas na análise global da estrutura.

É importante ressaltar que a representação dos elementos estruturais no TQS é feita a partir de uma única barra com propriedades de área, inércia à torção e inércia à flexão. Entretanto, para o caso de pilares-parede e vigas-parede, a representação por apenas uma única barra não retrata o comportamento real da estrutura, uma vez que é gerado uma assimetria na mesma. Assim, a alternativa encontrada é discretizar as peças em malhas de elementos de barras, verticais e horizontais (MEDEIROS, 2014).

Outro fator importante é a ligação entre os elementos estruturais, que o *software*, assim como a NBR 6118, considera de forma rígida. Entretanto, há a possibilidade de flexibilizar essa ligação, ou seja, redistribuir os momentos. De acordo com a NBR 6118, item 14.6.4.3, a capacidade de rotação dos elementos estruturais é função da posição da linha neutra no ELU. Dessa forma, ao se fazer uma redistribuição, ou seja, reduzir os momentos fletores, a profundidade da linha neutra deve ser limitada pela equação 8. Além disso, o coeficiente de redistribuição deve ser maior ou igual a 0,90 para nós móveis e maior ou igual a 0,75 para outros casos.

$$\frac{\chi}{d} \leq \left( \frac{\delta - 0,44}{1,25} \right) \text{ para concreto com } f_{ck} \leq 50MPa \quad (\text{equação 8})$$

Em que:

$\frac{\chi}{d}$  = posição da linha neutra;

$\delta$  = coeficiente de redistribuição.

## 3. Desenvolvimento

A seguir, é apresentada a caracterização e a análise da edificação utilizada como base para o estudo em questão (Projeto Base – Modelo 0) e dos modelos 1 e 2, em que é realizada a inserção de *outriggers* na estrutura. Nos modelos são verificados os deslocamentos verticais e horizontais, em comparação com o Modelo 0. Por fim, é observado o consumo de concreto e de aço em cada uma das alternativas propostas.

### 3.1 Projeto Base – Modelo 0

O presente estudo se baseou em uma edificação residencial real, localizada na cidade de São Paulo, contendo embasamento, torre e cobertura. O embasamento é composto por três subsolos, térreo e 1°

pavimento. A torre é formada pelo 2º pavimento e pavimento tipo com 32 andares. A cobertura é a junção do piso da casa de máquinas, piso dos reservatórios e cobertura dos reservatórios.

As cargas consideradas na estrutura foram definidas conforme o projeto de arquitetura do edifício, e estão de acordo com a NBR 6120.

O projeto deste edifício foi classificado dentro da classe de agressividade ambiental (CAA) II, que, de acordo com a NBR 6118, é considerada moderada, uma vez que se encontra em ambiente urbano. Conforme a tabela 7.1 da NBR 6118, em decorrência da classe de agressividade, são definidos valor mínimo de 25 MPa de resistência característica à compressão e valor máximo de 0,60 de relação água/cimento (a/c) para o concreto armado. Por fim, na tabela 7.2 da NBR 6118, são indicados os cobrimentos mínimos para cada elemento estrutural, sendo 2,5 cm para lajes e 3 cm para vigas e pilares. Contudo, se utilizada classe de resistência maior que a mínima, pode-se diminuir em 0,5 cm os cobrimentos. Dessa forma, para o edifício de estudo foram adotados os valores de resistência do concreto, relação água/cimento e cobrimentos indicados no quadro 1. Além disso, o agregado considerado foi o granito.

