



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Anna Kelre Venâncio Barreto

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE LAJE NO COMPORTAMENTO GLOBAL  
DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO

Palmas – TO

2019

Anna Kelre Venâncio Barreto

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE LAJE NO COMPORTAMENTO GLOBAL  
DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Roldão Pimentel de Araújo Junior

Anna Kelre Venâncio Barreto  
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE LAJE NO COMPORTAMENTO GLOBAL  
DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II  
elaborado e apresentado como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil pelo Centro Universitário  
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc Roldão Pimentel de Araújo  
Junior

Aprovado em: 19 / 11 / 2019

BANCA EXAMINADORA



---

Prof. M.Sc. Roldão Pimentel de Araújo Junior

Orientador

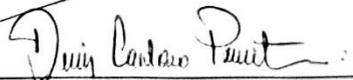
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. M.Sc. Daniel Iglesias de Carvalho

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



---

Prof. M.Sc. Dênis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas - TO

2019

Aos meus pais, Marlene Venâncio da Luz Barreto e Manoel Messias Barreto e, à minha segunda mãe, Antônia Venâncio da Luz.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela força e oportunidade de concretizar mais uma etapa em minha vida.

Aos meus pais Marlene Venâncio da Luz Barreto e Manoel Messias Barreto pelo amor, conselhos e paciência.

Ao professor e orientador Roldão Pimentel de Araújo Junior por todo conhecimento compartilhado, pela sua dedicação e compreensão.

Aos meus amigos, em especial, Sergio Herman Bastos Lima e Paulo Ricardo de Sousa Silva pelo apoio, sugestões e troca de ideias.

À todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

“N3o tenha medo do caminho, tenha medo de n3o  
caminhar.”

- *Augusto Cury*

## RESUMO

BARRETO, Anna Kelre Venâncio. **Análise da influência do tipo de laje no comportamento global de um edifício residencial em concreto armado**. 2019. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2019.

Na busca por economia e eficiência, ainda é notória a dúvida em relação a viabilidade do tipo de laje em uma estrutura. Neste cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência do tipo de laje no comportamento estrutural de um edifício residencial com 16 pavimentos. Para a realização desse estudo foram lançadas no Eberick V8 duas estruturas com as mesmas dimensões em vigas e pilares, onde ambas se diferenciam pelo tipo de laje adotada, sendo uma com lajes maciças e a outra treliçadas com material de preenchimento em EPS. Durante as análises das estruturas foram observadas variações referentes à estabilidade global, aos deslocamentos no topo dos pilares, as solicitações nas fundações e ao consumo de materiais. Os dados obtidos evidenciaram que a estrutura com lajes treliçadas apresentou maior rigidez, resultando assim em menores deslocamentos. Além disso, o modelo com lajes maciças obteve maiores esforços nas fundações e também um maior consumo de materiais.

Palavras-chave: Lajes. Estabilidade Global. Rigidez. Análise Estrutural.

## **ABSTRACT**

BARRETO, Anna Kelre Venâncio. **Analysis of the influence of slab type on the overall behavior of a reinforced concrete residential building**. 2019. 46 f. course completion work (undergraduate) - Civil Engineering course Luterano University of Palmas, Palmas/TO, 2019.

In the search for economy and efficiency, the doubt regarding the viability of the slab type in a structure is still notorious. In this scenario, the present work aimed to evaluate the influence of the slab type on the structural behavior of a residential building with 16 floors. In order to carry out this study, two structures with the same dimensions in beams and columns were launched in Eberick V8, where both differ in the type of slab adopted, one with solid slabs and the other truss with EPS filler material. During the analysis of the structures, variations were observed regarding overall stability, displacements at the top of the pillars, foundation requirements and material consumption. The data obtained showed that the structure with lattice slabs presented greater rigidity, thus resulting in smaller displacements. In addition, the massive slab model achieved greater foundation efforts and also increased material consumption.

Keywords: Slabs. Global stability. Rigidity. Structural analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Seção transversal de lajes com vigotas treliçadas.....	16
Figura 2 - Classificação dos efeitos de 2ª ordem.....	20
Figura 3 - Comportamento não linear.....	20
Figura 4 - Diagrama tensão e deformação do concreto. (a) Linear e não-linear (b)..	21
Figura 5 - Relação momento-curvatura.....	22
Figura 6 - Efeito P-Δ.....	24
Figura 7 - Modelo integrado.....	26
Figura 8 - Planta baixa do pavimento tipo.....	27
Figura 9 – Altura total de 20 cm para as lajes treliçadas.....	28
Figura 10 – Altura total de 12 cm para as lajes maciças .....	29
Figura 11 – Planta de forma da estrutura com lajes maciças.....	30
Figura 12 – Planta de forma da estrutura com lajes treliçadas.....	30
Figura 13 – Corte AA sem escala.....	31
Figura 14 – Coeficiente Gama-Z da estrutura com lajes maciças.....	35
Figura 15 – Coeficiente Gama-Z da estrutura com lajes treliçadas.....	35

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo do Gama-Z entre os modelos.....	34
Quadro 2 – Deslocamentos horizontais no topo da estrutura.....	36
Quadro 3 – Esforços nas fundações do modelo com lajes maciças.....	36
Quadro 4 – Esforços nas fundações do modelo com lajes treliçadas.....	37
Quadro 5 – Resumo de materiais do modelo com lajes maciças.....	40
Quadro 6 – Resumo de materiais do modelo com lajes treliçadas.....	40

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 – Comparação dos esforços axiais máximos nas fundações.....	39
Gráfico 2 – Comparação dos momentos nas fundações na direção X.....	39
Gráfico 3 – Comparação dos momentos nas fundações na direção Y.....	39
Gráfico 4 – Comparativo do resumo de materiais entre as estruturas.....	41

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
EPS	Poliestireno expandido
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\gamma_z$	Gama-Z
$V_k$	Velocidade característica do vento
$V_0$	Velocidade básica do vento
S1	Fator topográfico
S2	Fator de rugosidade
S3	Fator estatístico

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 LAJES MACIÇAS.....	16
2.2 LAJES TRELIÇADAS.....	16
2.3 LAJES COMO DIAFRAGMAS RÍGIDOS.....	17
2.4 AÇÃO DO VENTO.....	17
<b>2.4.1 Cálculo da velocidade característica do vento</b> .....	<b>18</b>
2.5 EFEITOS GLOBAIS, LOCAIS E LOCALIZADOS DE 2ª ORDEM.....	19
2.6 ANÁLISE NÃO-LINEAR.....	20
<b>2.6.1 Não-linearidade física</b> .....	<b>21</b>
<b>2.6.2 Não-linearidade geométrica</b> .....	<b>23</b>
<b>2.6.3 Processo P-<math>\Delta</math></b> .....	<b>23</b>
2.7 ESTABILIDADE GLOBAL.....	24
<b>2.7.1 Coeficiente Gama-Z</b> .....	<b>25</b>
2.8 PÓRTICO ESPACIAL.....	26
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.2 PROJETO ARQUITETÔNICO.....	27
3.3 MODELAGEM ESTRUTURAL.....	27
<b>3.3.1 Configurações no Eberick V8</b> .....	<b>31</b>
3.4 ANÁLISE COMPARATIVA.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>33</b>
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS COEFICIENTES GAMA-Z.....	33
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS.....	35
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESFORÇOS NAS FUNDAÇÕES.....	35
4.4 CONSUMO DE MATERIAIS.....	39
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos grandes centros urbanos, a disputa por regiões mais nobres das cidades impulsionou o processo de verticalização das edificações, tornando-as cada vez mais altas e esbeltas.

Conseqüentemente, os elementos estruturais vêm sendo aperfeiçoados, visto que precisam atender parâmetros de economia, imposições arquitetônicas e ter um menor prazo de execução (FEITOSA; ALVES, 2015). Nesse cenário, o mercado tem apresentado novos sistemas de lajes que favorecem o custo, peso e a produtividade da obra. No entanto, algumas dessas alternativas, quando combinadas a edifícios elevados podem causar movimentações indesejadas na estrutura, comprometendo o seu desempenho (CAMICIA, 2017).

Antigas edificações de concreto armado são extremamente pesadas devido ao grande volume de concreto e quando pensadas para os dias atuais, tornam-se economicamente inviáveis. Apesar de serem robustas, essas estruturas asseguravam a sua estabilidade global, tanto que esse estudo era comumente desprezado (PAIXÃO; ALVES, 2016), ao contrário as esbeltas estruturas modernas, que por sofrerem maiores efeitos resultantes da ação do vento e terem uma rigidez inferior às demais, estão sujeitas à instabilidade.

Rosa (2016) comenta que limitações como arquitetura e custo tem influenciado na escolha das técnicas construtivas a serem usadas em um projeto estrutural. Neste contexto, a preferência por novas soluções de lajes que reduzam o consumo de concreto e armadura, e também permitem flexibilidade arquitetônica, tornou-se mais frequente. Mesmo com tantos pontos favoráveis, observa-se que edifícios altos com lajes mais leves estão propensos à maiores deformações, aumentando assim a atenção quanto ao sistema de contraventamento (SILVA; FILHO; SANTOS, 2018).

Uma vez que a laje contribui para a distribuição dos carregamentos aos demais elementos da estrutura pelo princípio de diafragma rígido (CARVALHO; FILHO, 2014), fica claro a importância da escolha do tipo de laje e do estudo do comportamento global da estrutura quanto à deformação, aos deslocamentos, à estabilidade e aos esforços.

