



**FAPAC-FACULDADE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS
INSTITUTO TOCANTINENSE PRESIDENTE ANTONIO CARLOS PORTO LTDA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ADRIANO DIAS DE SOUZA ANDRADE

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE LAJES MACIÇAS NA ESTABILIDADE GLOBAL
DE UM EDIFÍCIO ALTO DE CONCRETO ARMADO**

**PORTO NACIONAL-TO
2018**

ADRIANO DIAS DE SOUZA ANDRADE

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE LAJES MACIÇAS NA ESTABILIDADE GLOBAL
DE UM EDIFÍCIO ALTO DE CONCRETO ARMADO**

Projeto de Pesquisa apresentado ao curso de Engenharia Civil da FAPAC / Faculdade Presidente Antônio Carlos, Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos – FAPAC / ITPAC PORTO NACIONAL, como requisito parcial para a aprovação na disciplina de TCC I.

Área: Engenharia Civil

Orientador: Adauto Cezar Rosa do Nascimento

RESUMO

A influência de lajes maciças na estabilidade global de um edifício alto de concreto armado é a temática deste projeto, uma vez que um projeto para se tornar bem sucedido além de satisfazer as necessidades dos clientes, eles devem ser seguros, duráveis e ter um desempenho satisfatório. E o estudo das estruturas, afeta diretamente no cumprimento desses requisitos. A importância desse trabalho se justifica, à medida que ao se escolher uma determinada seção de pilar e determinado arranjo de estrutura, ela pode estar mais sujeita a instabilidade ou não, devido às circunstâncias e ações na qual esse edifício está submetido. Desta maneira os objetivos deste projeto são: Avaliar a influência de lajes maciças na estabilidade global de um edifício alto de concreto armado; Modelar computacionalmente um edifício alto de estrutura aporticada; Determinar o coeficiente de estabilidade global, gama-Z, da norma NBR 6118(2014) Determinar os deslocamentos laterais de cada pavimento; Estimar as frequências naturais e modos de vibração do modelo computacional; Fazer estudos comparativos a partir de modelos computacionais empregando-se metodologias encontradas na literatura técnica afim de se investigar a influência das lajes maciças no comportamento global do edifício. Neste trabalho será desenvolvida uma estrutura de um edifício de 33 nível no qual será feita uma análise de uma estrutura com laje e outra estrutura sem laje, ou seja, com pilares e vigas. Todos os dados serão processados através da utilização do *software* SAP2000 versão 16.

Palavras-chave: Lajes Maciças. Estabilidade Global. Edifício. SAP2000.

ABSTRACT

The influence of massive slabs in the overall stability of a high-rise concrete building is the theme of this project, once a project to become successful in addition to meeting the needs of customers, they must be safe, durable and perform satisfactorily. And the study of structures, directly affects the fulfillment of these requirements. The importance of this work is justified, as in choosing a particular section of pillar and a particular structure arrangement, it may be more subject to instability or not, due to the circumstances and actions in which this building is submitted. In this way the objectives of this project are: Evaluate the influence of massive slabs on the overall stability of a high-rise concrete building; Computational modeling of a tall building with a structured structure; Determine the overall stability coefficient, $\gamma-Z$, of norm NBR 6118 (2014) Determine the lateral displacements of each pavement; To estimate the natural frequencies and modes of vibration of the computational model; To make comparative studies from computational models using methodologies found in the technical literature in order to investigate the influence of massive slabs in the overall behavior of the building. In this work a structure will be developed of a 33 level building in which an analysis of a structure with slab and another structure without slab, that is, with pillars and beams. All data will be processed through the use of SAP2000 software version 16.

Keywords: Solid slabs. Global Stability. Building. SAP2000.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Associação de pórticos planos.....	21
Figura 2: Relação momento-curvatura para seções sub-armadas ou normalmente armadas.....	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS	10
3.1.1 Não-Linearidade Física.....	10
3.1.2 Não-Linearidade Geométrica	11
3.1.3 Parâmetros de Estabilidade	12
3.1.3.1 Parâmetros de instabilidade Alfa.....	13
3.1.3.2 Coeficiente γ_z	14
3.1.3.3 Análise de estrutura de nós fixos	16
3.1.3.4 Análise de estrutura de nós móveis	16
3.1.4 P-Delta.....	17
3.2 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA	18
3.2.1 Ações devido às imperfeições geométricas globais	18
3.2.2 Ações dos ventos nas edificações	19
3.2.3 Ações verticais	20
3.3 INTRODUÇÃO AO SISTEMA ESTRUTURAL ADOTADO	20
3.3.1 Pórticos como estruturas de contraventamento	20
3.3.2 Sistema estrutural com lajes maciças	21
3.3.2.1 Lajes maciças como diafragma rígido	21
3.4 MÉTODO DAS CHARNEIRAS PLÁSTICAS	23
3.5 FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL	24
4 METODOLOGIA.....	26
4.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	26
4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	26
4.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS	27
4.4 ANÁLISE DOS DADOS.....	27
5 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	29
6 ORÇAMENTO	30
7. RESULTADOS ESPERADOS.....	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se contemplado um grande crescimento nas cidades, principalmente nas grandes metrópoles. E esse crescimento se reflete diretamente nas construções. Os edifícios estão cada vez mais altos e os projetos mais audaciosos. Com isso, essas edificações ficam excessivamente esbeltas ocorrendo instabilidade nas estruturas. Além dessa esbeltez, outro fator determinante da instabilidade das estruturas é o vento. Como se sabe, a força do vento se torna maior quanto maior for a altura. As estruturas mais altas, por serem mais esbeltas passam a ter instabilidade que em edificações menores é ignorada.

A principal consequência desses avanços é a probabilidade de se atingir um estado de instabilidade, principalmente nos pilares que são os maiores responsáveis por manter a estabilidade global das estruturas. A partir disso percebeu-se que os deslocamentos laterais passaram a ter uma grande importância na concepção do projeto (ZUMAETA, 2016).

Um destes avanços vividos tem sido evidenciado no aperfeiçoamento da maneira de se projetar. Fatores antes considerados apenas em edificações especiais (edifícios altos ou obras de arte), como os efeitos de segunda ordem e estabilidade global e local das estruturas, agora se tornam necessárias à avaliação destes, em empreendimentos mais comuns.