**Quadro 1: Valores considerados para o edifício base**

CAA	Concreto			Cobrimento	
	Relação a/c	Resistência do concreto			
II	0,55	$f_{ck} \geq 50MPa$ piso da casa de máquinas à cobertura dos reservatórios	$f_{ck} \geq 45MPa$ demais pavimentos	Lajes 2 cm	Vigas e Pilares 2,5 cm

(fonte: AUTORA, 2022)

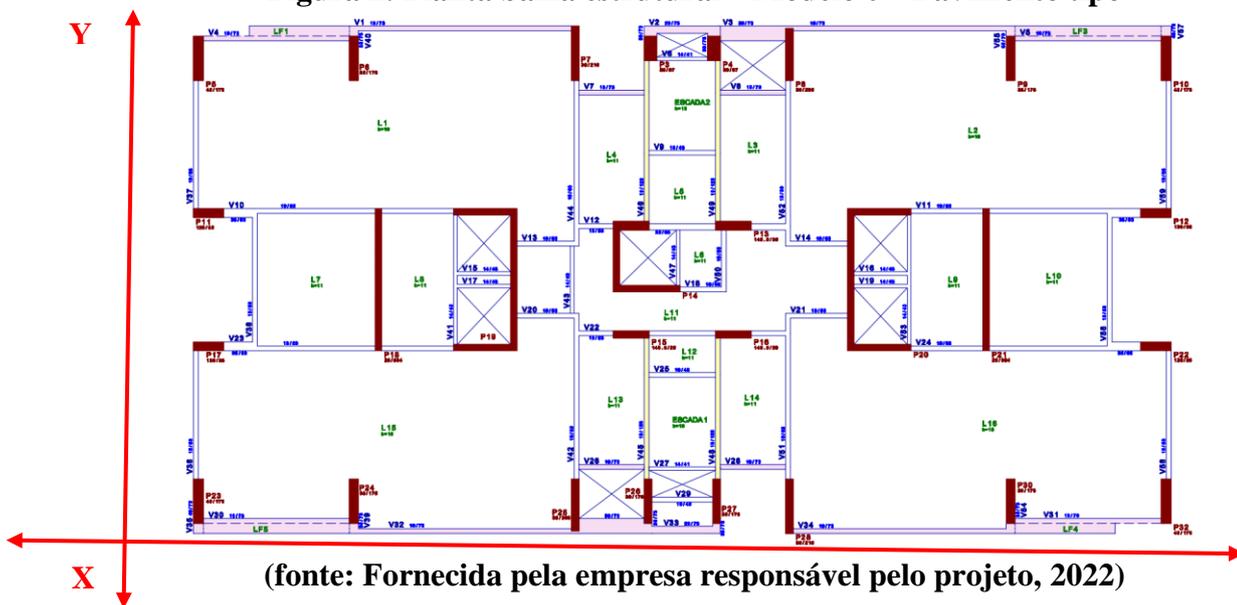
Conforme a NBR 6123, para a cidade de São Paulo, a velocidade básica do vento ( $V_0$ ) considerada foi de 38 m/s. Em relação aos fatores para a consideração das cargas de vento, foi utilizado o fator topográfico (S1) com valor igual a 1,00, a categoria de rugosidade (S2) igual a IV e o fator estatístico (S3) igual a 1,00. A categoria de rugosidade foi determinada considerando terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados e as zonas florestal, industrial, urbanizada, parques e subúrbios densos. A determinação do fator estatístico levou em conta edificações em geral com alta taxa de ocupação. Com relação aos critérios no *software* TQS, o modelo estrutural considerado foi o modelo VI, em que o processamento dos esforços é realizado pelos modelos de grelhas e pórticos, e as lajes são consideradas na análise global da estrutura. Assim, os esforços também são resistidos pelas lajes, gerando o aumento da quantidade de armadura e, por consequência, redução das solicitações nos pilares e suas armaduras. Além disso, nas lajes foi feita uma redistribuição nos esforços em que o fator de engastamento foi reduzido para 0,90 e os deslocamentos verticais foram analisados a partir da grelha não-linear.