Neste trabalho fez-se a verificação do quanto o tipo de laje influenciou no comportamento global de um edifício. Para isso, foram desenvolvidos dois projetos estruturais de um edifício residencial em concreto armado com 16 pavimentos,

sendo que estes se diferenciam apenas pelo tipo de laje adotada. Através da análise global das estruturas, realizaram-se análises comparativas quanto à estabilidade global, aos deslocamentos horizontais, aos esforços nas fundações e ao consumo de material.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Análise da influência da utilização de lajes maciças e treliçadas no comportamento global de um edifício de múltiplos pavimentos em concreto armado, utilizando o software AltoQI Eberick V8.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Análise da influência do tipo da laje na estabilidade global a partir da determinação do coeficiente  $\gamma_z$ ;
- Comparativo entre os deslocamentos horizontais no topo dos pilares obtidos de acordo com o tipo de laje utilizada;
- Análise comparativa dos esforços normais e momentos fletores na base das fundações, em função do tipo de laje;
- Comparativo do consumo de material entre as duas estruturas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Tratando-se do equilíbrio entre economia e eficiência, percebe-se ainda a indecisão quanto a viabilidade da laje a ser adotada em um projeto. Apesar de não atuarem de forma efetiva no pórtico espacial, contribuem para a rigidez de uma estrutura. Assim, considerar que estas influenciam na estabilidade possibilita uma simulação mais aproximada do comportamento estrutural (CARVALHO, 2012).

A NBR 6118:2014 estabelece que uma edificação deve garantir estabilidade, segurança e funcionalidade durante a sua vida útil. Portanto, torna-se fundamental o estudo do comportamento global nos projetos de estruturas de concreto armado visto que, ações indesejadas podem desde provocar fissuras e deformações excessivas até levá-la ao colapso (ARAÚJO, 2016).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 LAJES MACIÇAS

Lajes maciças são elementos que possuem toda sua espessura composta por concreto (CARVALHO; FILHO, 2014). Dispõem de armaduras ativas ou passivas, longitudinais para combater a flexão e ainda, em alguns casos, armaduras transversais. Seu dimensionamento é feito a partir das normas NBR 6118:2014, NBR 8681:2003 e NBR 6120:1980 que estabelecem critérios quanto as suas características físicas, ações permanentes e variáveis e, condições de segurança.

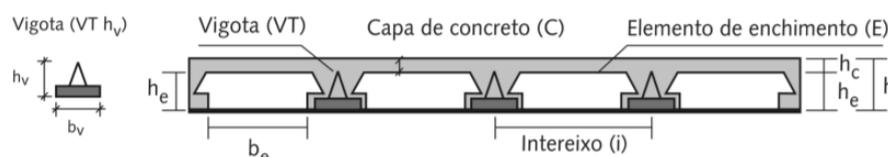
São comumente aplicadas em diversos tipos de construções. Estas além de oferecerem alta resistência, possuem um bom acabamento nas superfícies e ainda contribuem para a rigidez da estrutura, comentam Carvalho e Filho (2014).

Entretanto, para os dias atuais, observa-se que as lajes convencionais têm se tornado desvantajosas em alguns casos. Por consumirem um grande volume de concreto, aumentarem os esforços na fundação devido ao peso da estrutura, e necessitarem de uma grande quantidade de material para as fôrmas, nota-se a frequente busca por alternativas de lajes que favoreçam a economia e o peso da edificação (SILVA; FILHO; SANTOS, 2018).

### 2.2 LAJES TRELIÇADAS

Lajes treliçadas são aquelas onde o sistema é constituído por vigotas com armação treliçada e possuem enchimento com placas de material inerte (SARTORTI; FONTES; PINHEIRO, 2013). Para o enchimento as placas podem ser de material cerâmico vazado ou de poliestireno expandido (EPS). Na Figura 1 é ilustrada a seção transversal típica desse tipo de laje.

Figura 1 – Seção transversal de lajes com vigotas treliçadas



Fonte: Filho (1997)

Por serem preenchidas com material leve, quando comparadas a lajes maciças, é notória a grande diferença entre o peso próprio da laje e do consumo de concreto. Além disso, as lajes treliçadas permitem maior agilidade durante o processo de execução e menor custo de mão de obra, bem como conseguem vencer grandes vãos (CARVALHO; FILHO, 2014).

No processo de execução, as vigotas treliçadas são arranjadas de forma que o espaçamento seja uniforme. Na parte inferior, o espaço entre as vigotas é preenchido por materiais inertes, sejam eles lajotas cerâmicas ou EPS. Após essa etapa, na parte superior é feito um capeamento em concreto (SARTORTI; FONTES; PINHEIRO, 2013).

Durante a concretagem não é necessário o uso de fôrmas, já que o próprio material de enchimento e as vigotas moldam o concreto, sendo preciso apenas o escoramento em determinados pontos.

Carvalho (2012) cita algumas das desvantagens do uso de lajes treliçadas, tais como: em casos onde as peças são grandes é preciso de equipamentos para fazer içamento e transporte, dificuldade nas instalações prediais e, maior cuidado em relação às peças, visto que precisam atender uma resistência mínima e devido à movimentação no canteiro de obras as peças podem ser danificadas.

### 2.3 LAJES COMO DIAFRAGMAS RÍGIDOS

Em uma estrutura, elementos com extrema rigidez axial em seu plano comportam-se como diafragmas rígidos. Usualmente as lajes são consideradas como diafragmas rígidos, enrijecidas pelo vigeamento em suas bordas, quando submetidas a ações horizontais tendem a não sofrerem deformações axiais e acabam transmitindo os carregamentos horizontais aos elementos verticais dos painéis de contraventamento, comenta Gutierre (2016).

Entretanto, em situações onde a laje possui grandes aberturas em seu plano ou que, em sua planta, uma das dimensões seja muito superior à outra, a teoria de diafragma rígido não poderá ser considerada, afirma Correa (1991). Para esses casos, deverá ser feita uma investigação mais profunda em relação ao comportamento do elemento pois, diferente das lajes maciças, as cargas não são distribuídas de forma eficaz.

### 2.4 AÇÃO DO VENTO

É fato que quanto mais alta e esbelta uma estrutura for, mais ela estará sujeita aos efeitos provocados pela ação do vento. Em casos de edificações com geometria ou carregamento assimétricos, as forças horizontais provocadas pelo vento contribuem de maneira significativa para o surgimento de esforços adicionais na estrutura, podendo comprometer a sua estabilidade global (CAMICIA, 2017).

### 2.4.1 Cálculo da velocidade característica do vento

A velocidade com que o vento local atinge uma estrutura pode ser obtida por meio do cálculo da velocidade característica, segundo a NBR 6123:1988. A velocidade característica  $V_k$  de uma região é o resultado da consideração dos aspectos da região e da própria edificação na velocidade básica do vento  $V_0$ . Logo, velocidade é determinada pela expressão (1):

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (1)$$

Para o cálculo da velocidade característica, deve-se extrair do mapa de isopletas presente na NBR 6123:1988 a velocidade básica do vento  $V_0$  da localidade da edificação. Em seguida, devem ser obtidos os fatores que correspondem às características do local e da edificação.

O fator topográfico  $S_1$  considera as alterações da superfície topográfica do terreno para a edificação. A NBR 6123:1988 comenta que a área poderá classificada como: terreno plano ou não muito acidentado; morros e taludes; vales profundos, com pouca predominância de ventos.

O fator de rugosidade  $S_2$  leva em consideração a associação da rugosidade do terreno e das dimensões da edificação. A NBR 6123:1988 classifica a rugosidade quanto a sua categoria:

- Categoria I: Superfícies de grandes dimensões lisas, com extensões maiores que 5 km, medidas na direção e sentido da incidência do vento;
- Categoria II: Terrenos abertos nivelados, que possuem poucos obstáculos aos arredores. É estabelecido que o topo dos obstáculos deve ser inferior ou igual à cota média de 1 m;
- Categoria III: Topografia plana ou ondulada, com pouca presença de obstáculos, sendo estes esparsas. É estabelecido que o topo dos obstáculos deve-se considerar uma cota média igual de 3 m;
- Categoria IV: Terrenos com numerosos obstáculos, sendo esses não esparsas. É estabelecido que para o topo dos obstáculos deve-se considerar uma cota média igual a 10 m. Também devem ser incluídas zonas que possuam obstáculos maiores, mas que não se enquadram na categoria V;
- Categoria V: Topografia com numerosos, altos e grandes obstáculos. É estabelecido que o topo dos obstáculos deve-se considerar uma cota média igual ou superior a de 25 m.

Quanto as dimensões, elementos e partes da edificação, para intervalos de tempo de 3 s, 5 s e 10 s para o cálculo da velocidade média, a NBR 6123:1988 classifica-as da seguinte forma:

- Classe A: Edificações onde a maior dimensão vertical ou horizontal não ultrapassa 20 m;
- Classe B: Edificação ou parte da edificação onde a maior dimensão vertical ou horizontal da superfície frontal está entre 20 m e 50 m;
- Classe C: Edificação ou parte da edificação onde a maior dimensão vertical ou horizontal da superfície frontal ultrapassa 50 m.

A norma apresenta no item 5.3.3.1 a Tabela 2 – Fator  $S_2$ , o fator  $S_2$  pode ser obtido a partir desta. Entretanto, desde que são supere a altura  $z_g$ , também é possível calcular o fator com a expressão (2).

$$S_2 = b \times F_r \times \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (2)$$

Onde os valores para “b”, “p” e “ $F_r$ ” devem ser obtidos através da Tabela 1 – Parâmetros meteorológicos presente no item 5.3.3.1 da norma.

O fator estatístico  $S_3$  baseia-se em conceitos probabilísticos, considerando a segurança e a vida útil da edificação. No item 5.4 a norma estabelece os valores mínimos para o fator estatístico, estes podem ser verificados na Tabela 3 – Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ .

