

## ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DAS ESTRUTURAS SOB A INFLUÊNCIA DA LOCAÇÃO DE PILARES

Anna Paula Oliveira<sup>1</sup>

Diego Gonçalves<sup>2</sup>

Kelly Britto<sup>3</sup>

Natália Campos<sup>4</sup>

Samuel Silva<sup>5</sup>

Camila Silva<sup>6</sup>

João Oliveira Junior<sup>7</sup>

José Nelson Rocha<sup>8</sup>

### RESUMO

Analisar a estabilidade global de uma estrutura é essencial no desenvolvimento de projetos em edificações de concreto armado. O objetivo desse trabalho é enfatizar a importância da locação de pilares, pois esta interfere no deslocamento da estrutura, alterando diretamente a rigidez e a suscetibilidade aos efeitos globais de segunda ordem. Por metodologia, tem-se o estudo de caso. Utilizando o software FTOOL, foram elaborados pórticos principais de contraventamento, levando-se em consideração a direção de menor inércia, para uma edificação residencial. Para análise do deslocamento, considerou-se a atuação de uma ação horizontal incidindo no topo deste prédio e analisou-se duas opções de posicionamento dos pilares. Durante a locação no projeto A os resultados mostraram um afastamento de 0,113m relação ao eixo vertical da estrutura, enquanto em apenas 0,0767m, totalizando uma diferença de aproximadamente 0,0363m, decorrente da influência no posicionamento dos pilares, resultando no primeiro caso em uma estrutura menos rígida uma vez que os efeitos de segunda ordem foram considerados em ambos os casos em razão da esbeltes e das características geométricas do pórtico.

**Palavras-chave:** Estabilidade global. Estrutura. Pilares.

### INTRODUÇÃO

Durante meados do século 18, surgia no mercado da construção civil, um material inovador, o concreto armado. Desde então surgiram inúmeros estudos com

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>6</sup> Professor do curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>7</sup> Professor do curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

<sup>8</sup> Professor do curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Caratinga

o objetivo de compreender seu comportamento ao ser submetido a carregamentos e a influência da geometria em sua resistência diante de situações distintas.

Verificar esta estabilidade global é um requisito primordial no desenvolvimento de projetos de edificações de concreto armado. Esta é diretamente relacionada a capacidade da estrutura em resistir e redistribuir os efeitos causados pela deslocabilidade dos seus nós visando garantir a segurança no estado limite último de instabilidade, ocasionada pelo aumento das deformações (GONÇALVES, 2007).

Os pórticos, como são chamados o alinhamento entre vigas e pilares, contribuem significativamente para a rigidez da estrutura e sua estabilidade. São importantes elementos de contraventamento, que impedem que os deslocamentos horizontais se tornem um fator agravante e prejudique a vida útil da edificação (MONCAYO, 2011).

Para assegurar o funcionamento adequado de uma estrutura sob diversas condições de carregamento, é necessário preocupar-se com a rigidez estrutural. Patologias podem ser gerada sob o mal dimensionamento desta, provocando deslocamentos grandes que podem ocasionar rachaduras na alvenaria, tetos de argamassa, tornando-se uma preocupação com a segurança dos moradores (LEET, et al, 2010).

Segundo a ABNT NBR 6118/2014, “sob a ação das cargas verticais e horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente. Os esforços de 2ª ordem decorrentes desses deslocamentos são chamados efeitos globais de 2ª ordem”. Ou seja, a geometria do modelo estrutural é analisada estando sujeita a solicitações externas que provocam deslocamentos e rotações (MARTHA, 2010).

O presente trabalho tem como objetivo a análise da influência da locação dos pilares no deslocamento da estrutura, tendo vista que estes elementos estruturais colaboram para a rigidez estrutural e, por conseguinte, na suscetibilidade aos efeitos globais de segunda ordem. São apresentados a seguir a metodologia utilizada para desenvolvimento do presente estudo, bem como os resultados obtidos e a análise dos mesmos.

## **1. METODOLOGIA**

Neste trabalho desenvolveu-se uma análise comparativa entre diferentes locações de pilares em uma edificação do tipo residencial, contendo quatro

pavimentos, 8 apartamentos, térreo e subsolo como garagem. Primeiramente foram posicionados os pilares, gerando o Projeto A, em seguida, foram invertidas as posições de alguns pilares para a comparação, conforme pode ser visto no Apêndice I.