Estes avanços são aplicados em versões de softwares mais atualizados, simulando com maior precisão os efeitos ao qual uma estrutura está submetida em diferentes situações.

Para estruturas com muitos limites arquitetônicos (pé direito, largura das peças estruturais) a inclusão das lajes para a verificação da estabilidade global das estruturas é uma importante variável no equacionamento do problema de estabilidade das estruturas.

Desta maneira, é importante que o engenheiro civil projetista tenha conhecimento tecnológico, bem como tenha a sua disposição computadores de maior capacidade de processamento que permita incluir uma quantidade maior de elementos sem que haja perda significativa de tempo de processamento, assim o modelo numérico pode ter mais elementos para simular de maneira mais acurada a estrutura concebida permitindo a inclusão de elementos como as lajes nos modelos.

A partir do que foi citado acima constatou-se a importância do estudo da influência de lajes na estabilidade global em estruturas de concreto armado. Um projeto para se tornar bem sucedido além de satisfazer as necessidades dos clientes, eles devem ser seguros, duráveis e economicamente viáveis. E o estudo das estruturas, afeta diretamente no cumprimento desses requisitos. E para tanto, o arranjo da estrutura torna-se de fundamental importância para que as estruturas tenham estabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de lajes maciças na estabilidade global de um edifício alto de concreto armado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar computacionalmente um edifício alto de estrutura aporticada;
- Determinar o coeficiente de estabilidade global, gama-Z, da norma NBR 6118 (2014);
- Determinar os deslocamentos laterais de cada pavimento;
- Estimar as frequências naturais e modos de vibração do modelo computacional;
- Fazer estudos comparativos a partir de modelos computacionais empregando-se metodologias encontradas na literatura técnica afim de se investigar a influência das lajes maciças no comportamento global do edifício.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ESTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS

A estabilidade global é estudada através da análise estrutural, ou seja, é realizada ainda na fase de projeto, onde neste há a previsão de como a estrutura do edifício a ser construído se comportará durante o seu desenvolvimento, levando em conta a verificação dos estados limites últimos e de utilização a partir dos dados obtidos sobre as solicitações às quais a estrutura estará submetida (SCADELAI, 2014).

Quando se analisa estabilidade de uma estrutura, a mesma deve ser realizada de maneira local e também global, ou seja, nesta última deve-se considerar a estrutura como um todo NBR 6118 (ABNT, 2014), onde a mesma determina que esta deve ser verificada em todas as estruturas em concreto armado.

3.1.1 Não-Linearidade Física

Quando se fala em linearidade física, deve-se saber que a mesma está ligada diretamente ao seu modo de elasticidade. Admite-se, no caso de material linear, que seu módulo de elasticidade será sempre o mesmo, ou seja, a tensão aplicada sobre o concreto irá deformá-lo sempre proporcionalmente a esta tensão. Porém no caso do material não linear, seu módulo de elasticidade, e por consequência sua rigidez, admite diferentes valores, onde, a previsão de deformidade é muito mais complexa que na forma linear (REIS, 2013).

Banki (2013) ao estudar o diagrama de tensão-deformação na compressão de concreto, verificou o seu comportamento não-linear. O autor ressaltou, ainda, que a resistência do concreto à tração é por vezes desprezada por ser muito baixa se comparada à sua resistência à compressão.

Pinto; Ramalho (2012) colocam que, no caso do concreto armado, diversos efeitos contribuem para a não-linearidade física do material, como é o caso da fissuração, fluência, escoamento da armadura, além de outros efeitos que possuem menor grau de contribuição.

A NBR 6118 (2014, p. 89), coloca que: “O principal efeito da não-linearidade pode, em geral, ser considerado através da construção da relação

momento-curvatura para cada seção, com armadura suposta conhecida, e para o valor da força normal atuante”.

Porém a NBR 6118(2014) no item 15.7.3 (p. 94) que trata da consideração aproximada da não-linearidade física coloca que: “Para a análise dos esforços globais de 2ª ordem, em estruturas reticuladas com no mínimo quatro andares, pode ser considerada a não-linearidade física de maneira aproximada(...)”.

Reis (2013), coloca que o ajuste é realizado por meio de um coeficiente redutor, que tem por objetivo representar a variação da rigidez do elemento, possibilitando que se estime a não-linearidade física e seus efeitos.

Salienta-se que, na realidade, cada lance de pilares de um edifício, por exemplo, terá um valor de rigidez diferente dos demais, porém a Norma adota os valores aproximados como sendo uma média que representa de forma aceitável a rigidez dos pilares da estrutura como um todo. Razão pela qual, só se pode utilizar tais aproximações para a análise global e nunca para a análise local (MONCAYO, 2011).

Para a análise local, a NBR 6118/2014 considera a não-linearidade física de forma diferenciada, através dos métodos descritos no item 15.8.

As limitações para utilização dos coeficientes redutores presentes na Norma, quanto à estrutura ser reticulada com mais de quatro andares, se justificam pelo fato de não haverem estudos referentes à estruturas reticuladas com três pavimentos ou menos, porém, sabe-se da grande propensão de que os coeficientes sejam menores. Fazendo-se necessárias, portanto, pesquisas específicas no assunto (MONCAYO, 2011).

3.1.2 Não-Linearidade Geométrica

A não-linearidade geométrica está relacionada à deformidade da estrutura ao receber carregamentos horizontais. Essas deformações podem tornar os problemas estruturais mais acentuados, e, caso isto aconteça, é necessário analisar a estrutura na configuração deformada, onde a partir daí, será gerado novas forças e momentos fletores (SCADELAI, 2014).

Em todos os cálculos de estrutura em concreto armado deveria ser realizada as considerações da não-linearidade geométrica. Sabe-se que em alguns casos, como em vigas, a diferença entre o resultado obtido nas teorias de primeira e

segunda ordem, não é significativa, onde é possível desconsiderar a não-linearidade geométrica. Já para as estruturas de pilares, as considerações dos efeitos de segunda ordem podem causar discrepâncias consideráveis nos cálculos (GASS, 2015).

Segundo Ribeiro (2013), essa análise nos pilares é necessária, pois o surgimento de deslocamentos horizontais inexistente anteriormente causa excentricidades nas cargas verticais, as quais são recebidas pelos pilares, gerando momentos que também não existiam antes das deformações.