## 2.5 EFEITOS GLOBAIS, LOCAIS E LOCALIZADOS DE 2ª ORDEM

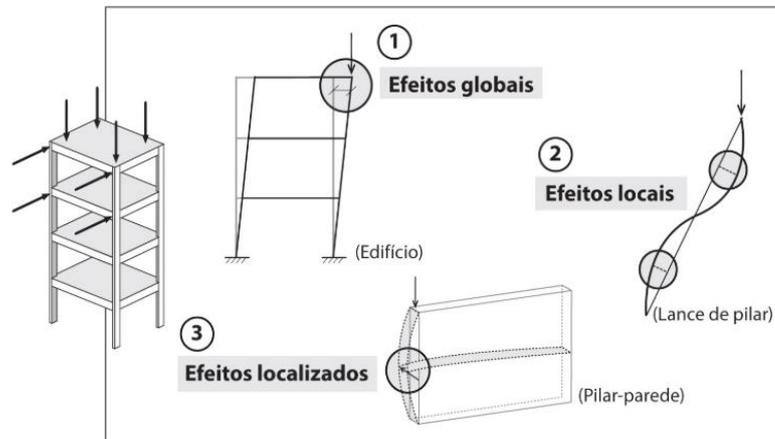
A NBR 6118:2014 define os efeitos de segunda ordem como aqueles obtidos após a deformação da estrutura somados aos de primeira ordem. Sabe-se que quanto maiores forem esses efeitos, mais a estrutura tenderá a se deslocar horizontalmente. É fundamental conhecer a grandeza desses esforços, já que estes podem comprometer a segurança e o desempenho da estrutura.

Kimura (2018) comenta que os efeitos de segunda ordem são observados na estrutura quando o seu equilíbrio é considerado na sua posição deformada. Logo, esses efeitos acabam conduzindo a estrutura à um comportamento geométrico não-linear.

Os efeitos de segunda ordem presentes em uma estrutura classificam-se em globais, locais e localizados, conforme a NBR 6118:2014. Em estruturas com nós móveis os esforços provenientes dos deslocamentos horizontais são efeitos globais de 2ª ordem. Efeitos locais surgem em barras cujos seus eixos não permanecem

retilíneos. Enquanto os efeitos de 2ª ordem localizados, devido a uma maior concentração de tensões, podem estar presentes em regiões de elementos como pilares-parede. A Figura 2 traz a ilustração desses efeitos.

Figura 2 – Classificação dos efeitos de 2ª ordem



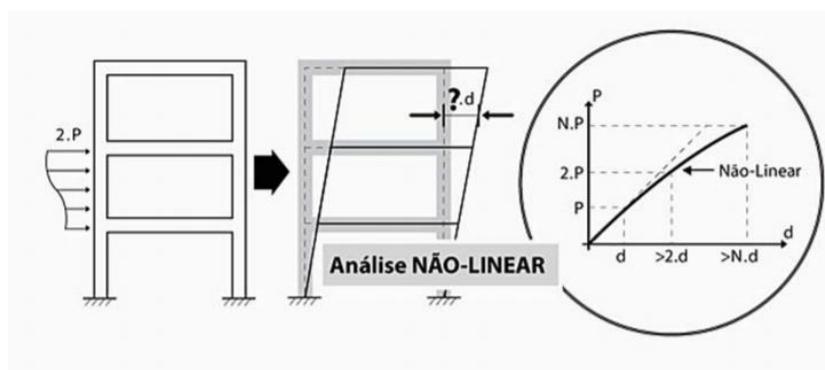
Fonte: Kimura (2018)

A fim de simplificar as análises, a norma abre uma exceção para quando devem ser considerados os efeitos globais de segunda ordem. Esses podem ser desprezados quando não ultrapassarem em 10% dos efeitos de 1ª ordem, bastando considerar somente os efeitos locais e localizados, conforme a NBR 6118:2014. Caso contrário, a estrutura possui nós móveis e torna-se obrigatório a consideração dos efeitos de 2ª ordem globais no dimensionamento e nas análises.

## 2.6 ANÁLISE NÃO-LINEAR

Kimura (2018) descreve uma análise não-linear como a etapa de um cálculo onde o comportamento da estrutura responde de forma não-linear. De maneira simplificada, tanto os esforços, quanto as tensões e os deslocamentos são desproporcionais à medida em que o carregamento é aplicado, a Figura 3 demonstra esse comportamento.

Figura 3 – Comportamento não-linear



Fonte: Kimura (2018)

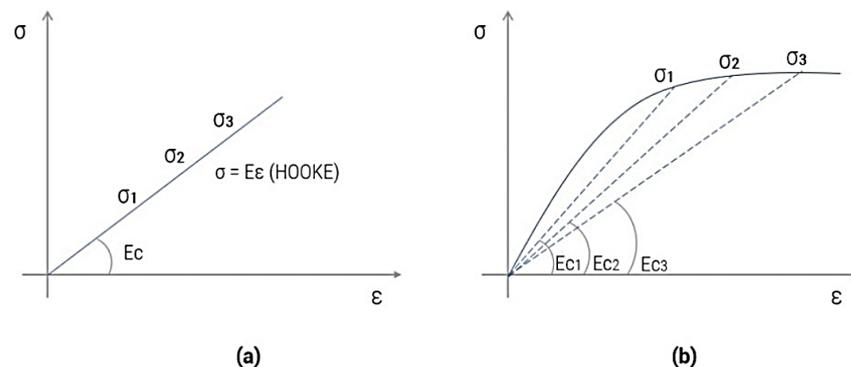
Pode ser verificada a partir do gráfico da análise mostrada na Figura 3 que a estrutura não se deformou de forma linear, assim o diagrama é representado por uma curva. Carvalho e Filho (2014) comentam que esse comportamento está ligado, na maioria das vezes, em dois fatores: a não-linearidade física do concreto e não-linearidade geométrica dos elementos.

### 2.6.1 Não-linearidade física

A alteração das propriedades dos materiais de peças de concreto quando aplicado um carregamento, acabam provocando anomalias na peça tais como: fissuração, escoamento das armaduras, fluência do concreto, entre outros.

Gutierre (2016) explica que essas alterações no material podem desfavorecer o seu comportamento elástico, fazendo com que a sua deformação seja desproporcional às tensões aplicadas, como representado na Figura 4. Além disso, provocam a perda da sua rigidez e influenciam a ter um comportamento elástico não aplicável.

Figura 4 – Diagrama de tensão e deformação do concreto. (a) Linear e Não-linear (b)

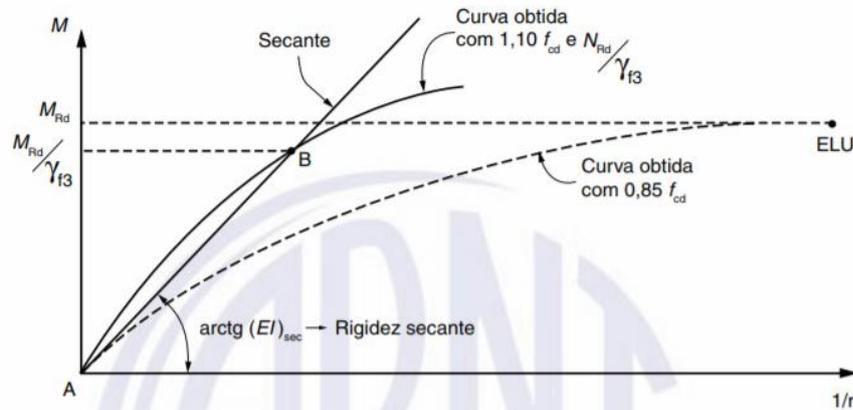


Fonte: Moncayo (2011)

A fim de se realizar as combinações mais desfavoráveis possíveis para o material durante às ações de cálculo, a NBR 6118:2014 estabelece que a não-linearidade física do concreto precisa ser considerada durante as análises da estrutura. Garantindo assim, por meio da estimação da rigidez dos elementos, um comportamento mais aproximado da estrutura.

A NBR 6118:2014 permite que a aproximação do efeito de não-linearidade física seja feita através da criação do diagrama momento-curvatura para as seções de forma individual e, já escolhida a armadura, o valor da força normal aplicada. A Figura 5 apresenta o aspecto do diagrama momento-curvatura.

Figura 5 – Relação momento-curvatura



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Para que a curva AB favoreça a segurança, pode-se linearizá-la pela reta AB. A curva deve ser obtida considerando o valor de força normal de cálculo igual a  $N_{Rd}/\gamma_{f3}$ .

A curva tracejada, é utilizada para a definição do esforço que resiste  $M_{Rd}$  que corresponde ao ponto máximo do esforço normal. Pode ser obtida utilizando os valores das resistências de cálculo do concreto e aço.

Para processos aproximados para flexão composta normal ou oblíqua pode-se utilizar a reta AB, esta é definida pela rigidez secante.

A rigidez secante adimensional deve ser calculada pela expressão (3), onde “h” é referente à altura da seção estudada.

$$k_{sec} = \frac{(EI)_{sec}}{(A_c \times h^2 \times f_{cd})} \quad (3)$$

Para estruturas reticuladas com quatro ou mais pavimentos, a norma também apresenta equações de cálculo de aproximação da não-linearidade física para análises dos esforços globais de segunda ordem. A aproximação não-linear física é baseada na rigidez individual dos elementos estruturais, sendo feitas por meio das equações (4), (4.1), (4.2) e (4.3).

- Lajes:

$$(EI)_{sec} = 0,3 \times E_c \times l_c \quad (4)$$

- Vigas em que  $A_{s'}$  é diferente de  $A_s$ :

$$(EI)_{sec} = 0,4 \times E_c \times l_c \quad (4.1)$$

- Vigas em que  $A_{s'}$  é igual a  $A_s$ :

$$(EI)_{sec} = 0,5 \times E_c \times l_c \quad (4.2)$$

- Pilares:

$$(EI)_{sec} = 0,8 \times E_c \times I_c \quad . \quad (4.3)$$

Onde:

$I_c$  refere-se ao momento de inércia da seção bruta de concreto;

$E_c$  é o módulo de deformação tangencial do concreto.

