

Influência da localização do núcleo rígido de edifícios de múltiplos pavimentos de concreto armado na estabilidade global das estruturas**Influence of the location of the hard core of buildings of multiple armed concrete floors on the global stability of structures**

DOI:10.34117/bjdv6n9-113

Recebimento dos originais: 01/08/2020

Aceitação para publicação: 04/09/2020

Carla Beatriz Pereira da Silva

Graduada em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
E-mail: carlinhabps@hotmail.com

André Guilherme Mota

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Endereço: Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14. Plano Diretor Norte |77001-090|
Palmas/TO
E-mail: guilherme309m@gmail.com

Orieta Soto Izquierdo

Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Endereço: Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14. Plano Diretor Norte |77001-090|
Palmas/TO
E-mail: orietasi@uft.edu.br

Marco Aurélio Faccio Moraes

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Endereço: Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14. Plano Diretor Norte |77001-090|
Palmas/TO
E-mail: facciomoraes@outlook.com

Alexander da Silva Pinheiro

Graduando em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Endereço: Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14. Plano Diretor Norte |77001-090|
Palmas/TO
E-mail: alexander.delta@hotmail.com

Indara Soto Izquierdo

Doutorado em Engenharia Civil
Universidade Federal do Tocantins (UFT)
Endereço: Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14. Plano Diretor Norte |77001-090|
Palmas/TO
E-mail: indaritasi@uft.edu.br

RESUMO

A análise da estabilidade global das estruturas tem elevada importância no ramo da construção civil pois a tendência para a construção de edifícios cada vez mais altos e esbeltos só tem aumentado no país. Este trabalho retrata um estudo, sobre a estabilidade global, realizado em uma edificação de múltiplos pavimentos de concreto armado considerando o núcleo rígido como sistema de contraventamento. Para viabilizar o estudo, foram realizados três dimensionamentos com posições diferentes do núcleo rígido: centrado na edificação, excêntrico ao maior lado da edificação e excêntrico ao menor lado da edificação. A análise da estabilidade global foi realizada através do coeficiente γ_z o qual permitiu, também, classificar a estrutura quanto aos tipos de nós. Também foram realizadas análises quanto ao consumo de materiais como aço, concreto e formas dos edifícios estudados. Esta pesquisa concluiu que o núcleo rígido localizado no centro da edificação apresentou melhores resultados que as outras localizações com a relação à estabilidade global. O estudo do consumo de material realizada não viabilizou determinar com precisão qual projeto apresenta o melhor custo benefício devido à alteração do núcleo rígido, pelo que se faz necessário um estudo mais detalhado.

Palavras-chave: Estabilidade global, Núcleo rígido, Contraventamento, Efeitos de segunda ordem, Edifícios de múltiplos pavimentos, Concreto Armado.

ABSTRACT

The analysis of the overall stability of the structures is highly important in the field of civil construction, since the trend towards the construction of taller and more slender buildings has only increased in the country. This work portrays a study on global stability, carried out in a building of multiple reinforced concrete floors considering the rigid core as a bracing system. To make the study feasible, three dimensions were made with different positions of the rigid core: centered on the building, eccentric on the largest side of the building and eccentric on the smallest side of the building. The analysis of global stability was performed using the γ_z coefficient, which also allowed to classify the structure as to the types of nodes. Analyzes were also carried out regarding the consumption of materials such as steel, concrete and shapes of the buildings studied. This research concluded that the rigid core located in the center of the building presented better results than the other locations with respect to global stability. The study of the material consumption carried out did not make it possible to determine precisely which project has the best cost benefit due to the alteration of the rigid core, which makes a more detailed study necessary.

Keywords: Global stability, Rigid core, Bracing, Second-order effects, Multistory buildings, Reinforced Concrete.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional, tem-se notado um aumento no número de construções de edifícios de múltiplos pavimentos em todo o mundo. Com o intuito de otimizar o tamanho das cidades quanto à extensão territorial, têm-se ocorrido um intenso processo de verticalização das cidades, o que gera economia dos recursos a serem utilizados na infraestrutura das cidades, como por exemplo, na implantação de metrô, linhas de ônibus, rede de distribuição de água e rede coletora de esgoto, bem como redução do tempo de locomoção dos habitantes (MARTINS, 1998).

O processo de verticalização das cidades instiga os engenheiros a construir edifícios cada vez mais esbeltos, e a intensificação desta demanda foi possível ocorrer devido ao avanço tecnológico

e a melhoria dos métodos numéricos na modelagem de estruturas (CORRÊA, 1991). Assim, foi possível a criação, e constantes atualizações, de *softwares* capazes de contribuir na confecção dos projetos arquitetônico, estrutural e complementares de forma tempestiva e eficiente.

Ocorreu também uma melhoria na qualidade dos materiais e ferramentas utilizadas na construção civil. Com o avanço tecnológico foi possível a realização de estudos mais aprofundados desses materiais, com a finalidade de entender e melhorar seu comportamento e assim poder usufruir de elementos estruturais com maiores resistências, menores dimensões e menores custos (LACERDA *et al.*, 2014).