A consideração da não-linearidade geométrica é fundamental para os estudos da estabilidade global da estrutura em concreto armado, assim como também é de suma importância para a análise local dos pilares (KIMURA, 2017). Esta pode ser estudada de forma simplificada através do processo $P-\Delta$ ou pelo parâmetro Y_z .

3.1.3 Parâmetros de Estabilidade

A análise da estabilidade global na estrutura pode ser realizada através do cálculo dos parâmetros de estabilidade, definidos pela NBR 6118/2014. Deve-se primeiro definir se a estrutura é classificada como estrutura de nós fixos (quando os efeitos de segunda ordem são desprezáveis) ou como estrutura de nós móveis (quando os efeitos de segunda ordem são significativos), para tanto, tem-se que:

As estruturas são consideradas, para efeito de cálculo, como de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezáveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2ª ordem.

As estruturas de nós móveis são aquelas onde os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são importantes (superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas devem ser considerados tanto os esforços de 2ª ordem globais como os locais e localizados. (ABNT, NBR 6118/2014, p. 91).

Existem subestruturas que apresentam grande rigidez às ações horizontais aplicadas na estrutura como um todo. À essas subestruturas se dá o nome de subestruturas de contraventamento, podendo estas serem classificadas como de nós fixos ou nós móveis da mesma forma definida anteriormente. Os

demais elementos são chamados de elementos contraventados. (ABNT, NBR 6118(2014)).

Em comparação aos efeitos globais de 2ª ordem, que são decorrentes dos deslocamentos horizontais advindos da aplicação de cargas horizontais e verticais na estrutura, os efeitos locais de 2ª ordem são consequência da não possibilidade construtiva de uma execução perfeita da estrutura, no que se diz respeito, por exemplo, aos encontros dos eixos dos pilares que não se mantêm retilíneos. Já os efeitos localizados de 2ª ordem são aqueles encontrados em pilares-parede, nas regiões de não retilinidade maior do que a do eixo do pilar como um todo (CAVALHEIRO, 2016).

É necessário salientar que as estruturas de nós fixos também se deformam, porém de forma que não se torna necessário considerar os efeitos de segunda ordem, e também as estruturas de nós móveis não se deformam de forma excepcional, são apenas assim chamadas por definirem que estas deformações produzem efeitos de segunda ordem significativos para a estabilidade da estrutura. (MONCAYO, 2011).

A NBR 6118/2014 apresenta dois parâmetros que podem ser utilizados para a verificação da necessidade de consideração dos efeitos globais de 2ª ordem, possibilitando a classificação da estrutura como sendo de nós fixos ou nós móveis sem que seja preciso cálculo rigoroso (REIS, 2013).

3.1.3.1 Parâmetros de instabilidade Alfa

Segundo Moncayo (2011), o parâmetro de instabilidade α foi deduzido em 1967 por Beck e Konig, e foi definido como parâmetro de instabilidade por Franco (1985). Esse parâmetro é capaz de classificar a estrutura quanto a dispensa dos efeitos de segunda ordem, entretanto, não é capaz de quantificá-los quando necessário.

O parâmetro α está prescrito no item 15.5.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014) como um processo aproximado para indicar se a estrutura é de nós fixos ou móveis, partindo de uma análise de primeira ordem, sem o uso de um cálculo mais rigoroso. A estrutura é de nós fixos se $\alpha_1 < \alpha$ com α obtido pela Equação abaixo.

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{(E_{cs} \cdot I_c)}}$$

FONTE: ABNT, NBR 6118/2014

Para edifícios com 3 andares ou menos ($n \leq 3$) α_1 vale: $\alpha_1 = 0,2 + 0,1n$.

Para edifícios com 4 andares ou mais ($n \geq 4$) α_1 vale: $\alpha_1 = 0,6$.

Onde:

H_{tot} é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

N_k é a soma de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H_{tot}), com seu valor característico;

$E_{cs} \cdot I_c$ representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão $E_{cs} \cdot I_c$ de um pilar equivalente de seção constante.

Para associações de pilares-parede e para pórticos associados a pilares-parede, adotar $\alpha_1 = 0,6$. No caso de contraventamento constituído exclusivamente por pilares-parede, adotar $\alpha_1 = 0,7$. Quando só houver pórticos, adotar $\alpha_1 = 0,5$ (CAVALHEIRO, 2016).

A consideração da NLF causada pela fissuração e pelo comportamento não-linear do concreto na compressão já está deduzida na equação no parâmetro α (MONCAYO, 2011).

3.1.3.2 Coeficiente γ_z ,

O coeficiente γ_z , é um parâmetro, criado pelos engenheiros brasileiros Augusto Carlos de Vasconcelos e Mário Franco, largamente utilizado para avaliar a estabilidade global de edifícios de concreto armado de maneira simples, rápida e eficiente (KIMURA, 2017, p. 559).

Cavalheiro (2016) explica que esse coeficiente surgiu do empenho de se obter um método capaz de detectar se a estrutura é de nós móveis ou fixos e, além

disso, estimar os esforços de segunda ordem quando relevantes, sem ter que realizar uma análise de segunda ordem.

Para o cálculo do coeficiente, os procedimentos a serem seguidos são:

a) Primeiro faz-se uma análise de primeira ordem levando em consideração as cargas verticais e horizontais. Uma redução da rigidez da estrutura é realizada com o objetivo de considerar, de forma aproximada, a não-linearidade física.

b) Calculam-se os acréscimos de momentos, através da relação:

$$\Delta M_d = R_d \cdot e_d$$

Onde:

ΔM_d = acréscimos de momentos; R_d = Valor de projeto da resultante de todas as cargas verticais; e_d = deslocamento de primeira ordem do ponto de aplicação da resultante R_d .

Essa avaliação, válida para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares, é efetuada a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, adotando-se os valores de rigidez dados em 15.7.3 da norma. γ_z é determinado pela seguinte expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M1_{tot,d}}}$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$ = 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;

$M1_{tot,d}$ = momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

3.1.3.3 Análise de estrutura de nós fixos

Conforme Carvalho; Pinheiro (2017), nas estruturas de nós fixos, é permitido considerar cada elemento comprimido isoladamente, como barra vinculada nas extremidades aos demais elementos estruturais que ali concorrem, onde se aplicam os esforços obtidos pela análise da estrutura efetuada segundo a teoria de primeira ordem.