### 2.6.2 Não-linearidade geométrica

Kimura (2018) comenta que o comportamento não-linear geométrico de uma estrutura se deve pela alteração da geometria dos elementos estruturais. Mesmo possuindo um material com linearidade física, a estrutura pode apresentar um comportamento não-linear ao sofrer deformações excessivas, explica Alves et al (2016).

Quando a estrutura se comporta de forma não-linear as ações aplicadas não são distribuídas de forma equilibrada. Assim, a deformação horizontal no elemento estrutural provoca o surgimento de novos momentos fletores na estrutura (CAMICIA, 2017).

Durante o processo de estabilização de uma edificação, conforme são acrescentados os carregamentos, novos deslocamentos irão surgir. Isso acontece devido a sua necessidade de ficar estável.

A NBR 6118:2014 cita que estruturas que possuem nós móveis e grandes valores de deslocamentos horizontais, a não-linearidade geométrica será decorrente dos efeitos globais de segunda ordem.

Quando o comportamento geométrico não é linear, a estrutura precisará restaurar o seu equilíbrio por meio de novos esforços. Esses esforços de segunda ordem acrescentarão novos deslocamentos na estrutura até que esta esteja estável (OLIVEIRA, 2007).

Assim como análise dos efeitos provenientes da não linearidade-física, a norma torna obrigatório a consideração da não linearidade-geométrica dos elementos. A fim de serem realizadas as combinações mais desfavoráveis possíveis para o elemento estrutural durante o processo de cálculo, conforme a NBR 6118:2014.

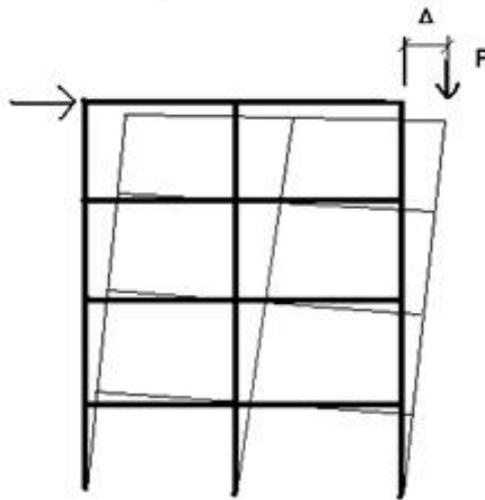
### 2.6.3 Processo P-Δ

O processo P-Delta possibilita o cálculo dos esforços de primeira e de segunda ordem globais. Todavia, não se trata de um parâmetro de estabilidade e

sim de um processo para análise não-linear geométrica, sendo necessário verificar a estabilidade global após essa análise (CAMICIA, 2017).

Quando submetidos a forças axiais, os elementos tendem a deslocarem longitudinalmente. O efeito P-Delta associa o valor da carga axial ( $P$ ) ao deslocamento ( $\Delta$ ), como demonstra a Figura 6.

Figura 6 – Efeito P- $\Delta$



Fonte: Carvalho (2012 apud MELGES, 2009)

Edifícios sob ação do vento e com geometrias assimétricas desloca-se na horizontal, gerando assim acréscimos nos esforços sofridos pela estrutura, os chamados esforços de segunda ordem (IGLESIA, 2016). Em uma estrutura que possui nós móveis, os efeitos advindos desses deslocamentos podem acabar comprometendo a sua estabilidade global.

O P-Delta é um processo de análise simplificado que apresenta bons resultados. Por ser de fácil implantação em ferramentas computacionais, alguns softwares o utilizam para análises onde os efeitos da não-linearidade geométrica precisam ser considerados, o Eberick da AltoQI utiliza esse processo para as análises.

## 2.7 ESTABILIDADE GLOBAL

A NBR 6118:2014 determina que toda estrutura deve garantir segurança, estabilidade e ser funcional durante a sua vida útil. Para que uma estrutura seja estável, é fundamental que sejam feitas análises rigorosas quanto ao comportamento global da mesma. Deve-se conhecer a natureza das deformações, principalmente àquelas advindas dos efeitos globais de segunda ordem, já que muitas são responsáveis pela instabilidade.

A NBR 6118:2014 comenta que a avaliação da estabilidade global de uma estrutura deve ser feita através do cálculo de parâmetros. Para esta avaliação, a fim que a estimação dos efeitos de segunda ordem seja feita de forma simples, o software Eberick utiliza o coeficiente  $\gamma_z$  como parâmetro de estabilidade.

### 2.7.1 Coeficiente Gama-Z

Criado por Franco e Vasconcellos (1991 apud KIMURA, 2018, p. 559), o coeficiente  $\gamma_z$  é um parâmetro que tem por finalidade avaliar a estabilidade global de uma estrutura de forma simples. Este coeficiente também possibilita a estimação dos efeitos de segunda ordem através da majoração dos esforços de 1ª ordem, sem a necessidade de uma análise não-linear.

A NBR 6118:2014 estabelece que para serem feitas as avaliações dos esforços de 2ª ordem globais por meio deste parâmetro, a estrutura reticulada deverá possuir no mínimo quatro pavimentos.

O coeficiente  $\gamma_z$  é calculado pela equação (5) especificada pela NBR 6118:2014:

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

Onde:

- $\Delta M_{tot,d}$  corresponde à soma das combinações de produto entre as forças verticais que atuam na estrutura, com valores de cálculo, e os deslocamentos horizontais de cada ponto de aplicação, provenientes da análise de 1ª ordem;
- $M_{1,tot,d}$  refere-se, de maneira simplificada, ao momento de tombamento. Sendo este resultado da soma de todos os momentos gerados pelas forças horizontais de cálculo em relação à base da estrutura.

A NBR 6118:2014 comenta que em casos onde o  $\gamma_z$  for maior ou igual a 1,3, o cálculo dos esforços globais de segunda ordem pode ser realizado por meio de uma avaliação dos esforços globais finais. Para esta avaliação, as cargas horizontais adicionais são majoradas por  $0,95 \times \gamma_z$ .

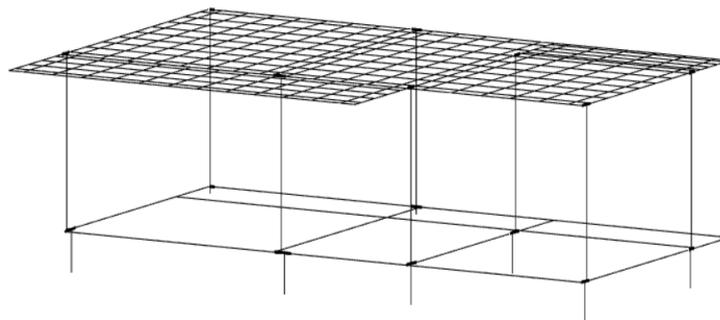
Para que uma estrutura classificada como de nós fixos, e possa ter os efeitos de segunda ordem desprezados, o coeficiente  $\gamma_z$  deverá ser maior ou igual à 1,1, segundo a NBR 6118:2014.

## 2.8 MODELO PÓRTICO ESPACIAL

Kimura (2018) define pórticos espaciais como um modelo tridimensional que representam os pilares e vigas por meio de barras, sendo que cada ponto nodal destas possuem seis graus de liberdade. De maneira simplificada, este modelo permite que as avaliações do comportamento da estrutura sejam feitas com as ações horizontais e verticais colocadas de forma simultânea.

É comum as lajes não são incluídas na representação deste modelo. No software Eberick V8 da AltoQI é possível fazer a análise da estrutura por meio da configuração de integração pórtico espacial mais grelhas como demonstrado na Figura 7. Esse modelo permite avaliações mais eficientes e próximas do comportamento real da estrutura, já que são consideradas a influência de todos elementos estruturais, inclusive a contribuição das lajes na distribuição dos esforços horizontais.

Figura 7 – Modelo integrado



Fonte: AltoQI (2018)

### 3 METODOLOGIA

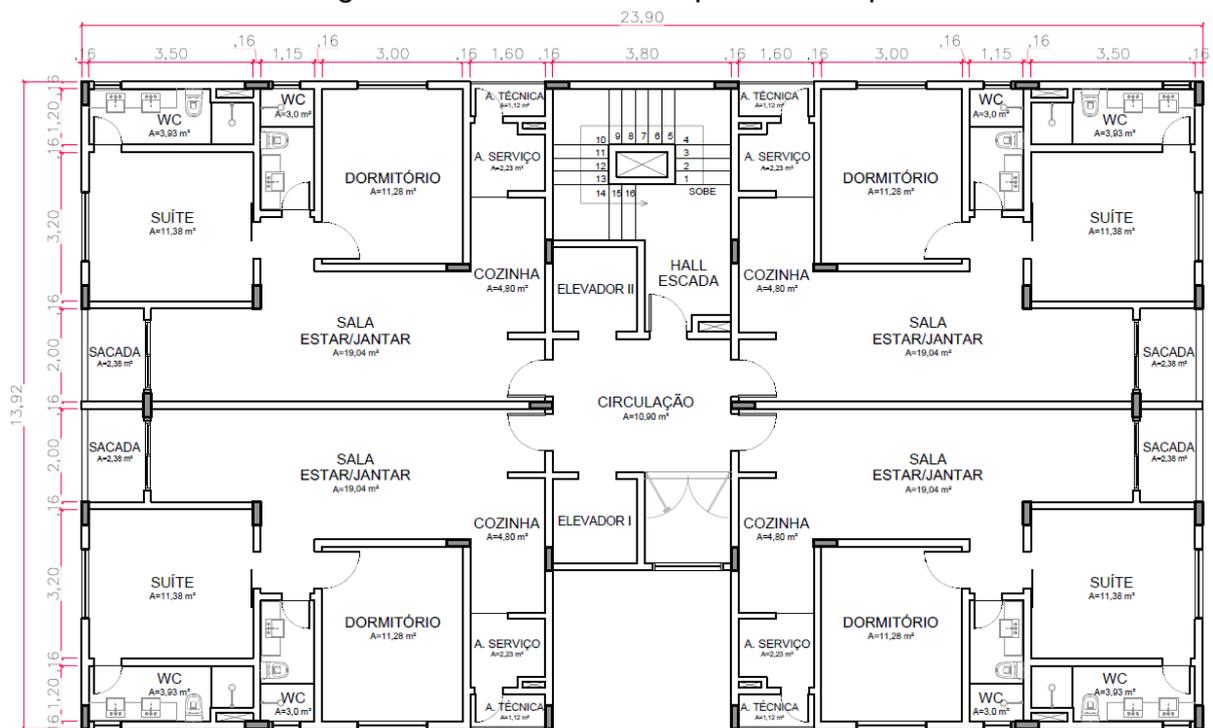
#### 3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em meios digitais, livros e normas da ABNT que abordam os assuntos relacionados ao trabalho. Esta etapa teve por finalidade gerar embasamento teórico e obter informações necessárias para a execução do projeto.