Com a utilização do programa FTOOL determinou-se os deslocamentos horizontais para os pórticos principais de contraventamento, identificados anteriormente para os projetos A e B. Considerando que sob ação de forças horizontais o pior cenário é a edificação vazia (sem cargas verticais de uso), aplicou-se sobre os pórticos somente uma força horizontal de 80kN. Na Figura 1 é mostrado um dos pórticos e seu respectivo deslocamento horizontal.

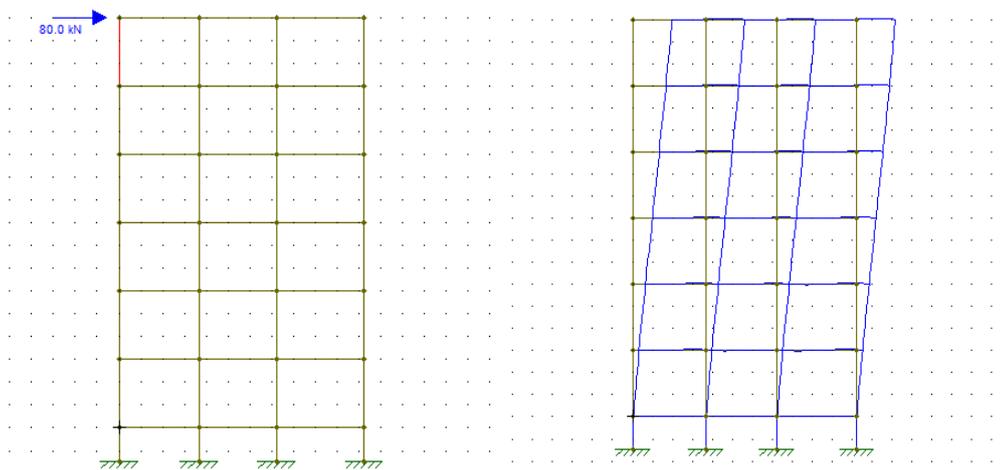


Figura 1 – Pórtico e gráfico de deslocamento da estrutura mediante esforços horizontais.

Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio do FTOOL.

Diversos fatores influenciam na determinação do módulo de elasticidade do concreto. Para obter resultados específicos, é necessária a elaboração de testes baseados na norma ABNT NBR 8522 produzindo o módulo de deformação tangente inicial realizado aos vinte e oito dias. No presente trabalho não foram elaborados corpos de provas para ensaios. Na falta de dados, o módulo de elasticidade do concreto foi calculado usando o valor do  $F_{ck}$ , seguindo os parâmetros da ABNT NBR 6118/2014, como mostra a equação 1:

$$E_{ci} = \alpha \epsilon * 5600 * \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Sendo:

$E_{ci}$  = Modulo de elasticidade;

$\alpha\epsilon$  = Constante que depende do agregado,  $\left\{ \begin{array}{l} 1,0 \text{ para quartzito} \\ 0,9 \text{ para calcário poroso} \\ 0,7 \text{ para arenito} \end{array} \right.$

$F_{ck}$  = Resistencia característica do concreto à compressão.

A partir do deslocamento calculou-se a rigidez (EI) para ambos pórticos, A e B, através da equação 2.

$$EI = \frac{F * H^3}{3 * \delta} \quad (2)$$

Sendo:

EI = Rigidez;

F = Força;

H = Altura;

$\delta$  = deslocamento horizontal.

A verificação da necessidade de considerar os efeitos globais de segunda ordem foi realizada pelo Método do Coeficiente Gama-z ( $c_z$ ) conforme a ABNT NBR 6118: 2014. Para  $c_z > 1,10$ , é obrigatório considerar os efeitos globais de segunda ordem. Para cálculo do coeficiente é utilizada a equação 3.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left( \frac{\Delta M_{total}}{M_{1 total}} \right)} \quad (3)$$

Onde:

$\gamma_z$  = Coeficiente gama Z;

" M = Acréscimo do momento;

$M_1$  = Momento total de primeira ordem.