Para a escolha da resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ) a ser utilizada no edifício em estudo, foi feita uma análise com relação aos deslocamentos horizontais, verticais (flechas) e valores de gama z ( $\gamma_z$ ). Os modelos analisados foram os de  $f_{ck} = 40MPa$ ,  $f_{ck} = 45MPa$  e  $f_{ck} = 50MPa$ . Através do cálculo do gama z, a estrutura foi classificada como de nós móveis e os deslocamentos horizontais estavam dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118. Porém, ao considerar na modelagem computacional os elementos estruturais com concretos de  $f_{ck} = 40MPa$  e  $f_{ck} = 45MPa$ ; verificou-se que as flechas estavam acima do limite de norma nos pavimentos correspondentes ao piso da casa de máquinas e à cobertura dos reservatórios. Em relação à modelagem realizada considerando o valor do  $f_{ck}$  equivalente a 50 MPa, verificou-se que as flechas estavam dentro dos limites aceitos pela norma em todo o edifício. Visando otimizar a estrutura, foi proposta mais uma alternativa para a definição do modelo de referência. Foi adotado  $f_{ck} = 45MPa$  para toda a estrutura, com exceção das lajes e vigas do piso da casa de máquinas à cobertura dos reservatórios, em que foi adotado o  $f_{ck} = 50MPa$ .

Considerando a NBR 6118, o parâmetro gama z define a edificação entre nós fixos, caso seu valor seja menor ou igual a 1,10; e nós móveis, para valores maiores que 1,10. O limite do deslocamento lateral é a altura total do edifício, 117,29 metros, dividido por 1700, resultado em 6,90 cm. Por fim, o

limite do deslocamento entre pisos é o desnível entre dois pavimentos vizinhos dividido por 850, nesse caso o maior deslocamento entre pisos ocorreu no pavimento casa de máquinas em que o desnível é 1,56 m, logo o limite é 0,18 cm. No quadro 2 são demonstrados os valores do gama z, dos deslocamentos horizontais máximo e dos deslocamentos entre pisos para cada uma das alternativas estudadas no sentido do vento X e do vento Y. Além disso, é possível visualizar os valores das flechas obtidas e das flechas limites para o pavimento correspondente à casa de máquinas, referentes às quatro lajes mais solicitadas. Nas figuras 2 é indicada a planta estrutural do pavimento tipo do projeto base. No quadro a seguir é observado que com o aumento da resistência característica à compressão do concreto, ocorre a diminuição dos valores de deslocamentos e do gama z, uma vez que ocorre o aumento do módulo de elasticidade, enrijecendo da estrutura. Com relação aos deslocamentos verticais, eles são obtidos através da multiplicação por 2 da menor distância entre um ponto fixo, ou seja, um pilar e o ponto de maior deslocamento da laje. A flecha limite será essa distância dividida por 250. Logo, com o aumento da rigidez dos elementos estruturais, as flechas são reduzidas. Além disso, a verificação das flechas é através da combinação quase permanente de cargas.

**Figura 2: Planta baixa estrutural – Modelo 0 – Pavimento tipo**



**Quadro 2: Valores obtidos nos modelos estudados para modelo base**

Modelos		Fck = 40 MPa				Fck = 45 MPa				Fck = 50 MPa			
Lajes		L1	L3	L11	L12	L1	L3	L11	L12	L1	L3	L11	L12
Flecha (cm)		3,24	3,22	3,25	3,24	3,02	3,00	3,04	3,02	2,79	2,78	2,81	2,80
Flecha limite (cm)		2,84	2,87	2,87	2,85	2,80	2,84	2,86	2,85	2,83	2,83	2,85	2,86
Gama Z	Direção X	1,16				1,15				1,13			
	Direção Y	1,17				1,16				1,14			
Deslocamento Lateral (cm)	Direção X	1,19				1,12				1,04			
	Direção Y	4,15				3,87				3,59			
Deslocamento entre pisos (cm)	Direção X	0,04				0,04				0,04			
	Direção Y	0,07				0,07				0,06			