#### 3.2 PROJETO ARQUITETÔNICO

Com o software AutoCAD 2016 foi elaborado um projeto arquitetônico para um edifício residencial em concreto armado com 16 pavimentos, sendo quatro apartamentos por andar, com o pé-direito de 2,8 m. Na Figura 8 pode ser observada a planta baixa do pavimento tipo da edificação.

Figura 8 – Planta baixa do pavimento tipo



PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO

ÁREA: 319,75 m<sup>2</sup>

SEM ESCALA

Fonte: Próprio autor (2019)

#### 3.3 MODELAGEM ESTRUTURAL

Para a modelagem estrutural importou-se o DWG do projeto arquitetônico para o software Eberick V8 da AltoQI. Com esta planta baixa foram elaborados dois projetos estruturais com o mesmo arranjo estrutural e geometria de pilares e vigas idênticas, um para lajes maciças e o outro para lajes treliçadas unidirecionais com placas de poliestireno expandido (EPS).

O arranjo estrutural foi analisado de forma que o lançamento dos elementos respeitassem as limitações arquitetônicas e que os principais elementos, vigas e pilares, não conferissem uma alta rigidez para estrutura a fim de que estes não influenciassem na contribuição das lajes para a rigidez do edifício.

Para descartar variáveis que possam influenciar nos resultados das análises, ambos os modelos possuem as seções dos pilares e vigas mantidas de forma constante. Nas fundações adotaram-se sapatas sobre solo coesivo e, para obter os momentos fletores na base das fundações, considerou-se o vínculo de apoio destas como engastado. Enquanto para as lajes, inicialmente, na espessura foram adotadas as alturas mínimas e aumentou-as gradualmente de forma que atendessem as normas pertinentes.

Para o aumento das lajes treliçadas foi fixada a espessura da capa de concreto em 4 cm, respeitando as condições firmadas pela NBR 6118:2014 de que a mesa deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as nervuras e que esta precisa possuir o mínimo de 4 cm. Logo, a espessura destas lajes foi diretamente ligada à variação da altura das vigotas treliçadas.

Na Figura 9 e Figura 10 estão ilustradas as alturas finais das lajes após o dimensionamento e análises.

Figura 9 – Altura total de 20 cm para as lajes treliçadas

The image shows a software dialog box for defining slab properties. The window is titled "Laje". It has several sections:

- Nome:** L9
- Tipo:** Treliçada 1D
- Cargas:**
  - Acidental: 150 kgf/m²
  - Extra: 0 kgf/m²
  - Revestimento: 100 kgf/m²
- Treliça:**
  - Tipo: TR 16745
  - Repetições: 1
  - Altura sapata: 3 cm
  - Largura sapata: 12 cm
- Enchimento:**
  - Tipo: EPS Unidirecional
  - Dimensão: B16/40/49
- Seção:**
  - Espessura: 20 cm
  - Elevação: 0 cm
  - ec: 4 cm
  - ee: 16 cm
  - enx: 9 cm
  - eny: 9 cm

At the bottom, there is a cross-section diagram of a slab with reinforcement bars. The diagram is labeled with 'ec' (concrete cover), 'ee' (effective depth), and 'enx' (reinforcement spacing).

Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 10 – Altura total de 12 cm para as lajes maciças

Laje

Nome  Tipo

Cargas

Acidental  kgf/m<sup>2</sup> Revestimento  kgf/m<sup>2</sup>

Extra  kgf/m<sup>2</sup>

Vigota protendida

Grupo  ...

Arranjo  Altura

Enchimento

Tipo

Dimensão  ...

Seção

Espessura  cm Elevação  cm

ec  cm

ee  cm

enx  cm

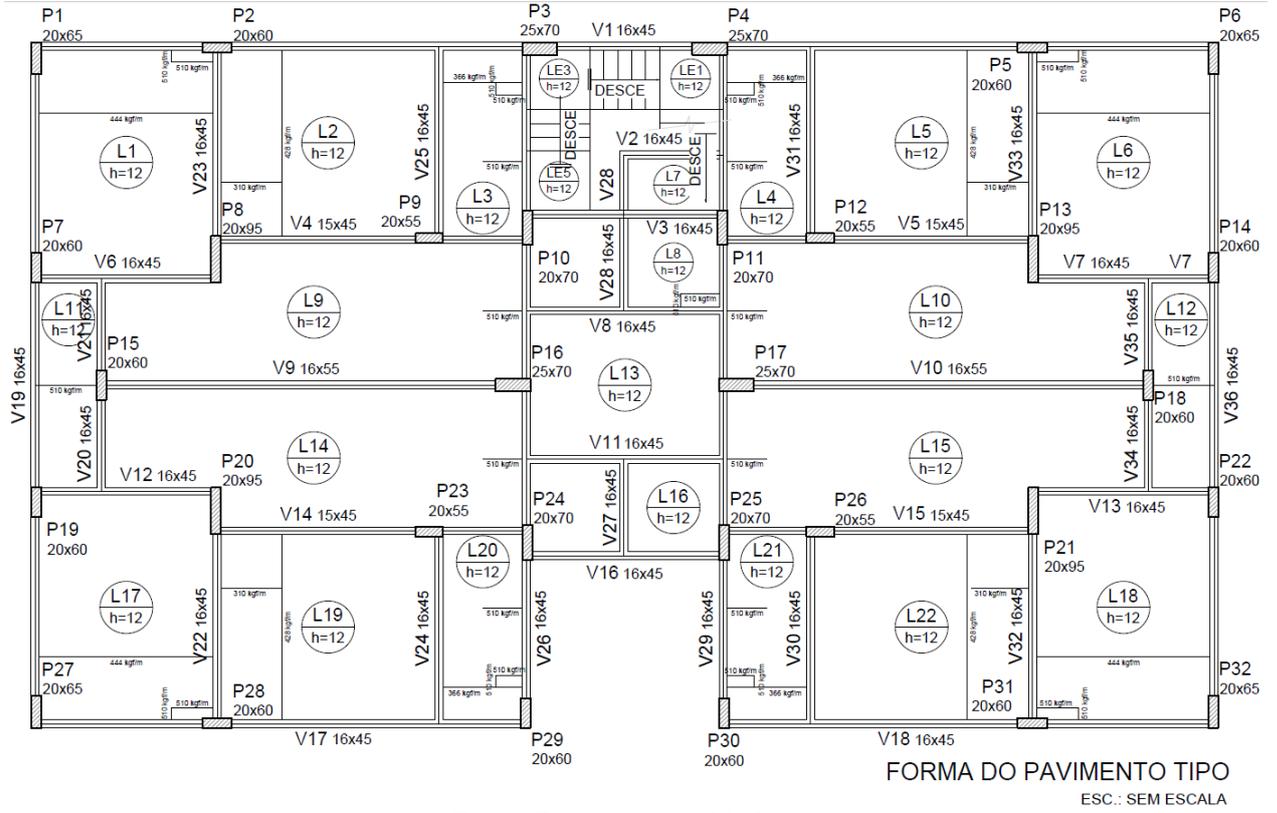
eny  cm

Fonte: Próprio autor (2019)

No software a análise computacional e dimensionamento de cada projeto estrutural foram realizados pelo modelo “Pórtico Espacial”. Visando ter o comportamento mais real da estrutura, utilizou-se o processo P-Delta para a análise não-linear geométrica, para a determinação do coeficiente  $\gamma_z$  foram considerados os esforços de 2ª ordem, a contribuição das lajes para a estrutura, e dos pilares de contraventamento os momentos positivos e negativos, pois estes contribuem de maneira significativa para a estabilidade global da edificação.