Sob ação de forças horizontais, a estrutura é sempre calculada como deslocável. O fato de a estrutura ser classificada como de nós fixos dispensa apenas a consideração dos esforços globais de segunda ordem.

Segundo Oliveira (2012), sabe-se que todas as estruturas são deslocáveis. Entretanto, em algumas estruturas, mais rígidas, os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, conseqüentemente, os efeitos globais de segunda ordem têm pequena influência nos esforços totais, podendo então ser desprezados. Estas estruturas são denominadas estruturas de nós fixos. Nestes casos, as barras podem ser calculadas isoladamente, com suas extremidades vinculadas, onde são aplicados os esforços obtidos pela análise de primeira ordem.

3.1.3.4 Análise de estrutura de nós móveis

Conforme Carvalho; Pinheiro (2017), em estruturas de nós móveis, a análise deve levar obrigatoriamente em conta os efeitos da não-linearidade geométrica e da não-linearidade física. No dimensionamento, consideram-se obrigatoriamente os efeitos globais e locais de 2ª ordem.

Segundo Oliveira (2012), a não-linearidade física expressa a aplicação da Lei de Hooke, estando diretamente relacionada ao comportamento do material. Para o caso do concreto, formação e abertura de fissuras acarretam a perda de proporcionalidade entre tensão e deformação antes mesmo do limite de proporcionalidade ser atingido.

O comportamento não linear físico dos materiais afeta a rigidez das seções transversais, e esta alteração não pode ser desprezada em uma análise de segunda ordem, uma vez que os deslocamentos laterais da estrutura estão intimamente relacionados com a rigidez dos membros constituintes (REIS, 2013).

Já a análise de não-linearidade geométrica deve ser levada em conta sempre que ocorram alterações significativas na geometria. A interação das forças verticais com os deslocamentos horizontais torna a estrutura cada vez mais distante de sua posição indeformada e uma nova posição de equilíbrio, se existir, é alcançada (PINTO; RAMALHO, 2012).

3.1.4 P-Delta

O processo P-Delta se baseia no estudo do equilíbrio da estrutura deformada após a análise de 1ª ordem. A idéia básica do processo é a de simular o efeito não linear, através de cargas horizontais fictícias aplicadas à edificação (PAIXÃO; ALVES, 2016).

Sob o efeito das cargas horizontais, os nós da estrutura deslocam-se horizontalmente, fazendo com que o pórtico do edifício assuma outra configuração geométrica, que é a de nós deslocados. Este processo é feito internamente, pesquisando iterativamente a posição final da estrutura deformada (PEREIRA; OLIVEIRA; DAVI, 2015).

Ao invés de incluir explicitamente na análise de estrutura a modificação da geometria causada pela análise de 1ª ordem, pode-se simplificar a consideração do comportamento não linear geométrico substituindo o momento adicional causado pela excentricidade $P-\Delta$ por um binário de cargas horizontais auto-equilibradas (FREITAS; LUCHI; FERREIRA, 2016).

O procedimento utilizado para uma barra pode ser estendido para uma estrutura de múltiplos pavimentos.

O valor inicial para os deslocamentos Δ deve ser obtido de uma análise de 1ª ordem do edifício, utilizando as cargas horizontais originais. Os incrementos dos cortantes fictícios equivalentes dados por V_i reproduzem os momentos nas extremidades das barras, oriundos do efeito P-Delta. Assim, o incremento de carga lateral equivalente H_i que deve ser adicionado ao pavimento “i” é dado pela diferença dos cortantes fictícios acima e abaixo do nível do pavimento (LACERDA et al., 2014).

Os incrementos de carga lateral equivalente H_i devem ser somados ao carregamento externo aplicado e a estrutura deverá ser analisada novamente, até que os incrementos baseados nos novos valores não provoquem nenhuma alteração

significativa em relação ao resultado da iteração anterior. Ao final, os momentos e deslocamentos resultantes levam em conta o efeito P-Delta na estrutura (PAIXÃO; ALVES, 2016).

3.2 AÇÕES ATUANTES NA ESTRUTURA

3.2.1 Ações devido às imperfeições geométricas globais

Todo edifício com estrutura de concreto armado está sujeito a imperfeições: na posição e na forma dos eixos dos elementos estruturais, na forma e nas dimensões da seção transversal, na distribuição da armadura, entre outras.

Muitas dessas imperfeições estão cobertas pelos coeficientes de segurança, mas a do eixo das peças, não.

Por isso, ela deve ser obrigatoriamente considerada pelo engenheiro de estruturas nos seus projetos, pois tem efeitos significativos sobre a estabilidade da edificação (PAIXÃO; ALVES, 2016).

A análise dessas imperfeições é algo bastante complexo, pois não há como saber a magnitude dessas “falhas” que vão ocorrer durante a construção. Vale ressaltar que tais imperfeições têm influência em toda a estrutura, porém nos pilares essa influência é muito mais significativa. Por isso os pilares devem ser dimensionados adequadamente para resistir aos esforços adicionais gerados por essas imperfeições (KIMURA, 2017).

No item 11.3.3.4 “Imperfeições geométricas” da NBR 6118/2014, está escrito o seguinte: “Na verificação do estado limite último das estruturas reticuladas, devem ser consideradas as imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais da estrutura descarregada. Essas imperfeições podem ser divididas em dois grupos: imperfeições globais e imperfeições locais”.

No item 11.3.3.4.1 “Imperfeições globais” da citada Norma, tem-se que na análise global das estruturas reticuladas, sejam elas contraventadas ou não, deve ser considerado um desaprumo dos elementos verticais, ou seja, deve ser considerada para os elementos verticais uma inclinação com um ângulo θ_a em radianos.

3.2.2 Ações dos ventos nas edificações

A ação do vento é uma das principais causas do surgimento de esforços horizontais nas edificações altas. Para avaliar a ação do vento no local da obra, inicialmente consulta-se no mapa das isopletras fornecido na norma NBR 6123(1988), A equação da velocidade característica é definida na seguinte fórmula:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

sendo,

V_o = Velocidade básica do vento;

S_1 = Fator topográfico;

S_2 = Fator relacionado com a rugosidade do terreno e dimensões da edificação;

S_3 = Fator estatístico.