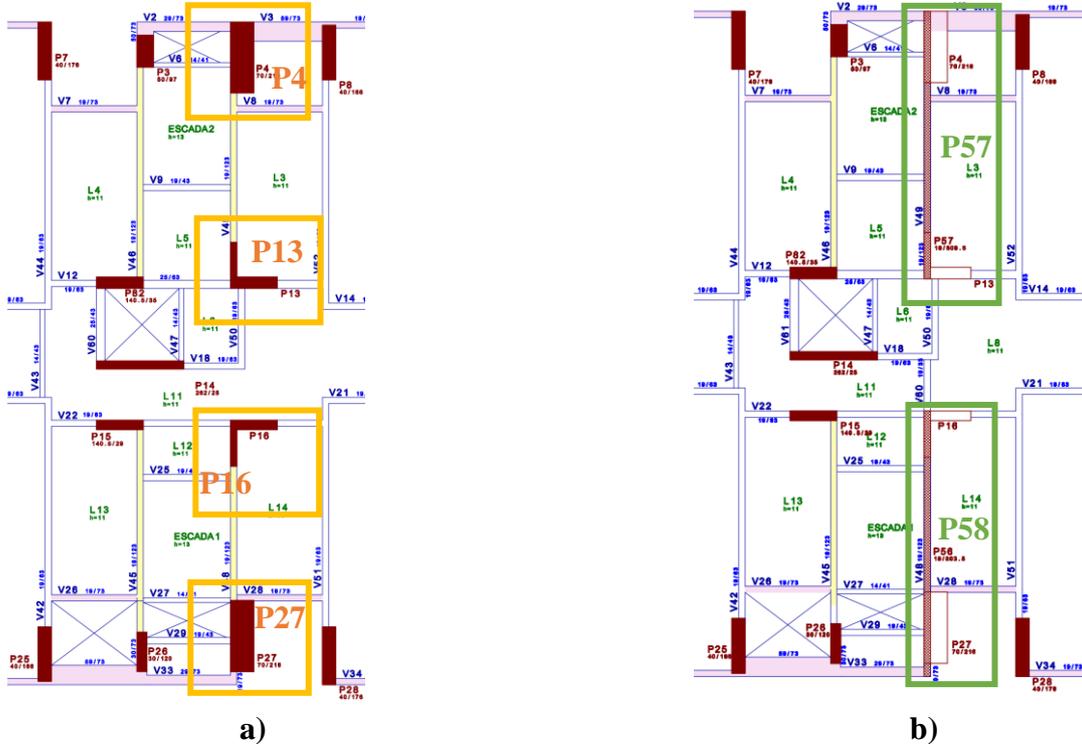
(fonte: AUTORA, 2022).

### 3.2 Outriggers – Modelos 1 e 2

A proposta de diferente concepção estrutural foi a inserção de *outriggers* no edifício, sendo selecionadas duas opções. Para modelo 1 foi apresentado o uso de dois pavimentos com *outriggers*, sendo as suas posições em 0,312 e 0,685 da altura do edifício; o que corresponde ao 9º pavimento e ao 24º pavimento, respectivamente. No modelo 2 foi considerado apenas um *outrigger*, localizado a 0,455 da altura total do edifício, ou seja, no 15º pavimento