Em atenção ao estudo proposto neste trabalho, serão associados os elementos estruturais com as análises de estabilidade global da edificação através da alteração da posição do núcleo rígido. Conforme exposto por Lacerda *et al.* (2014), sabe-se que o aumento da rigidez da edificação resulta na redução das dimensões dos elementos estruturais e, em consequência, implica na diminuição da inércia dessas peças, gerando então esforços adicionais denominados efeitos de segunda ordem que, conforme a ABNT NBR 6118: 2014, podem ser desprezados caso não ultrapassem em 10% os efeitos de primeira ordem.

Os efeitos de segunda ordem podem ser quantificados após a estrutura atingir o equilíbrio em sua configuração deformada. Isto significa que a estrutura deforma em uma condição não proporcional ao aumento das ações existentes e, conseqüentemente, gerando novos deslocamentos, os quais geram esforços na estrutura já deformada, até que esta atinja o equilíbrio (KIMURA, 2007).

O estudo das ações dos ventos e outras ações horizontais, devem ser consideradas no dimensionamento da estrutura calculando os efeitos de segunda ordem, se necessário, e analisando a estabilidade global (MONCAYO, 2011). Dessa forma, é possível verificar a estabilidade global da edificação, a partir da análise da rigidez realizada em todo o pórtico estrutural, verificando-se, então, as solicitações e os deslocamentos atuantes na estrutura.

Tem-se que o maior desafio da concepção dos projetos de edifícios esbeltos é definir uma solução que proporcione à sua estrutura uma estabilização global sem comprometer a segurança. Segundo Coelho (2016), para edifícios de até 30 pavimentos é possível utilizar pórticos de contraventamento ou ainda pilares parede compondo núcleos rígidos.

O estudo deste projeto baseia-se no contraventamento da estrutura com núcleo rígido, o qual é constituído por uma combinação tridimensional de pilares parede. Sua seção transversal pode ser aberta ou semifechada, o que facilita a integração com o projeto arquitetônico tendo em vista que o núcleo pode ser locado nos poços de escada e elevadores. Com o intuito de alterar a posição da estrutura do núcleo, os elementos estruturais da edificação estarão dispostos de forma assimétrica e, devido as ações das cargas horizontais, serão gerados efeitos de torção e flexão, os quais serão

considerados no dimensionamento da estrutura e na análise da estabilidade global (SOUSA JUNIOR, 2001).

ANÁLISE LINEAR E NÃO LINEAR DAS ESTRUTURAS

Na análise linear admite-se que os materiais possuem comportamento elástico-linear, ou seja, considera-se que a relação entre tensões é proporcional às deformações. Trata-se de uma aproximação de cálculo, denominada análise de primeira ordem, onde é válida a lei de Hooke de proporcionalidade tensão deformação num ciclo de carregamento-descarregamento (regime elástico). O equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial admitindo uma relação linear entre deformações e deslocamentos e desprezando a influência que estes deslocamentos provocam na estrutura (MACIEL, SOUZA, MORA, 2011).

Entretanto, não é assim que ocorre nas estruturas reais. Pois, a rigidez da estrutura depende das propriedades físicas do material e da geometria dos elementos. Isso leva a resultados de deformações e esforços desproporcionais aos carregamentos aplicados. Dessa forma é necessária uma análise não-linear da estrutura, pois esta oferece uma maior aproximação do comportamento real da estrutura do que se a análise fosse puramente linear (LIMA, 2019).

O comportamento não-linear é originado por dois efeitos. O primeiro está ligado a uma alteração da geometria da estrutura e o segundo a uma alteração nas propriedades físicas dos materiais. Pinto (2002) comenta que os efeitos não-lineares se dividem, segundo a sua natureza, em efeitos devidos à mudança de posição da estrutura no espaço, conhecidos por não-linearidade geométrica (NLG), e aqueles referentes ao comportamento não-linear do material, conhecidos como não-linearidade física (NLF). Deve-se ressaltar que a deslocabilidade horizontal das estruturas de contraventamento em concreto armado depende dos efeitos não-lineares (LIMA, 2019).

ESTABILIDADE GLOBAL

O intuito dos estudos da estabilidade global é garantir a segurança da edificação quanto ao aumento das ações e deformações existentes na estrutura, a fim de evitar a perda da capacidade resistente e o atingimento do estado limite último (MONCAYO, 2011). Para tanto, tem-se que a estabilidade global advém dos esforços de segunda ordem e das análises não lineares existentes em edifícios esbeltos, ou seja, a determinação dos efeitos globais de segunda ordem é de suma importância para a caracterização da estabilidade global.

A verificação da estabilidade global é realizada através do cálculo dos parâmetros de estabilidade, parâmetro de instabilidade Alfa (α) e coeficiente Gama Z (γ_z), os quais determinam se a estrutura é de nós móveis ou fixo e assim, configura a necessidade da consideração dos efeitos de

segunda ordem. Não obstante, Moncayo (2011) ratifica que o parâmetro de instabilidade Alfa avalia a estabilidade global, porém, sem quantificar os efeitos de segunda ordem, o qual não será objeto de estudo deste trabalho.