Segundo Sáles et al.(1994), para o caso de edifícios de grande altura é possível dividi-los em várias partes e, a partir daí, calcular a velocidade característica (v_k) para essas partes, tomando como altura de referência a cota superior para cada trecho.

Conhecendo-se o valor de v_k , calcula-se o valor da pressão de obstrução q^* (pressão perpendicular à superfície da estrutura), dada pela expressão: $q^* = 0,0613v_k^2$, onde q^* : pressão de obstrução em kgf/m^2 v_k : velocidade característica em m/s .

Para transformar essa pressão de obstrução em pressão estática, a ser aplicada à estrutura, faz-se necessário conhecer o coeficiente de arrasto. Esse coeficiente é usado para se obter a pressão global (ou mesma a força global) que o vento exerce na estrutura. A pressão estática é dada pela expressão:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e$$

onde,

C_a = é o coeficiente de arrasto

q = é a pressão dinâmica ou pressão de obstrução

A_e = Área frontal efetiva: área da projeção ortogonal da edificação, estrutura ou elemento estrutural sobre um plano perpendicular à direção do vento ("área de sombra").

Para obter os esforços em cada pórtico, pode-se associá-los de modo análogo ao que é feito na verificação da estabilidade global. Ressalta-se que esta associação é possível porque, como as lajes possuem rigidez "infinita" no plano

horizontal, elas permitem que os pórticos e paredes trabalhem de modo conjunto para resistir às ações horizontais. Para apresentar as lajes fazendo a associação entre os pórticos, utilizam-se barras bi-articuladas, como área “infinita”.

3.2.3 Ações verticais

As ações verticais podem ser permanentes e acidentais. As ações permanentes verticais é constituído pelo peso próprio e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes que são vigas, pilares, lajes, revestimentos e alvenaria de vedação.

Segundo a NBR 6120(1980), as ações acidentais verticais e toda a carga que atuar sobre a estrutura em função da ocupação da edificação (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.).

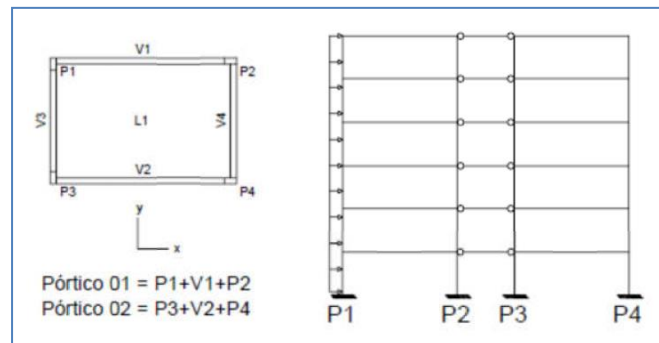
3.3 INTRODUÇÃO AO SISTEMA ESTRUTURAL ADOTADO

3.3.1 Pórticos como estruturas de contraventamento

Os pórticos, nas estruturas de edifícios, são formados por vigas e pilares, onde estas estruturas são modeladas de três maneiras, sendo estas: pórtico plano, plano associado e espacial (GUTIERRE, 2016).

Os pórticos planos associados conseguem representar de maneira satisfatória a resposta de uma estrutura simétrica sob carregamentos horizontais. Nas estruturas assimétricas, os melhores resultados são obtidos para modelos de pórtico espacial (MARIN, 2009).

Os pórticos planos não são capazes de avaliar os efeitos de torção corretamente, e em estruturas muito assimétricas esses efeitos podem ser importantes (FONTES, 2005).

Figura 1: Associação de pórticos planos

FONTE: Fontes (2005)

3.3.2 Sistema estrutural com lajes maciças

As lajes maciças são assim denominadas por possuir concreto em toda a sua espessura, com armaduras longitudinais em uma ou duas direções além de possui armaduras transversais. As lajes que contem armaduras longitudinais em apenas uma direção é aquela que possui relação maior que 2 em sua dimensão de largura e comprimento, pois se for ao contrario a mesma passa ser uma malha. Geralmente são apoiadas em vigas ou pilares-parede, apoiadas diretamente em pilares (BUZO, 2017).

Podem ser construídas em concreto armado ou protendido. Raramente é vista em residências, ou edifícios de pequeno porte, pelo fato de as lajes com material pré-moldado terem vantagens financeiras em relação a maciça.

3.3.2.1 Lajes maciças como diafragma rígido

Pode-se caracterizar diafragmas rígidos de uma estrutura elementos cuja sua rigidez é extremamente maior do que as dos outros, sendo assim, o elemento é infinitamente rígido no seu plano. Isso significa que o pavimento irá funcionar como um elemento infinitamente rígido no seu plano e perfeitamente flexível na direção normal à esse plano (AVILLA et al., 2014).

Com a ausência de quaisquer deformações, o pavimento se comporta como elemento folha, que se resume à compatibilização de seus deslocamentos no seu plano.

Sendo assim, há a expressiva redução do número de graus de liberdade da laje, pois ela não é classificada como grelha mais, remetendo o elemento a

somente três: duas translações no plano do pavimento e uma rotação normal. A modelagem acaba transformando esses graus de liberdade de todos os nós do nível do diafragma, em somente um chamado “nó mestre” (BUZO, 2017).

Deve-se dar atenção às ligações dos elementos rígidos verticais aos horizontais, para que haja a perfeita transmissão dos esforços, garantindo a rigidez axial da laje e não permitindo assim, a ruptura. Se não houver a perfeita transmissão, acarretará patologias na obra, desde a estrutura até o sistema de vedação. Patologias as quais podem ocasionar desconforto nos usuários da obra ou até ruína (AVILLA et al., 2014).

Buzo (2017) trata de diversas suposições para lajes pré-moldadas com comportamento de diafragma rígido:

- O Modelo estrutural usado deve levar em conta a compatibilidade de deformação dos elementos de contraventamento.
- Devem-se considerar os deslocamentos horizontais em todos os locais da estrutura.
- A armação do diafragma deve ser dimensionada para resistir à todos os esforços de tração solicitantes.