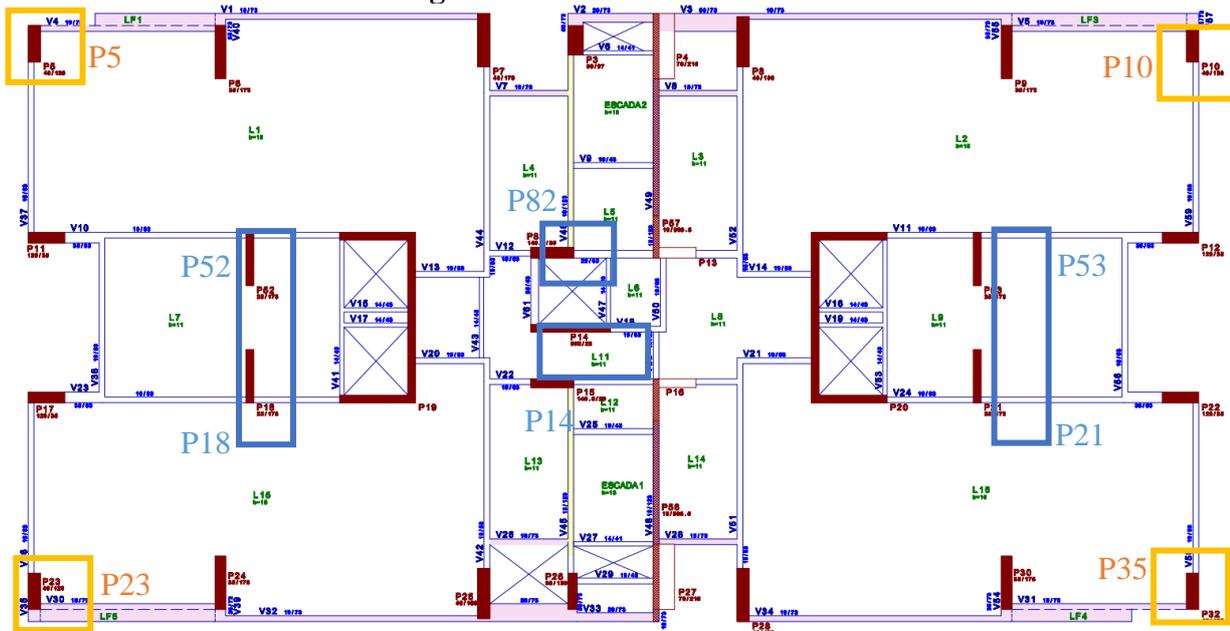
Nos dois modelos apresentados os *outriggers* foram posicionados na direção Y, ligando os pilares P4 e P27, em que suas dimensões são de 19 x 803,5 e 19 x 809,5. Para possibilitar a sua discretização, os *outriggers* foram modelados como pilares que nascem e morrem no mesmo pavimento (P57 e P58). Em locais de aberturas ou que, de acordo com a arquitetura, não fosse possível a inserção de *outriggers*, esses foram interrompidos e modeladas vigas.

Figura 3: Modelo 1 e 2 : a) Pilares que apoiam os *outriggers*; b) *Outriggers*



(fonte: AUTORA, 2022)

Figura 4: Pilares alterados nos modelos 1 e 2



(fonte: AUTORA, 2022)

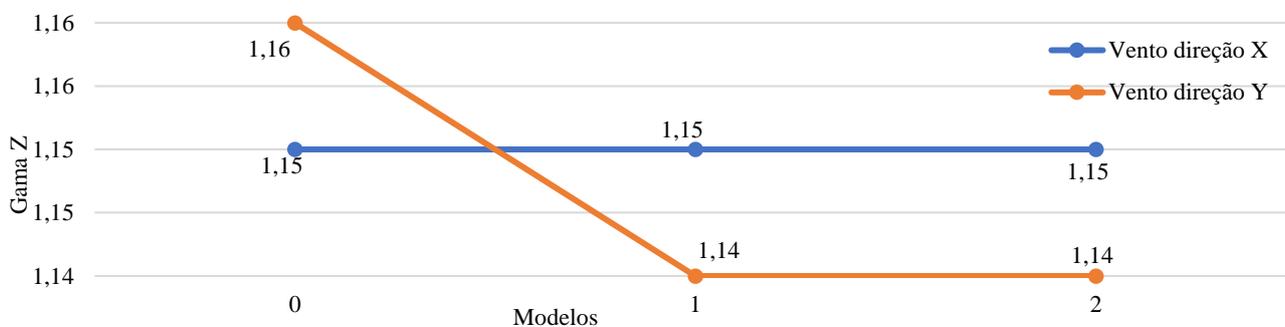
Os pilares P4, P13, P16 e P27, em que os *outriggers* se apoiam, morreram no pavimento anterior e nasceram novamente no pavimento seguinte sem *outriggers*. Além disso, a seção desses pilares foi