Coefficiente γ_z

O coeficiente γ_z foi criado por Franco e Vasconcelos (1991) e é considerado um parâmetro simples e eficiente tanto na análise da estabilidade global, quanto para determinação dos efeitos de segunda ordem, o qual encontra-se regulamentado pela ABNT NBR 6118: 2014. Através da majoração dos efeitos de primeira ordem utilizando o coeficiente γ_z obtém-se os respectivos efeitos de segunda ordem (MONCAYO, 2011). Dessa forma, Lacerda et al. (2014, p.27) afirma o coeficiente γ_z “avalia a sensibilidade de uma estrutura aos efeitos de segunda ordem”.

Conforme a ABNT NBR 6118: 2014 o coeficiente γ_z é válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares, e é obtido para cada combinação de carregamento através a seguinte expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Em que:

- $\Delta M_{tot,d}$: é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de primeira ordem;
- $M_{1,tot,d}$: é a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

As estruturas de nós inferiores são caracterizadas por $\gamma_z \leq 1,1$ e, dessa forma, a ABNT NBR 6118: 2014 afirma que os efeitos globais de segunda ordem são desprezíveis. Para $1,1 \leq \gamma_z \leq 1,3$, a estrutura é considerada de nós móveis, dessa forma, calcula-se os esforços de segunda ordem majorando os esforços de primeira ordem em $0,95\gamma_z$. Estruturas com valores do coeficiente γ_z superiores à 1,3 são consideradas instáveis e impraticáveis, tendo em vista o elevado grau de instabilidade (MONCAYO, 2011).

SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO

Segundo Coelho (2016), o principal desafio na determinação do projeto estrutural de edifícios esbeltos é alcançar uma solução que proporcione a estabilização horizontal sem afetar a segurança e os aspectos arquitetônicos e econômicos da obra. Denomina-se então “sistema de estabilização espacial” ou “sistema de contraventamento” os sistemas que asseguram o equilíbrio e estabilidade da edificação.

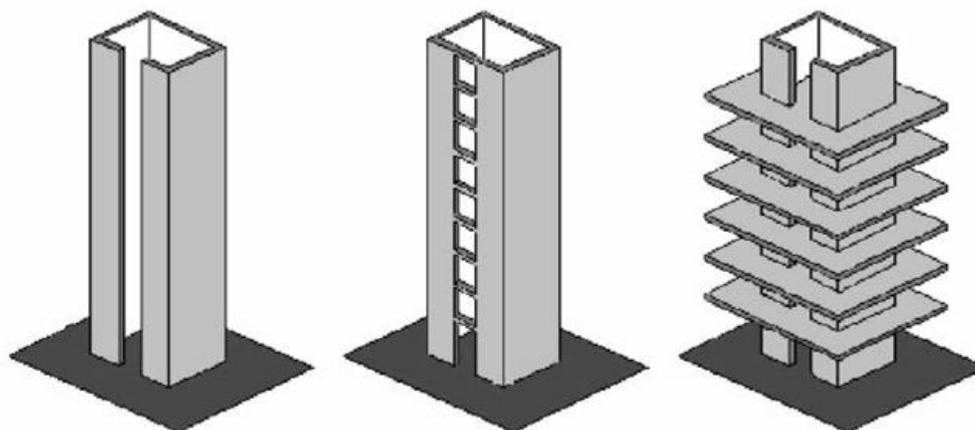
De um modo geral, a ABNT NBR 6118: 2014 classifica os elementos estruturais quanto a rigidez às ações horizontais, os que resistem à maior parte dos esforços são chamados de subestruturas de contraventamento, e os que não participam deste grupo, são denominados elementos contraventados. Em edifícios de múltiplos pavimentos com até 30 andares, Coelho (2016) afirma que normalmente utiliza-se pórticos de contraventamento ou pilares parede compondo núcleos rígidos.

O sistema estrutural de contraventamento constituído pelo núcleo rígido representa a combinação tridimensional de pilares paredes, em diferentes direções, formando uma seção aberta ou semifechada. Ou seja, constitui-se de paredes maciças de concreto e são capazes de resistir aos principais tipos de esforços atuantes no edifício (PEREIRA, 1997).

O núcleo rígido é mais utilizado para enrijecer as estruturas dos edifícios de múltiplos pavimentos, e ganha importância proporcionalmente ao aumento da altura da edificação. A fim de adequar a concepção estrutural ao projeto arquitetônico, executa-se o núcleo rígido em torno das circulações verticais enclausuradas, ou seja, em volta das caixas da escada e elevadores (DIAS, 2004).

Conforme será objeto de estudo deste trabalho, é comum ocorrer assimetria à estrutura da edificação em relação à posição do núcleo rígido e, para tanto, os efeitos de flexão e torção devem ser considerados no cálculo dos elementos estruturais (SOUSA JUNIOR, 2001). É possível verificar na Figura 1 o modelo do sistema de contraventamento com utilização do núcleo rígido.