3.3.2.2 Contribuição da rigidez à flexão das lajes

Em estruturas compostas por elementos lineares, é comum ter interseções dos eixos, de dois ou mais elementos, representadas por nós. No entanto há casos em que as dimensões das ligações entre os elementos não são desprezíveis, quando comparadas com vãos e pés-direitos. Costuma-se modelar esses nós de dimensões finitas como elementos infinitamente rígidos, ou elementos de rigidez significativamente maior que a dos demais, o que garante uma idealização mais realista do comportamento de edifícios. No entanto, nem todo o trecho de interseção deve ser considerado como trecho rígido.

Sob a ação de forças horizontais (vento ou ações fictícias do desaprumo), as lajes, enrijecidas pelo vigamento, têm comportamento próximo ao de um diafragma rígido, ou seja, praticamente não se deformam axialmente. Tal fato se deve à grande rigidez da laje frente às ações horizontais, bastando, para melhor entender, imaginá-la como uma viga de grande altura, submetida à flexão. Como principal consequência tem-se os nós de vigas e pilares, situados no mesmo plano

da laje, deslocando-se horizontalmente (transladando) de forma idêntica. No entanto, dada uma assimetria do edifício, podem haver rotações diferenciadas dos nós (FONTES; PINHEIRO, 2006).

3.4 MÉTODO DAS CHARNEIRAS PLÁSTICAS

O método das charneiras plásticas, ou método de ruptura, para o cálculo das lajes teve seu primeiro desenvolvimento no trabalho de K. W. Johansen, em artigo publicado em 1932, nas memórias da Associação Internacional de Pontes e Estruturas, baseando-se em experiências feitas por Hage Ingerlew, em 1921 (COSTA, 2010).

A finalidade da teoria das charneiras plásticas é a determinação dos momentos de plastificação que se devem atribuir à laje em estudo para que a ruína não se dê sob a ação de cargas inferiores às impostas pelo projetista, já multiplicadas pelos respectivos coeficientes de segurança (costa, 2010).

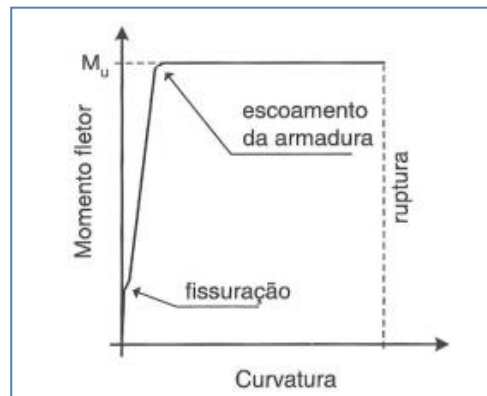
A teoria considera o equilíbrio da laje no momento que antecede a ruína, ou seja, no estado limite último. Uma das suas desvantagens é não permitir analisar o comportamento do elemento nas condições de utilização (ARAUJO, 2013).

Segundo Costa (2010, p. 40), as hipóteses fundamentais que constituem as bases da teoria das charneiras plásticas são as seguintes:

- a) o material é considerado rígido-plástico, ou seja, as deformações elásticas são desprezadas em face das deformações plásticas;
- b) as lajes devem ser subarmadas, isto é, taxas de armaduras devem ser pequenas e suficientes para que não ocorra ruptura do concreto por compressão antes do escoamento das armaduras, permitindo completo desenvolvimento das linhas de plastificação e consequentemente do mecanismo de colapso;
- c) ao longo e nas vizinhanças de cada charneira o momento fletor é considerado constante e igual ao momento máximo que a laje pode resistir;
- d) não deverá haver ruína prematura por cisalhamento ou por punção. A ruína da estrutura deve ocorrer com formação de um mecanismo de colapso.

A NBR 6118 (2014) permite a utilização da teoria das charneiras plásticas quando as deformações das seções das lajes estiverem no domínio 2 ou 3, ou seja, peças subarmadas ou normalmente armadas. Tais seções apresentam uma relação momento fletor-curvatura, de acordo com a figura 02.

Figura 02: Relação momento-curvatura para seções sub-armadas ou normalmente armadas



FONTE: Araujo (2013)

Observa-se na figura 02 que a curvatura elástica, acumulada até o início do escoamento da armadura, é pequena em relação à curvatura de ruína. Por serem pequenas as deformações elásticas em face das plásticas, elas são desprezadas adotando o comportamento rígido-plástico.

3.5 FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

Os modos de vibração e as frequências naturais de uma estrutura dependem das condições do contorno, da rigidez e da massa. Quando acontece qualquer alteração em um desses parâmetros, altera também a maneira de vibrar, onde um elemento que esteja sujeito ao processo de degradação irá experimentar uma redução gradativa de rigidez e, conseqüentemente, de sua frequência natural (LIMA, 2017).

As possíveis formas de vibrar estão associados às frequências naturais, onde o modo de vibração sofre grande influência da fissuração, principalmente em regiões nas quais os deslocamentos da estrutura apresentam maior amplitude (ALMEIDA, 2005). A figura 11 demonstra o modo de vibração, conforme segue.

A expressão para cálculo da frequência natural transversal (f) é dada por:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

onde,

F = Frequência natural

k = rigidez da estrutura

m = massa da estrutura

F = Frequência natural, Diretamente proporcional com a rigidez, onde podemos perceber que com o aumento da rigidez obtemos maior frequência natural, com isso temos um desempenho satisfatório.

4 METODOLOGIA

4.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Será realizada uma análise de edifício onde serão desenvolvidos dois modelos: A e B de um residencial localizado na cidade de Palmas (TO). O edifício tem estrutura aporticada de concreto armado, possui 105 metros de altura a partir do nível do terreno e é composto de subsolo 1, subsolo 2, térreo, pilotis, mezanino, 30 pavimentos tipo, cobertura, forro, caixa d'água e tampa, sendo que a garagem está contida nos quatro primeiros pavimentos.

Suas dimensões em planta são de 20,26 x 25,82 metros quadrados. O sistema estrutural responsável por resistir aos esforços laterais é constituído dos pórticos de concreto armado, lajes e o núcleo central rígido.

Os pavimentos tipo têm 4 apartamentos por andar. Todas as lajes da torre são maciças e no centro da estrutura existe um núcleo de rigidez formado por pilares em “L” no qual está alocado o poço dos elevadores e as escadas de emergência. A resistência característica em projeto do concreto das vigas, lajes e pilares é de 30 MPa.