alterada para que atendessem o seu dimensionamento mínimo, em que nos pilares P4 e P27 sua seção foi de 50 x 97 para 70 x 216 e os pilares P13 e P16 foram de 140,5 x 35 para pilares em formato de L, devido à arquitetura. Na figura 3 é representada a geometria e a posição dos pilares do pavimento tipo que apoiam os *outriggers* e o pavimento em que os *outriggers* nascem e os seus apoios findam. Com a inserção dos *outriggers* foram alterados os pilares indicados na planta baixa da figura 4. Os pilares que tiveram suas dimensões alteradas foram os quatro pilares de canto P5, P10, P23 e P32 para a largura de 120 cm. Os pilares-parede P18 e P21 foram transformados nos pilares P18, P21, P52 e P53 com as dimensões de 25 x 176. Por fim, o pilar P14 foi transformado em dois pilares, nomeados de P14 e P82 com as medidas de 262 x 25 e 140,5 x 35, respectivamente.

### 3.3 Análise dos resultados

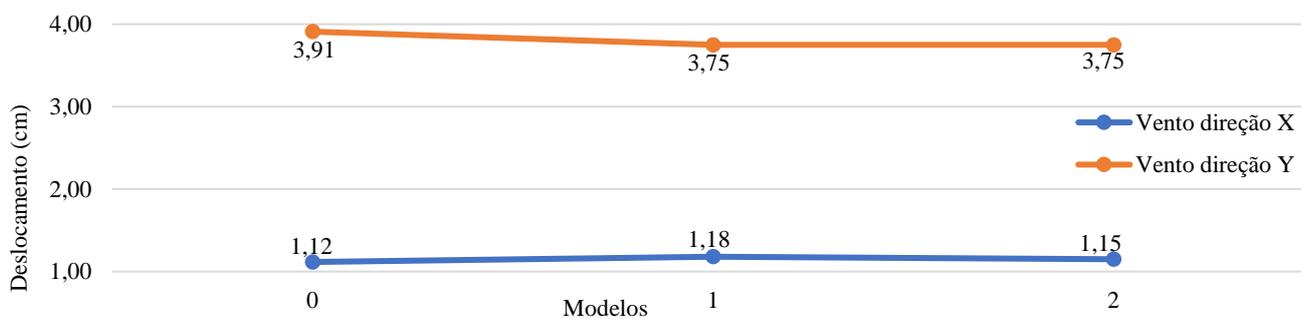
Para a estabilidade global, foram analisados o gama z, o deslocamento lateral do edifício e o deslocamento entre pisos. Nos gráficos 1, 2 e 3 é possível verificar os valores de gama z e deslocamentos horizontais máximos obtidos para cada modelo analisado. Com base nos resultados obtidos para os parâmetros de instabilidade global é possível verificar que para os modelos propostos os deslocamentos e o gama z foram reduzidos. Essa redução é apresentada de forma mais acentuada na direção Y, devido ao enrijecimento da estrutura nessa direção.