Figura 1 – Sistema de Contraventamento com Núcleo Rígido



Fonte: Carneiro e Martins (2008)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho teve como objetivo principal estudar os efeitos ocasionados na estabilidade global da edificação ao variar a localização do núcleo rígido, em edifícios retangulares de múltiplos pavimentos, nas seguintes posições: central e excêntrico, disposto inicialmente no maior lado e em seguida no menor lado da edificação. Para isso, foi utilizado o software Eberick V8 Gold como auxílio para realização do cálculo estrutural dos três dimensionamentos proposto devido sua eficácia e capacidade de gerar o detalhamento completo da estrutura.

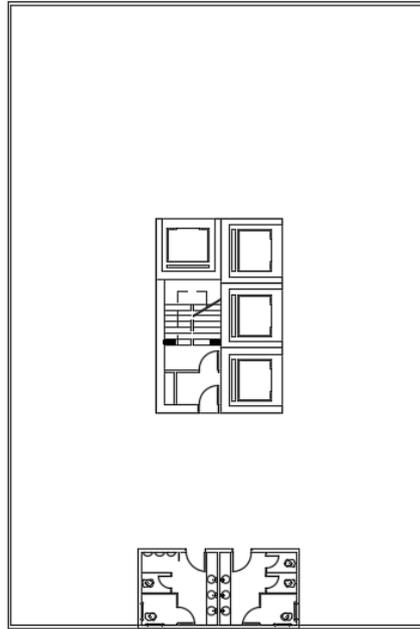
Foi analisado um edifício de concreto armado na cidade de Palmas/TO contendo 25 pavimentos, considerando térreo e mais 24 pavimentos tipo. O projeto arquitetônico foi definido baseando-se no uso comercial da edificação, a fim de facilitar a determinação das plantas baixa dos três dimensionamentos propostos.

No edifício comercial tem-se a facilidade de adotar uma área aberta e livre de paredes, ou seja, no layout foi definido apenas os banheiros e a posição dos elevadores e escada, local este utilizado para locação do núcleo rígido. Dessa forma, é possível realizar as alterações propostas neste trabalho mantendo a similaridade da planta baixa para os três casos em estudo sem depender do layout da edificação.

O edifício teve uma área de 600 m² em cada pavimento definido pela forma retangular, 30 m de comprimento por 20 m de largura, e pé direito de 2,90 m. Esta configuração foi selecionada com o intuito de analisar os diferentes comportamentos obtidos através da alteração da posição do núcleo rígido:

- Análise 1 – núcleo rígido centralizado na edificação, conforme Figura 2;
- Análise 2 – núcleo rígido rente ao maior lado da edificação, conforme Figura 3;
- Análise 3 – núcleo rígido rente ao menor lado da edificação, conforme Figura 4.

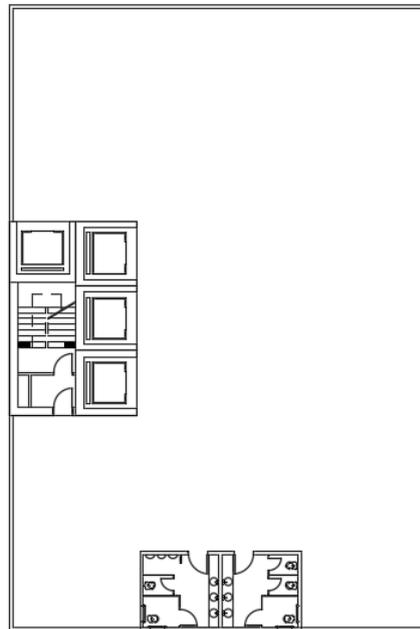
Figura 2 – Layout para Análise 1 - núcleo rígido centralizado na edificação



Planta Baixa 1

Fonte: Autores

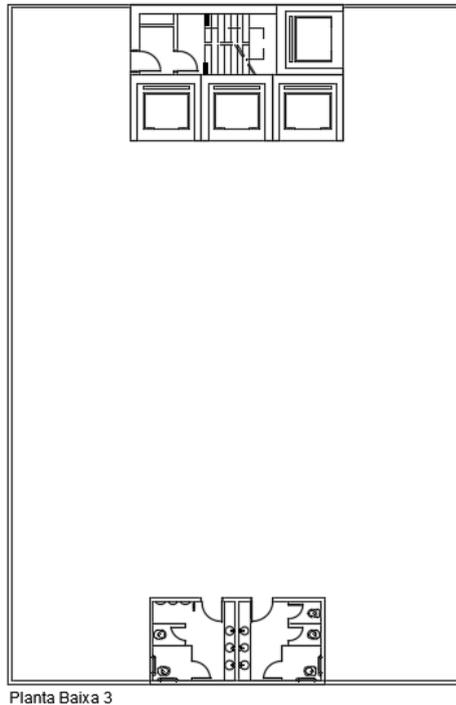
Figura 3 – Layout para Análise 2 - núcleo rígido rente ao maior lado da edificação