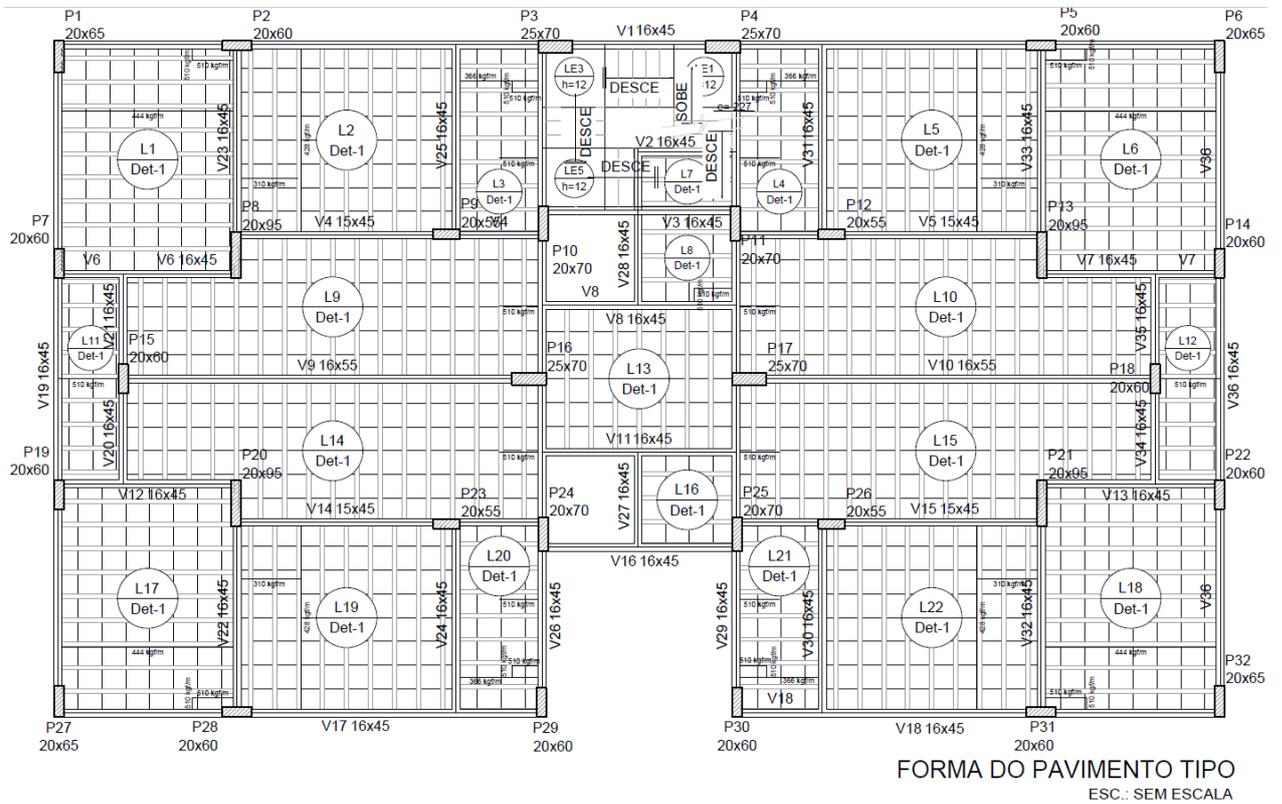
Na Figura 11 e Figura 12 podem ser observados os elementos estruturais lançados na planta do pavimento tipo. Já na Figura 13 tem-se a ilustração corte A-A da edificação.

Figura 11 – Planta de forma da estrutura com lajes maciças



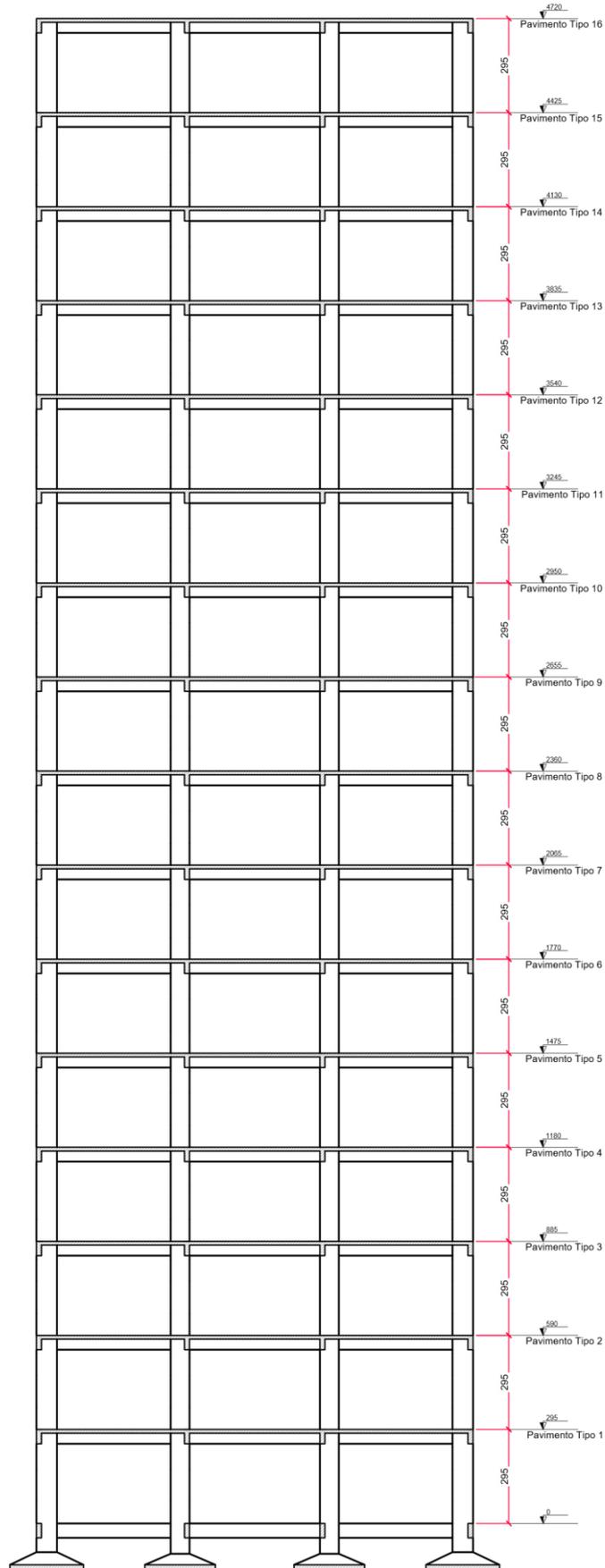
Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 12 – Planta de forma da estrutura com lajes treliçadas



Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 13 – Corte AA sem escala



Fonte: Próprio autor (2019)

### 3.3.1 Configurações no Eberick V8

Durante a etapa de lançamento dos elementos estruturais nos projetos, foram configuradas no software as informações relacionadas aos critérios de dimensionamento estabelecidos pelas normas NBR 6118:2014, NBR 6120:1980 e NBR 6123:1998. Os tópicos a seguir abordam os parâmetros que serão adotados:

- Para a localidade de Palmas, a velocidade básica do vento  $V_0$  foi igual a 33 m/s, valor obtido do mapa de isopletas para velocidade básica presente na NBR 6123:1988. Fator topográfico considerado  $S_1 = 1,0$  para terreno plano ou fracamente acidentado. Fator de rugosidade  $S_2 = 1,02$  para categoria IV e classe B (edificação com maior dimensão horizontal ou vertical entre 20 m e 50 m). Fator estatístico  $S_3 = 1,00$  (edificações para hotéis e residências);
- Carga permanente nas lajes referente ao acabamento de piso de 1 kN/m<sup>2</sup>. Peso específico da alvenaria com tijolos furados 13 kN/m<sup>3</sup> para o carregamento linear nas vigas e alvenarias sobre as lajes. As cargas acidentais nas lajes adotadas foram de acordo com o ambiente, conforme a NBR 6120:1980;
- Por ser uma edificação residencial com acesso restrito e sem predominância de equipamentos pesados, os fatores de combinação e redução para as ações variáveis adotados foram de  $\psi_0 = 0,5$ ,  $\psi_1 = 0,4$  e  $\psi_2 = 0,3$ , conforme a NBR 8681:2003;
- Concreto convencional C25 para lajes e vigas e C30 para pilares, armaduras em aço CA50 e CA60 e para a dimensão do agregado graúdo 19 mm;
- Por se tratar de uma região urbana, mas não industrial, adotou-se a classe de agressividade ambiental II, agressividade moderada. Assim, os cobrimentos nominais foram de 25 mm para lajes, 30 mm para vigas e pilares e 30 mm para elementos que estão em contato com o solo, conforme a NBR 6118:2014.

### 3.4 ANÁLISE COMPARATIVA

Após o processamento das estruturas, foram obtidos os parâmetros  $\gamma_z$  para a análise da estabilidade global, os deslocamentos horizontais, os esforços nas fundações para as demais verificações e o resumo de materiais.

Com este levantamento foram realizadas análises comparativas entre a estrutura com lajes maciças e a de lajes treliçadas, quanto as variações do

coeficiente  $\gamma_z$  nas direções X e Y; dos deslocamentos horizontais no topo dos pilares e dos esforços axiais máximos e momentos fletores nas fundações. Através de gráficos e tabelas, constatou-se o quanto o tipo de laje interferiu no comportamento global da estrutura.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS COEFICIENTES GAMA-Z

Terminado o processo de dimensionamento e análises das estruturas realizadas com auxílio do software, foram obtidos os valores referentes ao coeficiente  $\gamma_z$ . É possível observar na Figura 14 e Figura 15 que, de forma independente, cada modelo apresentou uma variação na estabilidade entre suas direções.

Em análises de estabilidade utilizando o coeficiente Gama-Z, a NBR 6118:2014 estabelece como estruturas de nós móveis aquelas em que este for maior que 1,10. Logo, tanto o modelo com lajes maciças quanto o com treliçadas se classificam como estruturas de nós móveis pois, como comentado na metodologia, os elementos estruturais foram pensados de forma que não influenciassem na contribuição das lajes para a rigidez da estrutura.

Nos resultados extraídos das análises dos modelos observou-se que estes tiveram valores próximos como ilustrados na Figura 14 e Figura 15. Entretanto, quando comparados, nota-se que as lajes treliçadas ofereceram uma rigidez maior a estrutura como representado no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo do Gama-Z entre os modelos.