**Gráfico 1: Gama Z dos modelos.**



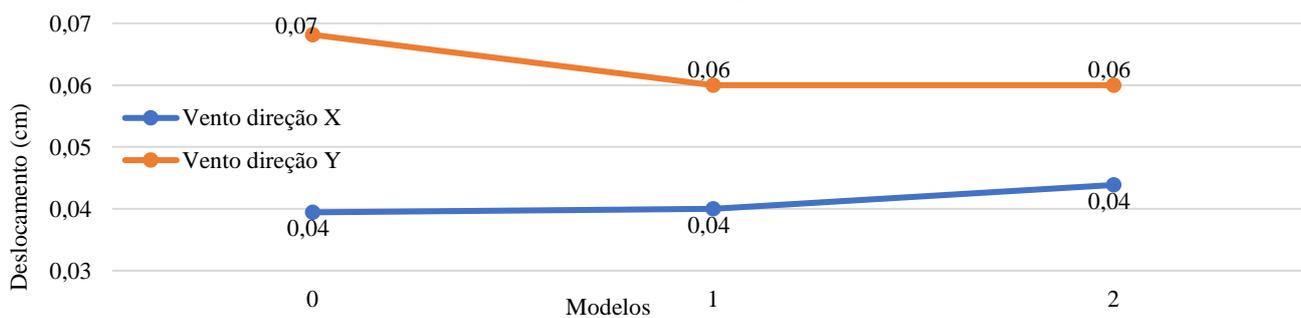
(fonte: AUTORA, 2022).

**Gráfico 2: Deslocamentos lateral dos modelos**



(fonte: AUTORA, 2022)

**Gráfico 3: Deslocamentos entre pisos dos modelos**



(fonte: AUTORA, 2022)

Como objetivo secundário foi verificado o consumo de concreto e aço dos modelos propostos. É apresentado o volume total de concreto e o peso total de aço em cada modelo. Observa-se que, com a tentativa de otimizar a geometria dos pilares, ou seja, reduzir o consumo de concreto, houve o aumento na demanda de armadura. Com os consumos estimados para o concreto e o aço são obtidas as taxas de cada modelo, sendo o seu valor dado pela relação entre o peso total de aço e o volume total de concreto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). Por fim, a fim de verificar o custo entre os modelos foi estimado um valor em reais para o volume de concreto e o peso de aço, a partir do SICRO-RS no mês de julho de 2022. Para o volume de concreto foi considerado o custo de R\$ 427,10/ $\text{m}^3$ . Para o aço é considerado o valor de R\$ 9,6122/Kg. Os valores de consumo de concreto, aço e formas, assim como sua taxa e os custos são demonstrados no quadro 3.

**Quadro 3: Volume total de concreto, aço e formas dos modelos**

DADOS	MODELO 0	MODELO 1	MODELO 2
Aço (kg)	1.169.828,00	1.260.123,00	1.246.993,00
Concreto ( $\text{m}^3$ )	7.777,25	7.748,05	7.683,87
Formas ( $\text{m}^2$ )	58.766,84	58.138,82	57.855,08
Taxa ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	150,42	162,64	162,29
Custo Total	14.566.284	15.421.747	15.268.127

(fonte: AUTORA, 2022)

As taxas obtidas para os modelos analisados foram maiores que a do projeto base, sendo observado um aumento de 8% para os dois modelos, em relação ao modelo 0, conforme apresentado no quadro 5. Todavia, destaca-se que o lançamento dos edifícios foi feito pelo *software* TQS e não se teve um estudo do detalhamento de cada elemento estrutural, podendo o consumo de aço ainda ser melhorado.

Assim, é observado que os modelos apresentam menores valores de gama z e de deslocamentos horizontais, ainda, ao analisar os quantitativos de concreto e formas, é possível verificar uma redução para ambos os modelos, sendo mais expressiva no modelo 2 onde foi inserido apenas um *outrigger*. Para os quantitativos de aço os dois modelos aumentaram. Além disso, ainda se constata que com a inserção de dois *outriggers* não é possível ver uma diferença expressiva para os deslocamentos em relação à utilização de apenas um *outrigger*, e tem-se o maior consumo de concreto e de aço.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de realizar o lançamento e a análise no ELU e ELS de uma edificação em concreto armado real e obter melhorias nos parâmetros de instabilidade global, foram propostas diferentes concepções estruturais, através do *software* TQS. Além disso, como objetivo secundário fez-se um comparativo de consumo de concreto e de aço para as alternativas apresentadas.