Planta Baixa 2

Fonte: Autores

Figura 4 – Layout para Análise 3 - núcleo rígido rente ao menor lado da edificação



Planta Baixa 3

Fonte: Autores

Para a realização do estudo, algumas considerações foram feitas. Primeiramente, considerando a localização do município e a classe de agressividade ambiental descrito pela norma em questão, sendo classe II, foi considerado a resistência do concreto como sendo de 30 MPa. Para o aço que foi utilizado, foi adotado CA-50. Quanto ao cobrimento, a ABNT NBR 6118: 2004 estabelece que para as lajes o cobrimento nominal seja de 25 mm e para as vigas e pilares de 30 mm, contudo, a fim de manter uma constância na análise, utilizou-se cobrimento de 30 mm para os três elementos citados. A referida norma define que a dimensão máxima do agregado graúdo não deve exceder em 20% o valor do cobrimento, assim, como agregado graúdo foi utilizado o granito com diâmetro máxima característica de 19 mm, o qual encontra-se dentro dos limites estabelecidos em norma. As lajes consideradas, por serem lajes indicadas para edificações com múltiplos pavimentos, foi a treliçada bidirecional com EPS em preenchimento.

Inicialmente, foram posicionando os pilares, em sequência as vigas e por último as lajes de cada pavimento. O posicionamento dos elementos estruturais foi disposto de forma a ficar o mais uniforme possível e adotando distâncias máximas de 5 m, e para a seção, adotando os critérios da norma ABNT NBR 6118:2014, onde estabelece as condições de larguras mínimas para as seções.

Quanto aos carregamentos, foi considerado padrões em todas as simulações o peso específico do concreto armado sendo de 2500kgf/m^3 , assim sendo calculado pelo próprio software o carregamento permanente. Quanto ao carregamento acidental, foi adotado o mínimo por norma, que foi de 300kgf/m^2 para escritórios, banheiros e salas de uso geral, e para o revestimento foi adotado

150 kgf/m². O próprio software utilizado calcula o carregamento originado pelos ventos, introduzindo apenas a velocidade básica do vento, que de acordo com a ABNT NBR 6123:1988, em Palmas, é de 30 m/s.

Adotando estes parametros no Eberick, ainda se fez necessário verificar as configurações de análise, em que esta, foi feita através de pórtico espacial, e considerando que as lajes são infinitamente rígidas no seu plano. Continuando o dimensionamento no programa, foi realizado o deslocamento da estrutura, considerando a seção bruta como rigidez. Em seguida foi realizada a determinação das flechas pelo programa e posteriormente, o dimensionamento foi concluído.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estabilidade global

A análise da estabilidade global da edificação classifica a estrutura como sendo de nós fixos ou nós móveis através do valor obtido para o coeficiente γ_z . Conforme afirmado por Lacerda et al. (2014, p.27) o coeficiente γ_z “avalia a sensibilidade de uma estrutura aos efeitos de segunda ordem”, ou seja, representa a deformação da estrutura na atribuição dos esforços atuantes.

Análise 1 – núcleo rígido centralizado na edificação

Os resultados encontrados quanto à estabilidade global para a Análise 1 estão dispostos na Tabela 1. Nota-se que os efeitos de segunda ordem devem ser considerados, tendo em vista que valores de γ_z na direção X e na direção Y são superiores à 1,1 e, sendo inferior à 1,3, estes valores são considerados de nós móveis.

Tabela 1 – Coeficiente de estabilidade global γ_z

Direção X	Direção Y
1,20	1,22

Constata-se ainda que, para a direção X, os efeitos de segunda ordem representam 20% dos respectivos esforços de primeira ordem. Já para a direção Y, os efeitos de segunda ordem representam 22% dos respectivos esforços de primeira ordem.

Análise 2 – núcleo rígido excêntrico no maior lado da edificação

Quanto à análise do segundo edificio, os resultados obtidos referente à estabilidade global estão dispostos na Tabela 2. Nesse caso, nota-se também que os efeitos de segunda ordem devem ser

considerados, tendo em vista que valores de γ_z na direção X e na direção Y são superiores à 1,1 e, sendo inferior à 1,3, estes valores são considerados de nós móveis.

Tabela 2 – Coeficiente de estabilidade global Gama Z

Direção X	Direção Y
1,22	1,21

Constata-se ainda que, para a direção X, os efeitos de segunda ordem representam 22% dos respectivos esforços de primeira ordem. Já para a direção Y, os efeitos de segunda ordem representam 21% dos respectivos esforços de primeira ordem.

Análise 3 – núcleo rígido excêntrico no menor lado da edificação

Em relação à terceira análise, os resultados obtidos referente à estabilidade global encontram-se dispostos na Tabela 3. Também para este caso, nota-se que os efeitos de segunda ordem devem ser considerados, tendo em vista que valores de γ_z na direção X e na direção Y são superiores à 1,1 e, sendo inferior à 1,3, estes valores são considerados de nós móveis.