<b>Coeficiente Gama-Z (<math>\gamma_z</math>)</b>		
<b>Tipo de Laje</b>	<b>Eixo X</b>	<b>Eixo Y</b>
Maciça	1,20	1,17
Treliçada 1D	1,17	1,15

Fonte: Próprio autor (2019)

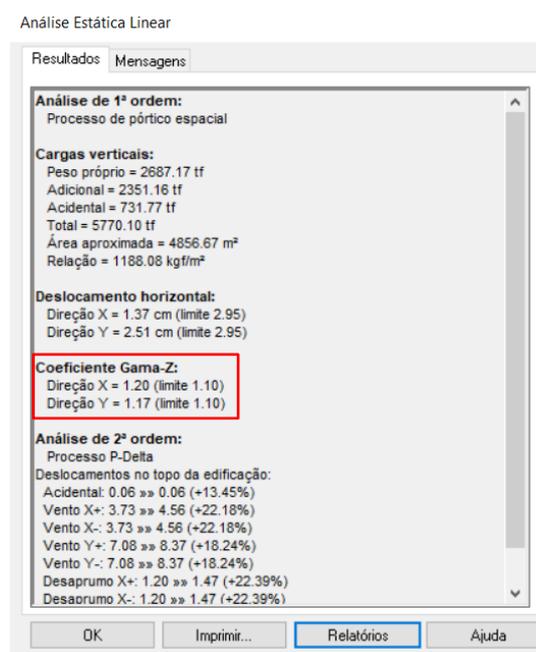
Kimura (2018) comenta que conforme têm-se o aumento das cargas verticais atuantes em uma estrutura, sejam a do peso próprio ou de sobrecargas, mais esta estará sujeita à instabilidade. Observa-se na Figura 14 e Figura 15 uma diferença em aproximadamente 21,47% do peso próprio entre os modelos, na qual a estrutura com lajes maciças possui maior peso em relação à de treliçadas. Assim, é possível constatar que essa distinção influenciou na alteração da estabilidade, tornando a estrutura com lajes maciças mais instável.

Além disso, a estrutura com lajes treliçadas teve uma diferença de 8 cm na altura total das lajes em relação à maciças. Esse aumento resultou-se da necessidade de atendimento aos critérios de dimensionamento estabelecidos pela NBR 6118:2014. Apesar das lajes treliçadas possuírem uma capa de concreto de

apenas 4 cm, entende-se que o aumento da altura das vigotas treliçadas também contribuíram para o enrijecimento da estrutura.

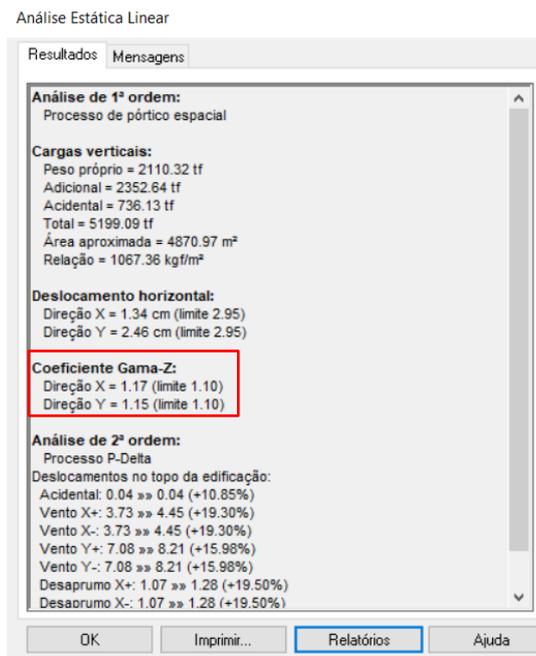
Ainda que ambas estruturas tenham uma diferença de 2,5% na direção X e de 1,71% na direção Y, é compreendida que a variação do tipo de laje na estrutura não influenciou de modo significativo no valor do Gama-Z.

Figura 14 – Coeficiente Gama-Z da estrutura com lajes maciças



Fonte: Próprio autor (2019)

Figura 15 – Coeficiente Gama-Z da estrutura com lajes treliçadas



Fonte: Próprio autor (2019)

#### 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

O Quadro 2 apresenta os deslocamentos, em centímetros, no topo dos pilares das duas estruturas analisadas. Pode ser reparado na Figura 14 e Figura 15 que os deslocamentos estão dentro dos limites estabelecidos pelas condições da NBR 6118:2014. E ainda, é notório que a estrutura com lajes maciças teve uma variação dos deslocamentos no topo dos pilares em 2,24% na direção X e 1,99% na direção Y em relação à de treliçadas.

Quadro 2 – Deslocamentos horizontais no topo da estrutura.

Tipo de laje	Deslocamentos (cm)			
	Direção X +	Direção X -	Direção Y +	Direção Y -
Maciça	1,37	-1,37	2,51	-2,51
Treliçada 1D	1,34	-1,34	2,46	-2,46

Fonte: Próprio autor (2019)

Essa diferença está intrinsecamente ligada à estabilidade da estrutura, cuja qual foi discutida no item 4.1 deste trabalho. Uma vez que o modelo com lajes maciças apresentou uma instabilidade maior, de maneira imediata, a estrutura também tenderá a ter deslocamentos laterais maiores quando comparados àquela com maior rigidez.

Entretanto, apesar dessa diferenciação, assim como os coeficientes Gama-Z, considera-se que a grandeza dessa alteração nos deslocamentos é irrelevante.

#### 4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ESFORÇOS NAS FUNDAÇÕES

No Quadro 3 e Quadro 4 estão ordenados os esforços atuantes nas fundações, sendo eles as cargas axiais máximas em quilonewton e os momentos fletores em quilonewton metro nas direções X e Y.

Quadro 3 – Esforços nas fundações do modelo com lajes maciças.

Sapata	Carga Axial Máx. (kN)	MB (kN.m)	MH (kN.m)
S1	1.382,06	9,55	97,37
S2	1.973,75	12,58	53,53
S3	2.504,70	25,92	103,28
S4	2.409,33	26,66	103,12
S5	1.975,86	12,64	53,33
S6	1.378,41	9,52	98,12
S7	1.322,26	8,69	80,81
S8	2.797,49	11,46	284,72

<b>Sapata</b>	<b>Carga Axial Máx. (kN)</b>	<b>MB (kN.m)</b>	<b>MH (kN.m)</b>
S9	1.817,45	10,99	42,79
S10	2.091,01	12,37	131,9
S11	2.110,11	11,95	125,88
S12	1.798,66	10,85	42,66
S13	2.798,99	11,49	285,83
S14	1.318,59	8,66	81,25
S15	1.564,68	15,81	80,91
S16	2.627,87	28,98	106,47
S17	2.664,78	28,45	106,15
S18	1.563,32	15,85	81,50
S19	1.316,92	8,76	81,32
S20	2.790,96	12,12	287,05
S21	2.786,56	12,11	288,46
S22	1.313,70	8,75	81,97
S23	1.721,28	11,18	45,02
S24	1.867,32	12,45	127,92
S25	1.909,62	12,27	126,72
S26	1.720,07	11,24	44,86
S27	1.376,21	10,50	96,65
S28	1.982,63	12,49	58,87
S29	1.658,07	12,08	77,90
S30	1.665,54	12,07	77,59
S31	1.984,55	12,53	58,84
S32	1.375,48	10,50	97,18

Fonte: Próprio autor (2019)

Quadro 4 – Esforços nas fundações do modelo com lajes treliçadas.

<b>Sapata</b>	<b>Carga Axial Máx. (kN)</b>	<b>MB (kN.m)</b>	<b>MH (kN.m)</b>
S1	1.330,45	9,46	96,17
S2	1.725,74	12,66	52,84
S3	2.374,72	25,54	101,17
S4	2.296,79	26,23	100,88
S5	1.749,07	12,66	52,75
S6	1.324,39	9,47	97,13
S7	1.254,09	8,78	79,51

Sapata	Carga Axial Máx. (kN)	MB (kN.m)	MH (kN.m)
S8	2.372,62	11,72	281,77
S9	1.669,46	10,28	41,68
S10	1.981,70	12,29	129,81
S11	1.932,31	11,92	124,13
S12	1.648,39	10,20	41,49
S13	2.364,57	11,69	282,91
S14	1.238,95	8,80	79,75
S15	1.420,84	15,48	79,52
S16	2.321,83	28,57	104,79
S17	2.316,88	28,16	104,4
S18	1.420,48	15,52	80,31
S19	1.244,24	8,85	79,81
S20	2.356,44	12,41	283,93
S21	2.367,21	12,32	285,45
S22	1.236,35	8,90	80,63
S23	1.550,75	10,47	43,92
S24	1.735,98	12,35	126,08
S25	1.734,50	12,23	124,57
S26	1.553,33	10,46	43,6
S27	1.327,15	10,44	95,91
S28	1.734,79	12,55	58,67
S29	1.548,66	11,81	76,88
S30	1.547,67	11,76	76,34
S31	1.745,11	12,56	59,15
S32	1.309,37	10,53	95,99

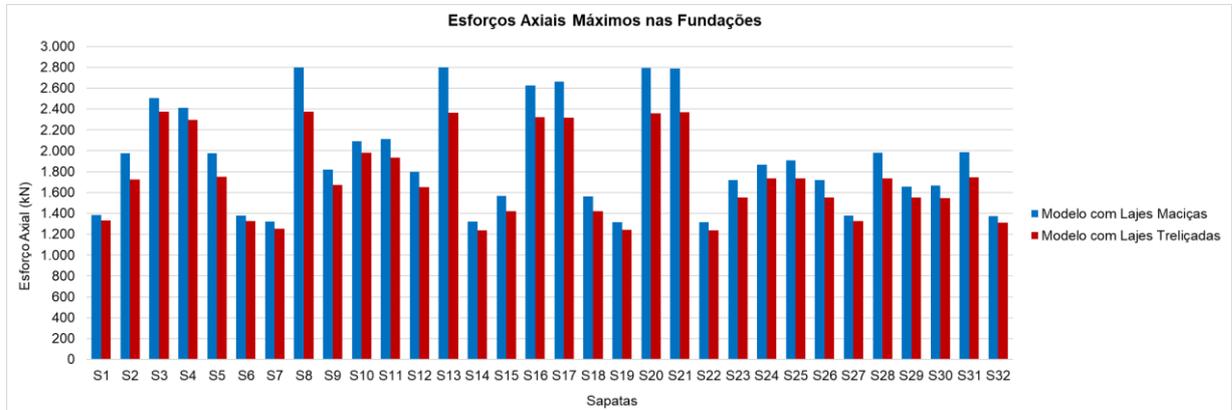
Fonte: Próprio autor (2019)

Para os valores das cargas axiais máximas dos pilares, o Eberick V8 fornece aqueles não majorados, sendo aplicado o coeficiente de segurança apenas nas verificações de dimensionamento. A partir da ilustração comparativa do Gráfico 1, é percebida as variações referentes às cargas axiais atuantes entre as duas estruturas. O modelo com lajes maciças, por possuir um peso próprio maior, apresentou maiores cargas atuantes nas fundações.