4.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Será elaborado um estudo sobre a influência de lajes maciças na estabilidade global de um edifício de concreto armado, sobretudo no que diz respeito a contribuição de rigidez da laje numa estrutura aporticada, no qual serão utilizados dois modelos, onde será feita uma comparação entre os dois modelos.

Modelo 1 é o de referência sendo o modelo convencional da estrutura em concreto armado, ou seja, a parte estrutural desse modelo é formado apenas pelo pórtico espacial constituído por vigas, pilares e lajes modelados como elementos de barra, com exceção dos quatro pilares em “L” que fazem parte do núcleo rígido que será modelados como elementos de casca.

Modelo 2 tem as mesmas características do Modelo 1 com a diferença de que a parte estrutural desse modelo é formado apenas pelo pórtico espacial constituído por vigas, pilares.

4.3 PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS

Nesta etapa será feita uma análise linear de 1ª ordem da estrutura, obtendo-se os deslocamentos horizontais dos nós da estrutura, no qual cada barra vertical da estrutura apresenta uma configuração deformada em relação ao seu eixo original.

Logo após será verificada a estabilidade global da estrutura, onde buscará identificar se a estrutura é de nós fixos ou móveis, para se chegar o deslocamento lateral total do último pavimento.

Logo em sequência será estimado as frequências naturais e modos de vibração do modelo computacional, com a finalidade de simulação de uma avaliação da integridade estrutural e localização ou intensificação dos danos existentes. Todas estas análises serão realizada através da utilização do *software* SAP2000 versão 16.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

A discretização de um elemento contínuo é trabalhado no método dos elementos finitos, ou seja, quando o corpo é dividido em diversas partes pequenas onde a isto denomina-se elementos. Esses elementos podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais e são conectados entre si por meio de nós (NASCIMENTO, 2015).

Os elementos unidimensionais, chamados de barra (*frame*) são os elementos utilizados nas análises. Estes são úteis para representar estruturas lineares como pilares e vigas. Serão usados ainda elementos bidimensionais, chamados elementos de casca (*shell*) os quais são úteis para representar o comportamento de estruturas de superfície, como é o caso das lajes (NASCIMENTO, 2015).

Em todos os modelos foram considerados as mesmas propriedades dos materiais, bem como a mesma geometria, a seguir são listados as propriedades adotadas para os modelos:

Resistência característica a compressão do concreto em projeto (F_{ck}): 30 Mpa;

Peso específico do concreto armado: 25 kN/m³;

Módulo de elasticidade do concreto armado em GPa (E_{RC});

$$E_{RC} = E_{con}(1 - \rho) + E_s\rho,$$

Onde:

E_{con} = é o módulo de do concreto igual a $\alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}}$, com $\alpha_E = 1$ (NBR 6118:2014);

E_s = Módulo de elasticidade do aço adotado igual a 200 GPa;

ρ = é a taxa de armadura adotada igual a 4%;

Coeficiente de Poisson do concreto: 0,20.

Nessa etapa será feita a comparação entre os parâmetros obtido no modelo 1 e 2. Com a obtenção dos deslocamentos laterais dos dois modelos com a quantidade de dados de cada parâmetro tanto nas direções x e y no qual serão considerados os deslocamentos laterais nas direções x e y de 36 níveis estruturais, afim de verificar o comportamento da estrutural em função da laje.

5 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

Quadro 1: Cronograma relacionado aos procedimentos inerentes ao projeto de pesquisa.

ATIVIDADES	MAR 2018	ABR 2018	MAI 2018	JUN 2018	JUL 2018	AGO 2018	SET 2018	OUT 2018	NOV 2018
Escolha do tema do projeto de pesquisa	X								
Pesquisa bibliográfica		X	X						
Elaboração do projeto de pesquisa		X	X						
Apresentação do projeto				X					
Férias					X				
Análises do objeto de estudo através <i>software</i> SAP2000 versão 16						X	X		
Registro dos resultados						X	X		
Elaboração do TCC II						X	X	X	
Apresentação do TCC II									X

FONTE: Elaborado pelo autor.

6 ORÇAMENTO

Quadro 2: Orçamento relacionado às despesas para a execução do projeto de pesquisa

	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Total
Papel Ofício A-4	19,00	01	19,00
Canetas esferográficas	2,00	02	2,00
Cartucho para impressora	120,00	02	240,00
Computação gráfica (Encadernamento)	20,00	04	80,00
Pen-drive	30,00	01	30,00
Licença SAP 2000	20.644,80	01	20.644,80
Despesa com combustível	4,15	12	49.80
TOTAL	-	-	21.065,60

FONTE: Elaborado pelo autor.

As despesas serão custeadas com recursos próprios do pesquisador.

7. RESULTADOS ESPERADOS

Levantar dados para colaborar com a pesquisa científica e com a investigação do modelo proposto se atende às especificações exigidas na norma NBR 6118/2014 de acordo com os objetivos específicos do trabalho.

Com a finalidade de verificar a importância da laje maciça no desempenho estrutural e contribuição da rigidez transversal das lajes na estabilidade global de edifício alto de concreto armado e Prova que a laje influencia na rigidez do prédio e diminuir o deslocamento lateral.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/02/nbr6120.pdf>. Acesso em: 19 Mai. 2018

_____. **NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto armado – Procedimento.** 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em: 19 Mai. 2018

ALMEIDA, Sandra Freire. **Análise dinâmica experimental da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura.** São Carlos, 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 2005.