Analisando os três modelos propostos, sendo o modelo base, e os dois modelos com inserção de *outriggers*, é possível concluir que eles impactam de forma positiva nos deslocamentos horizontais da edificação. Com relação as taxas, mesmo que a taxa dos modelos tenham sido 8% mais alta que a do modelo 0, os mesmo apresentam um consumo menor de concreto, e, com isso, atingiu um custo próximo ao do modelo base, se considerado os ganhos em redução dos parâmetros de instabilidade. Logo, as taxas nem sempre irão demonstrar a realidade e sim uma proporção entre o aço e o concreto de cada projeto.

Todavia, para o prédio analisado com 33 pavimentos tipo, essa concepção estrutural não é a melhor alternativa devido ao alto consumo de concreto e de aço, devendo ser considerado seu uso para prédios mais altos. Além disso, outro fator importante a ser apontado é com relação ao lançamento dos *outriggers* no *software* TQS, uma vez que o *outrigger* deve ser lançado e comparado com outros programas, como o de elementos finitos, para obter uma validação sobre o detalhamento correto desse elemento. Outra alternativa é lançar os *outriggers* no TQS, porém como vigas altas, verificando se a análise será mais realista. Por fim, conclui-se que a redução do consumo de concreto deve ser avaliada pelo projetista, uma vez que acarreta no aumento de consumo de aço, nem sempre sendo uma proposta positiva. Logo, como sugestão para trabalhos futuros, indica-se o lançamento de concepções estruturais diferentes, porém considerando o mesmo volume de concreto das edificações,

possibilitando verificar o quanto o peso de aço pode ser alterado com as alternativas propostas e o quanto os deslocamentos sofrem alterações e o estudo aprofundado dos *outriggers* em programas de elementos finitos.

## Referências

- ALI, M. M.; MOON, K. S. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects. **Architectural Science Review**, v. 50, n. 3, p. 205–223, 9 set. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. , 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO**. , 29 abr. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120: AÇÕES PARA O CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE EDIFICAÇÕES**. , 2019.
- BENVEGNÚ, D. **Análise da performance de diferentes concepções estruturais em edifícios altos em concreto**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 18 maio 2022.
- BERNARDI, D.; FILHO, A.; PACHECO, A. Análise tridimensional de edifícios altos de concreto armado com a presença de paredes estruturais . Em: **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. [s.l: s.n.]. p. 43–53.
- BRASIL, G. S. **ANÁLISE DE MODELOS DE CONTRAVENTAMENTO EM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO**. Porto Alegre: [s.n.].
- CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO**. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. v. 4
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto**. São Paulo: PINI LTDA, 2013. v. 2
- DELALIBERA, R. G. et al. Avaliação dos critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: estudo de caso. (D.O.I. 10.5216/reec.v9i2.28875). **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9, n. 2, 9 out. 2014.
- DINIZ, C. W. S.; LAGES, E. N.; BARBOZA, A. S. R. Global stability of buildings' structural systems considering beam-wall connections. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 4, p. 705–737, ago. 2019.
- FREITAS, F. C.; LUCHI, L. A. R.; FERREIRA, W. G. Global stability analysis of structures and actions to control their effects. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 9, n. 2, p. 192–213, abr. 2016.
- HO, G. W. M. The Evolution of Outrigger System in Tall Buildings. **International Journal of High-Rise Buildings**, v. 5, n. 1, p. 21–30, 31 mar. 2016.
- KIMURA, A. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado** . 2. ed. São Paulo: Oficina do texto, 2018. v. 1
- LIMA, M. F. **SISTEMA DE OUTRIGGERS EM CONCRETO ARMADO: ANÁLISE COMPARATIVA EM EDIFÍCIO REAL**. Porto Alegre: [s.n.].
- MEDEIROS, S. R. P. Modelos estruturais de núcleos de edifícios – barra vs. casca. **TQSNEWS**, 2014.
- TARANATH, B. S. **Reinforced Concrete Design of Tall Buildings**. Boca Ranton: Taylor & Francis, 2010.