Sendo assim, para o edifício de 18 metros de altura, definiu-se que o concreto a ser utilizado terá o  $f_{ck}=25$  MPa, uma carga horizontal na superfície da estrutura de 80 KN e carga vertical de 400KNem cada pavimento.

Após o desenvolvimento dos cálculos (ver apêndice II) procedeu-se a análise dos resultados. Para maior compreensão dos mesmos e fomento do conhecimento

dos autores, realizou-se uma revisão de bibliográfica focando no tema abordado pelo trabalho.

## 2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a não linearidade física na análise estrutural da edificação o pórtico referente ao projeto A teve um deslocamento de 0,113m, enquanto que o segundo, do projeto B, teve um deslocamento 0,0761m resultando em uma diferença de 0,0363m. Essa diferença se deve ao fato da estrutura B possuir maior rigidez, em razão de seus pilares estarem orientados em maior quantidade para a direção de maior momento de inércia, diminuindo assim o deslocamento (ver Figura 2).

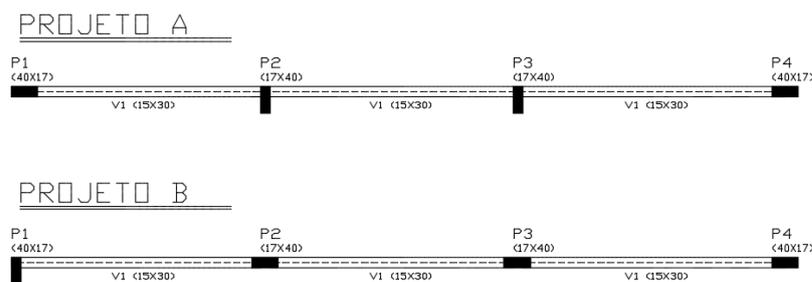


Figura 2 – Orientação dos pilares

Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio do AutoCAD

O termo rigidez é empregado em diversos estudos de temas variados com o intuito de representar grande resistência, tanto a flexão quanto a pressão proveniente de forças atuantes. No presente contexto observa-se que ela está relacionada com o principal método de combate ao deslocamento horizontal de uma estrutura, o contraventamento, que está visivelmente disponível em softwares de cálculo estrutural mais elaborado (SCADELAI, 2004).

O efeito de segunda ordem teve que ser considerado nos dois casos, devido aos valores de  $c_z$  terem sido maiores que 1,10. Foram encontrados os valores de  $c_z$  em 1,23 e 1,14 respectivamente para os projetos A e B. A razão destes resultados está no fato da edificação ser esbelta e estreita em razão de um eixo para o outro.

Dependendo do carregamento à que a estrutura está submetida, os efeitos de segunda ordem podem tomar proporções exageradas, comprometendo sua estabilidade e reduzindo seu desempenho. Como visto anteriormente é

indispensável a sua análise, uma vez que podem onerar significativamente o imóvel sendo necessários procedimentos adicionais para reparo do vício construtivo (PEREIRA et al, 2015).

Uma estrutura deve atender a requisitos de qualidade, considerando não apenas a avaliação da mesma à segurança (ELU), mas também o seu desempenho em serviço (ELS), durabilidade e vida útil (MONCAYO, 2011).

Dessa forma, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem em uma estrutura sejam limitados de forma a garantir a manutenção das boas condições de uso das estruturas, garantir a manutenção do aspecto visual, funcionalidade e durabilidade.

## **CONCLUSÃO**

A partir da comparação entre as locações de pilares, foi possível verificar que este processo deve ser realizado cautelosamente de forma a prever todos os efeitos e consequência na estrutura.

Para o projeto em estudo, observou-se o quanto as deformações podem ser significativamente diferentes mediante a poucas mudanças na distribuição dos pilares.