ANDRADE NETO, Ivo Carrijo. **Contribuição à Análise da Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado com Redução Brusca de Rigidez entre Pavimentos.** Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. 2013

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado.** Volume 2, 2ª edição, Rio Grande do Sul: Editora Dunas, 2013

AVILLA, Marcelo C.; AVILLA Vinicius C.; CARVALHO R. C.; AVILLA, Jair J. Ligações dos Elementos que Compõem o Diafragma Rígido das Estruturas de Edifícios Altos Executados em Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas com Vigotas Trelaçadas. **Revista Dom Digital**, São José do Rio Preto, 2 semestre 2014. Disponível em: <https://slidex.tips/download/diaphragm-in-precast-concrete-in-tall-buildings-with-precast-slabs-with-lattice>. Acesso em: 07 Mai. 2018

BANKI, André Luiz. **Estudo sobre a inclusão da não linearidade geométrica em projetos de edifícios.** 2013. 291f. Tese (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia

Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80456>. Acesso em: 22 Mar. 2018

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Pini, 2017

CAVALHEIRO, Rafael. **Análise da estabilidade global de edifícios em concreto armado com parâmetros Yz e FAVt**. 2016. Monografia (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. 2016. Disponível em: https://www.eec.ufg.br/up/140/o/AN%C3%81LISE_DA_ESTABILIDADE_GLOBAL_D E_ESTRUTURAS_DE_CONCRETO_ARMADO_DA_CIDADE_DE_GOI%C3%82NIA .pdf. Acesso em: 28 Mar. 2018

FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR6118:2003**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/2005ME_FernandoFFontes.pdf. Acesso em: 07 Mai. 2018

FONTES, Fernando Fernandes; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Análise de um edifício por vários modelos estruturais**. Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. Abril, 2006.

FREITAS, Felipe; LUCHI, Lorenzo; FERREIRA, Walnorio. Análise da estabilidade global das estruturas e ações de controle dos seus edifícios. **IBRACON Structures and Materials Journal**, 2016. vol. 9. nº 2. Disponível em: <http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/view/695>. Acesso em: 18 Abr. 2018

GASS, Carolina. **Estudo da estabilidade global de edifícios – utilização do parâmetro de instabilidade Gama-Z**. 2015. Monografia (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco. 2015. Disponível em:

http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5579/1/PB_COECI_2015_1_15.pdf. Acesso em: 28 Mar. 2018

GUTIERRE, Saulo Migotto. **Estudo sobre a contribuição das lajes na estabilidade global de edifícios**. Dissertação (Pós Graduação) apresentada a Universidade Federal de Santa Catarina. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/178297>. Acesso em: 07 Mai. 2018

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: PINI, 2017

LACERDA, MaizaMoana Silva et al. Avaliação de critérios para análise da estabilidade global em edifícios de concreto armado: estudo de caso. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil** Vol 9 - nº 2. 2014. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/28875>. Acesso em: 18 Abr. 2018

LIMA, Gustavo Emilio Soares de. Avaliação dinâmica do comportamento estrutural de vigas de concreto armado submetidas à degradação da rigidez. Viçosa, MG, 2017

LOPES, Fellipe Souza. **Aplicação do método dos elementos finitos com elementos de junta na previsão do comportamento de estruturas de concreto armado**. Monografia (Graduação) apresentada a Universidade de Brasília, 2016. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/16990/1/2016_FellipeSousaLopes_tcc.pdf. Acesso em: 07 Mai. 2018

MARIN, MarceloCuadrado. **Contribuição à análise da estabilidade global de estruturas em concreto pré-moldado de múltiplos pavimentos**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-03032010-082525/pt-br.php>. Acesso em: 07 Mai. 2018

MATA, Rodrigo Carvalho da. **Análise experimental e numérica do comportamento de junta em painéis de contraventamento de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 174 p. 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-20092011-105656/pt-br.php>. Acesso em: 14 Mai. 2018

MONCAYO, WinstonJuniorZumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado**. 2011. 221f. Tese (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../2011ME_WinstonJuniorZumaetaMoncayo.pdf. Acesso em: 28 Mar. 2018

NASCIMENTO, Adauto Cesar Rosa. **Estudo numérico-experimental da influência da alvenaria de vedação na rigidez de edifícios de concreto armado**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Instituto de Tecnologia, Belém 2015. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/7897/1/Dissertacao_EstudoNumericoExperimental.pdf. Acesso em: 19 Mai. 2018

OLIVEIRA, Danielle Meireles. **Parâmetros de Instabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado Segundo a nova NBR-6118**. 2012. 153f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/FACO-5JVPMA>. Acesso em: 13 Abr. 2018

OLIVEIRA, Luciane Marcela Filizola. **Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 272 p. 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-30072014-085747/pt-br.php>. Acesso em: 14 Mai. 2018

PAIXÃO, João Fernando Martins; ALVES, Elcio Cassimiro. Análise da estabilidade global em edifícios altos. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil** Vol 13 - nº 1. 2016. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/39552-181719-1-PB%20(4).pdf. Acesso em: 18 Abr. 2018

PEREIRA, Edrwin Hanmses Neto; OLIVEIRA, Carlos Martins; DAVI, Hérbete Hálamo Rodrigues Caetano. Avaliação da estabilidade global em edifício de concreto armado pelo coeficiente Gama-Z e processo P-Delta. **Revista Tecnologia & Informação**. Ano 2, N.3, Jul./Out.2015. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1312-5651-1-PB%20(5).pdf. Acesso em: 18 Abr. 2018

PINTO, Rivelli da Silva; RAMALHO, Marcio Antonio. Não-linearidade física e geométrica no projeto de edifícios usuais de concreto armado. **Cadernos de engenharia de estruturas**, São Carlos, n. 19, p. 171-206, 2012. Disponível em: http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee19_171.pdf. Acesso em: 22 Mar. 2018

REIS, Jasmine de Jesus. **Estabilidade global em edifícios altos**. 2013. Monografia – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/115427>. Acesso em: 22 Mar. 2018

RIBEIRO, Jairo Fonseca. **Estabilidade global em edifícios: análise dos efeitos de segunda ordem nas estruturas de concreto**. (2013). 82f. Tese (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/28532>. Acesso em: 28 Mar. 2018

SANTOS, Emerson Acácio Feitosa. **Estudo da influência das propriedades elásticas da interface bloco-argamassa na rigidez de paredes de alvenaria**. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 277 p. 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-18122014-091928/pt-br.php>. Acesso em: 14 Mai. 2018

SCADELAI, Murilo Alessandro. **Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118/2003**. (2014). 124f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dissert_Scadelai_MuriloA.pdf. Acesso em: 28 Mar. 2018

SPOHR, Valdi Henrique. Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2008.

ZUMAETA, Winston. **Análise da estabilidade de edifícios com estrutura de concreto armado**. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/E-book-An%C3%A1lise-da-Estabilidade-de-Edif%C3%ADcios%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/E-book-An%C3%A1lise-da-Estabilidade-de-Edif%C3%ADcios%20(3).pdf). Acesso em: 07 Mai. 2018.