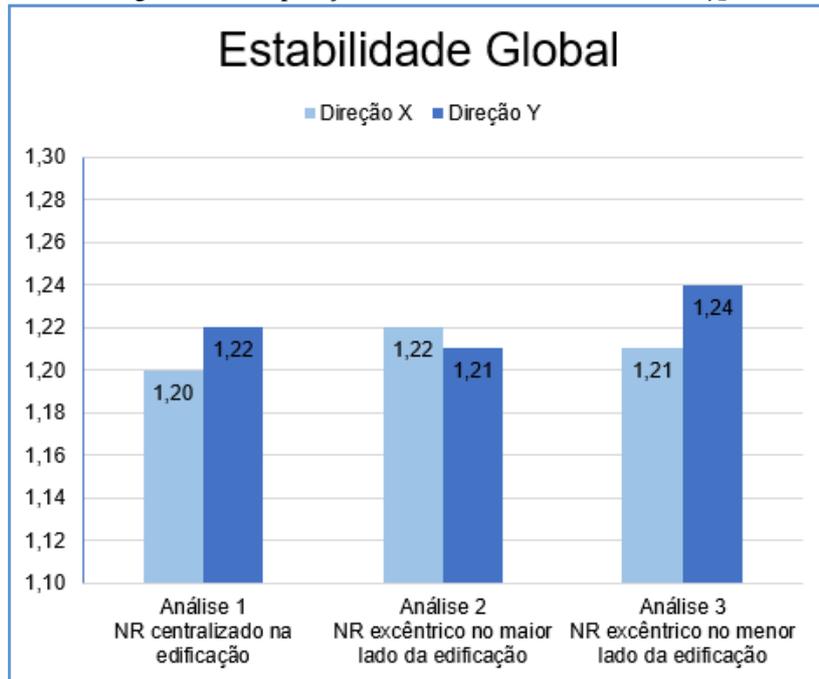
Tabela 3 – Coeficiente de estabilidade global Gama Z

Direção X	Direção Y
1,21	1,24

Constata-se ainda que, para a direção X, os efeitos de segunda ordem representam 21% dos respectivos esforços de primeira ordem. Já para a direção Y, os efeitos de segunda ordem representam 24% dos respectivos esforços de primeira ordem.

Análise comparativa entre os três edifícios

Foi construído um gráfico fazendo o comparativo entre os valores obtidos para o coeficiente γ_z nas direções X e Y, conforme Figura 5. Dessa forma, é possível visualizar com maior clareza a influência da alteração do núcleo rígido na estabilidade global da edificação.

Figura 5 – Comparação entre os valores do coeficiente γ_z 

Fonte: Autores

Ao comparar os resultados obtidos na direção X, nota-se que o coeficiente γ_z da primeira análise foi inferior aos demais. Logo, nota-se que, em relação à segunda e terceira análise, a estrutura é mais resistente ao giro na direção X no primeiro dimensionamento o qual apresenta o núcleo rígido centralizado na edificação.

A Figura 6 identifica as dimensões do núcleo rígido utilizado em todos os dimensionamentos realizados. Diante disso, pode-se afirmar que a diferença no valor do coeficiente γ_z entre as Análises 2 e 3 é devido a dois itens: às dimensões do núcleo rígido e; à quantidade de pilares resultantes com momento de inércia maior na direção X.

Isto porque, na Análise 3, a maior dimensão do núcleo rígido, identificada como h, encontra-se favorável ao momento de inércia na direção X. E, devido à posição do núcleo rígido nesta análise, excêntrica no menor lado da edificação, foi necessária a criação de mais pilares restringindo o giro na direção X.

Figura 6 – Dimensões do núcleo rígido

Fonte: Autores

Quanto à análise da estabilidade global na direção Y do terceiro dimensionamento, constata-se a elevada diferença no valor do coeficiente γ_z em relação aos demais dimensionamentos. Isto ocorre devido à dimensão do núcleo rígido na direção Y ser inferior às Análises 1 e 2, o que desfavorece o cálculo de seu momento de inércia.

Comparando-se o primeiro e segundo dimensionamento, nota-se que os valores são semelhantes, contudo, a segunda análise ainda apresenta um valor inferior à primeira. Acontece que, devido à excentricidade do núcleo rígido no segundo dimensionamento, foi necessário aumentar a dimensão dos pilares que apresentam maior momento de inércia na direção Y. Fazendo com que as dimensões dos pilares na primeira análise sejam mais esbeltas e por consequência apresentam valor do coeficiente γ_z inferior à segunda análise.