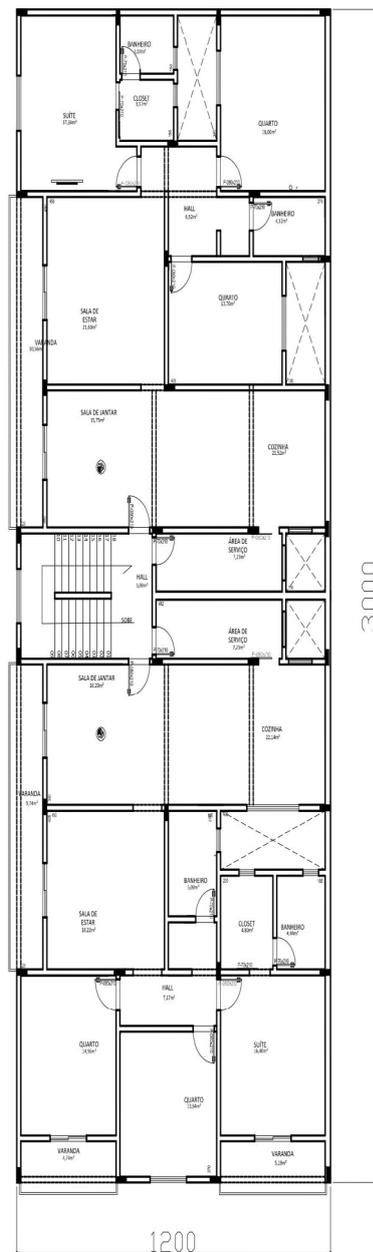
Com a inversão ou a quantidade de pilares alinhados com vigas em um pórtico ocorre uma alteração no momento de inércia que se opõem ao carregamento horizontal, modificando assim a rigidez e a deslocabilidade da estrutura.

Quando tem-se um melhor alinhamento dos pilares e vigas maior o momento de inércia opoitor à carga horizontal, maior a rigidez e menor o deslocamento. Ainda que para ambos casos houve necessidade de considerar os efeitos globais de segunda ordem, no caso do pórtico com maior deslocamento, o momento total, também foi o maior.

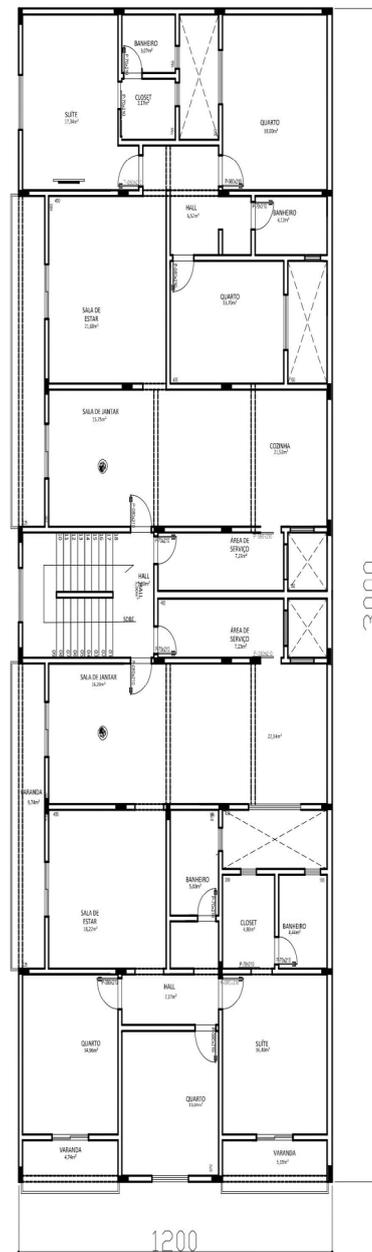
Deve ser feito uma redistribuição dos pilares com melhor distribuição de cargas, para o aumento da rigidez e momento de inércia, dessa maneira há uma diminuição no momento total e no acréscimo de esforço, para assim se obter um menor deslocamento da estrutura.

## APÊNDICE I

### Locação de pilares – Projeto A e B



PROJETO A



PROJETO B

## APÊNDICE II

### Memória de Cálculo

#### PROJETO A

- Cálculo de módulo de elasticidade

$$E_{ci} = 0,8 * \alpha \epsilon * 5600 * \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_{ci} = 0,8 * 1 * 5600 * \sqrt{25}$$

$$E_{ci} = 0,8 * 1 * 5600 * \sqrt{25}$$

$$E_{ci} = 22400MPA$$

- Cálculo da Rigidez

$$\delta_{porticoA} = 8,34 * (10^1)mm$$

$$\delta = 0,0834m$$

$$(EI)_{eq} = \frac{F * H^3}{3 * \delta}$$

$$(EI)_{eq} = \frac{80 * 18^3}{3 * 0,113}$$

$$(EI)_{eq} = 1,37 * (10^6)Kn.m^2$$

- Verificação para efeito de 2ª ordem

$$M1, total = FR * H$$

$$M1, total = 80 * 18$$

$$M1, total = 1440Kn.m$$

$$\Delta = \frac{F * H^3}{3 * (EI)} = \frac{80 * 18^3}{3 * 1,37 * (10^6)} = 0,113m$$