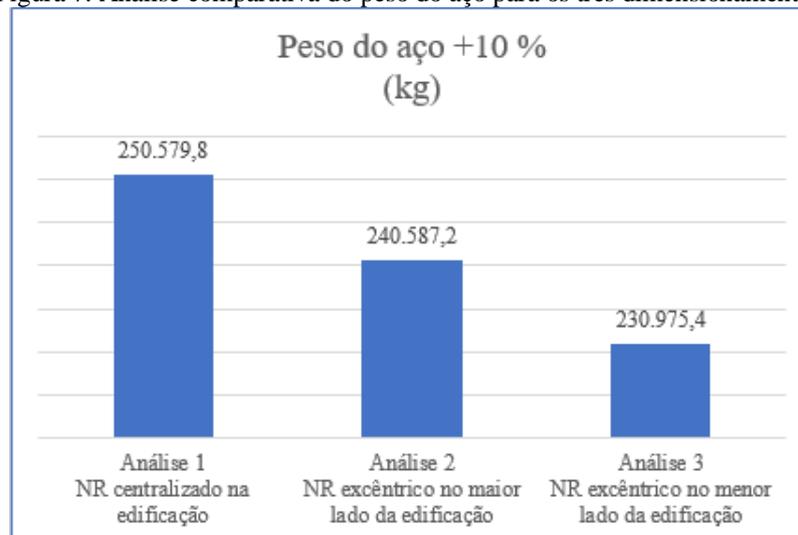
Consumo de materiais

Foi possível realizar gráficos comparativos para o consumo de cada material: aço, concreto e formas para cada uma das análises estudadas.

Conforme Figura 7 nota-se que o primeiro dimensionamento possui maior peso de aço comparado aos demais dimensionamentos, tendo em vista a necessidade de se utilizar bitolas maiores nas seções de aço próximo ao núcleo rígido centralizado na estrutura.

Verifica-se ainda que a redução do peso do aço da estrutura 1 para a estrutura 2 é de aproximadamente 4%, e para a estrutura 3 é de aproximadamente 8%. Comparando-se as estruturas 2 e 3, houve uma redução no peso de aproximadamente 4%.

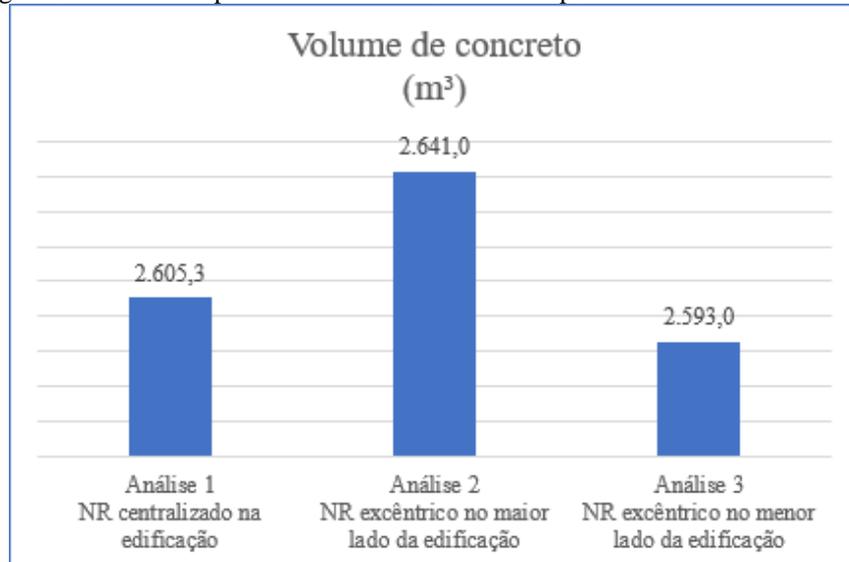
Figura 7. Análise comparativa do peso do aço para os três dimensionamentos.



Fonte: Autores

Na Figura 8 observa-se que a variação no volume de concreto entre as três análises é ínfima, haja vista que a redução do volume da estrutura 2 para a 3 é de apenas 1,82%. Avaliando os valores obtidos para a análise 1, há uma redução de 0,47% do volume para a análise 3 e de 1,35% comparando-se a estrutura 2 à estrutura 1.

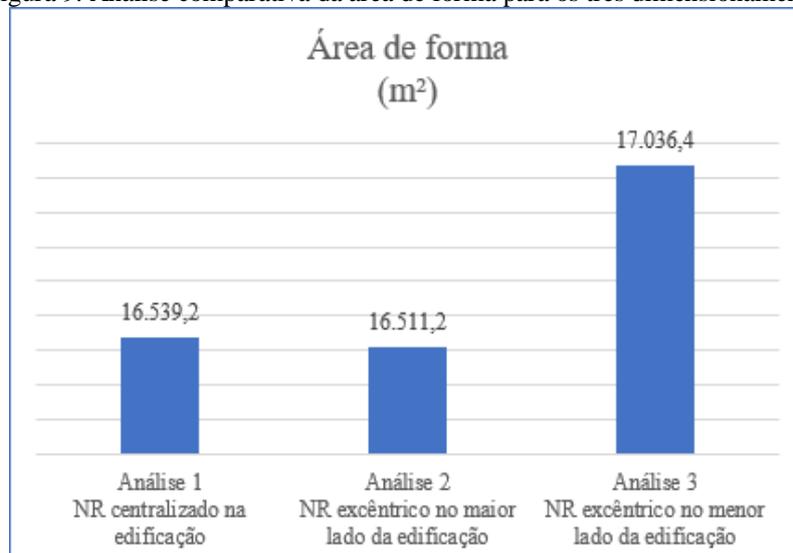
Figura 8. Análise comparativa do volume de concreto para os três dimensionamentos.