$$\Delta M, total = P. \delta$$

$$\Delta M, total = 2400.0,113$$

$$\Delta M, total = 271,20 \text{ Kn.m}$$

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left( \frac{\Delta M_{total}}{M_{1 total}} \right)}$$

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left( \frac{271,20}{1440} \right)}$$

$$\gamma_z = 1,23$$

$$\gamma_z = 1,23 > 1,10$$

Considerar efeito de 2ª ordem

## PROJETO B

- Cálculo de módulo de elasticidade

$$E_{ci} = 0,8 * \alpha \epsilon * 5600 * \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_{ci} = 0,8 * 1 * 5600 * \sqrt{25}$$

$$E_{ci} = 0,8 * 1 * 5600 * \sqrt{25}$$

$$E_{ci} = 22400 \text{ MPA}$$

- Cálculo da Rigidez

$$\delta_{porticoA} = 7,67 * (10^1) \text{ mm}$$

$$\delta_{porticoA} = 0,0767 \text{ m}$$

$$(EI)_{eq} = \frac{F * H^3}{3 * \delta}$$

$$(EI)_{eq} = \frac{80 * 18^3}{3 * 0,0767}$$

$$(EI)_{eq} = 2,02 * (10^6) \text{ Kn.m}^2$$

- Verificação para efeito de 2ª ordem

$$M_{1, total} = FR * H$$

OLIVEIRA, A. P.; GONÇALVES, D.; BRITTO, K.; CAMPOS, N.; SILVA, S.; SILVA, C.; OLIVEIRA JUNIOR, J.; ROCHA, J. N. Análise da estabilidade global das estruturas sob a influência da locação de pilares

$$M1, total = 80 * 18$$

$$M1, total = 1440 \text{Kn. m}$$

$$\Delta = \frac{F * H^3}{3 * (EI)} = \frac{80 * 18^3}{3 * 2,02 * (10^6)} = 0,0767 \text{m}$$

$$\Delta M, total = P. \delta$$

$$\Delta M, total = 2400.0 * 0,0767$$

$$\Delta M, total = 184,08 \text{Kn. m}$$

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left( \frac{\Delta M_{total}}{M_{1 total}} \right)}$$

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \left( \frac{184,08}{1440} \right)}$$

$$\gamma_z = 1,14$$

$$\gamma_z = 1,14 > 1,10$$

Considerar efeito de 2ª ordem

## REFERÊNCIAS

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

GONÇALVES, R. M. et al. (2007). **Ação do vento nas edificações: teoria e exemplos**. EESC-USP, São Carlos, SP, 2007.

LEET, K. M.; UANG, C. M.; GILBERT, A. M. **Fundamentos da Análise Estrutural**. 3ed. Dados eletrônicos – Porto Alegre: AMGH, 2010.

MARTHA, Luíz. **Métodos básicos da análise de estruturas**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2010.

MONCAYO, Winston. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**, 2011. Disponível

OLIVEIRA, A. P.; GONÇALVES, D.; BRITTO, K.; CAMPOS, N.; SILVA, S.; SILVA, C.; OLIVEIRA JUNIOR, J.; ROCHA, J. N. Análise da estabilidade global das estruturas sob a influência da locação de pilares

em:<[http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2011ME\\_WinstonJuniorZumaetaMoncayo.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2011ME_WinstonJuniorZumaetaMoncayo.pdf)>. Acesso em:15 out. 2017, 19:44.

PEREIRA, E. H. N; OLIVEIRA, C. M; DAVI, H. H. R. C. **Avaliação da estabilidade global em edifícios de concreto armado pelo coeficiente gama-Z e processo P-delta**. Revista Tecnologia & Informação. Ano 2, N.3, Jul./Out.2015

SCADELAI, M.A. **Dimensionamento De Pilares de Acordo com a NBR 6118:2003**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.