Fonte: Autores

A comparação entre as áreas de formas resultantes do processamento dos dimensionamentos encontra-se identificada na Figura 9. Através desta análise constata-se que a terceira estrutura apresenta valores superiores às demais estruturas. Em relação às estruturas 1 e 2, observa-se que a redução da área é de apenas 0,17%, enquanto que, entre as estruturas 3 e 2 a redução da área de forma chega a 3,08%.

Figura 9. Análise comparativa da área de forma para os três dimensionamentos



Fonte: Autores

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como proposta analisar a influência do núcleo rígido na estabilidade global da estrutura. Para isso foram realizados três dimensionamentos considerando o núcleo rígido inicialmente centrado na edificação, em seguida, considerou-se o núcleo rígido excêntrico ao maior lado da edificação e por fim, o núcleo rígido excêntrico ao menor lado da edificação.

Em análise do assunto principal deste trabalho pode-se concluir que o primeiro dimensionamento, com o núcleo rígido centralizado na edificação, em termos gerais, apresentou melhor índice estabilidade global que os demais dimensionamentos. Esta afirmação é devida à análise completa da estrutura, considerando as direções X e Y em conjunto, para a qual pode-se dizer que toda a estrutura resiste melhor ao giro do que os outros dimensionamentos realizados.

Consoante ao descrito na ABNT NBR 6118: 2014, as três análises realizadas são consideradas de nós móveis, tendo em vista que seus índices de estabilidade global atendem aos parâmetros definidos em norma, $1,1 < \gamma_z < 1,3$. Para tanto, faz-se necessário a análise e consideração dos efeitos de segunda ordem, os quais foram calculados pelo software Eberick através do processo P-Delta.

Especificamente a análise do consumo de material realizada não viabiliza determinar com precisão qual projeto apresenta o melhor custo benefício devido à alteração do núcleo rígido. Pois, ao realizar as análises de aço, concreto e das formas de maneira individual, identificou-se que em cada item citado há um dimensionamento que se destaca com valores elevados dos demais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

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

COELHO, Jano D'Araujo. COMPARAÇÃO ENTRE OS SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO ATRAVÉS DE PÓRTICOS E PILARES-PAREDE. 2010. Artigo da Base de Conhecimento AltoQi. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/406/684/pt-br/comparação-entre-os-sistemas-de-contraventamento-atraves-de-pórticos-e-pilares_parede.html>. Acesso em: 15 set. 2016.

CORRÊA, Márcio Roberto Silva. APERFEIÇOAMENTO DE MODELOS USUALMENTE EMPREGADOS NOS PROJETOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS DE EDIFÍCIOS. 1991. 331 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

DIAS, Ricardo Henrique. IMPORTÂNCIA E INTERFERÊNCIAS DA CONCEPÇÃO DOS SUBSISTEMAS VERTICAIS EM EDIFÍCIOS ALTOS NA ARQUITETURA. Arquitectos, São

Paulo, ano 05, n. 055.05, Vitruvius, 06 dez. 2004. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.055/520>>. Acesso em: 21 out. 2016.

FRANCO, M.; VASCONCELOS, A. C. Practical assessment of second order effects in tall buildings. In: COLLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC90, 1991, Rio de Janeiro. Proceedings, Rio de Janeiro, 1991. p. 307-324.

KIMURA, Alio. INFORMÁTICA APLICADA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO: Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. 2007. 624 p. 1 ed. São Paulo: Pini, 2007.

LACERDA, Maiza Moana Silva et al. AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO: Estudo de Caso. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 9, n. 2, p.24-37, 9 out. 2014.

LIMA, Gedyson de Oliveira. ESTUDO COMPARATIVO DOS PARÂMETROS DE ESTABILIDADE EM DOIS TIPOS DE SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO ADOTADOS EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 11, p. 27207-27225, nov. 2019.

MACIEL, Alex Roda; de SOUZA, Carla Días; de MOURA, Laura Pereira. ANÁLISE DE ESTABILIDADE GLOBAL EM EDIFICAÇÕES. 2011. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2011.

MARTINS, Carlos Humberto. CONTRIBUIÇÃO DA RIGIDEZ TRANSVERSAL À FLEXÃO DAS LAJES NA DISTRIBUIÇÃO DOS ESFORÇOS EM ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS DE ANDARES MÚLTIPLOS, EM TEORIA DE SEGUNDA ORDEM. 1998. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. ANÁLISE DE SEGUNDA ORDEM GLOBAL EM EDIFÍCIOS COM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO. 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PEREIRA, Gustavo Souza. CONTRIBUIÇÕES À ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONTRAVENTAMENTO DE EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO. 1997. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SOUSA JUNIOR, Edgard. ANÁLISE DA INTERAÇÃO ENTRE NÚCLEOS ESTRUTURAIS E LAJES EM EDIFÍCIOS ALTOS. 2001. 130 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.