Tomando como exemplo a fundação direta “S20”, verifica-se um percentual em 15,57% de alteração entre os modelos. Entretanto, quando observada uma

fundação com cargas menores, como a sapata “S14” com 6,04% de alteração, percebe-se que essa diferença é relativamente mais baixa.

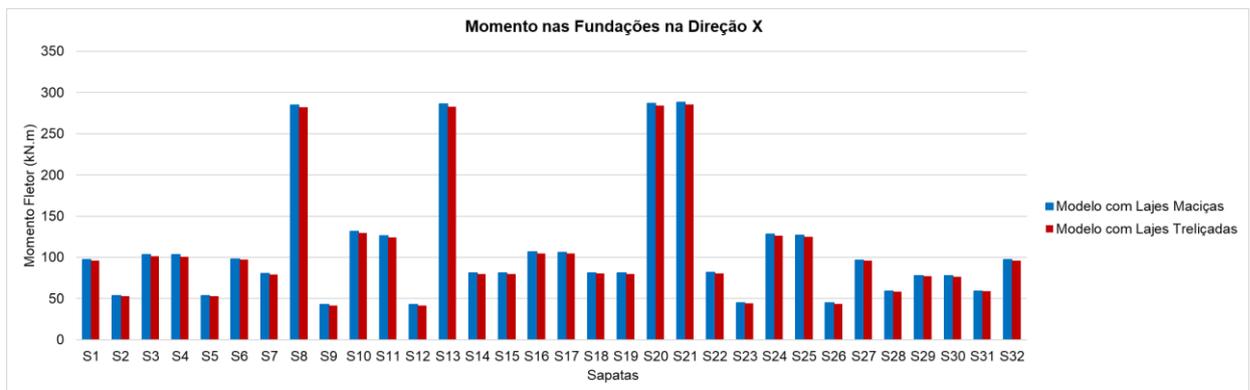
Gráfico 1 – Comparação dos esforços axiais máximos nas fundações.



Fonte: Próprio autor (2019)

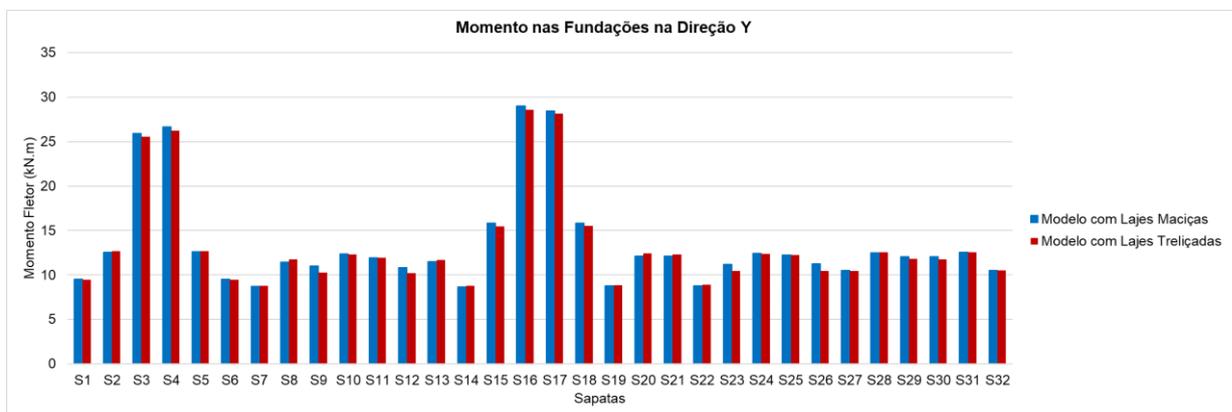
No Gráfico 2 e Gráfico 3 podem ser percebidas as comparações dos momentos atuantes nas fundações. Assim como nas cargas axiais, o modelo com lajes maciças obteve os maiores momentos em comparação ao de trelçadas.

Gráfico 2 – Comparação dos momentos nas fundações na direção X.



Fonte: Próprio autor (2019)

Gráfico 3 – Comparação dos momentos nas fundações na direção Y.



Fonte: Próprio autor (2019)

Por meio dos quadros e gráficos apresentados anteriormente, entende-se que a estrutura com maior rigidez resultou a redução dos esforços solicitantes nas fundações. É notável que nos esforços axiais obteve variações maiores, enquanto os momentos nas duas direções sofreram pequenas mudanças nos valores finais.

A partir do item 4.4 deste trabalho, constata-se que o consumo de materiais para a etapa de infraestrutura do modelo com lajes treliçadas foi reduzido, já que as sapatas foram dimensionadas com seções menores e tiveram uma taxa de aço menor.

#### 4.4 CONSUMO DE MATERIAIS

O resumo de materiais das estruturas foram fornecidos pelo software e estão dispostos no Quadro 5 e Quadro 6.

Quadro 5 – Resumo de materiais do modelo com lajes maciças

Elementos	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)		Área de fôrma (m <sup>2</sup> )
		CA-50	CA-60	
Vigas	298,5	22.290,5	3.264,2	4.428,3
Pilares	215,3	29.471,2	-	2.727,2
Lajes	521,6	17.053,8	11.493,8	4.346,4
Escadas	20,3	212,7	270,0	217,6
Fundações	83,4	6.792,6	-	78,9
<b>Total</b>	<b>1.139,1</b>	<b>75.820,8</b>	<b>15.028,0</b>	<b>11.798,4</b>

Fonte: Próprio autor (2019)

Quadro 6 – Resumo de materiais do modelo com lajes treliçadas

Elementos	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	Aço (kg)		Área de fôrma (m <sup>2</sup> )
		CA-50	CA-60	
Vigas	298,5	21.130,7	3.180,2	4.428,3
Pilares	215,3	25.076,5	-	2.727,2
Lajes	277,6*	4.029,4*	907,2	-
Escadas	20,3	285,2	284,8	217,6
Fundações	71,9	5.538,2	-	71,5
<b>Total</b>	<b>883,6</b>	<b>56.060,0</b>	<b>4.372,2</b>	<b>7.444,6</b>

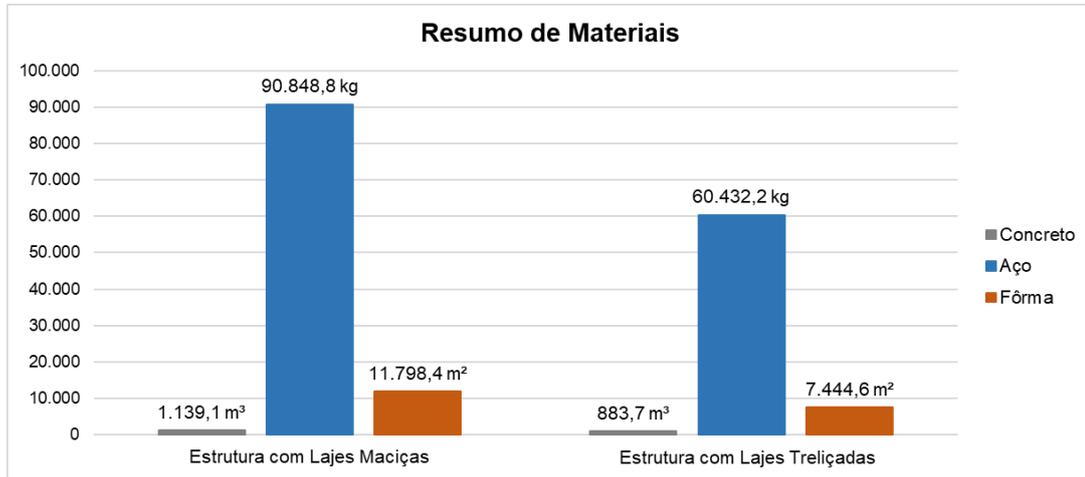
Fonte: Próprio autor (2019)

\* O volume de concreto (277,6 m<sup>3</sup>) refere-se somente a capa de concreto da laje.

\* A massa do aço (4.029,4 kg) refere-se ao aço das treliças.

A ilustração no Gráfico 4 evidencia a discrepância entre o consumo dos principais materiais. A massa de aço total do modelo com lajes treliçadas foi reduzida em aproximadamente 33,48% em relação à de maciças, já o volume de concreto em 22,42% e a área das fôrmas em 33,90% de diferença.

Gráfico 4 – Comparativo do resumo de materiais entre as estruturas.



Fonte: Próprio autor (2019)

As prováveis razões para a queda no consumo de aço da estrutura com lajes treliçadas estão ligadas ao fato desta possuir uma rigidez maior, da estrutura ser mais leve e, como comentado no item anterior, ter conseguido obter uma redução nos esforços das fundações. Além disso, quando comparado o consumo de aço total das lajes, nota-se o aumento das lajes maciças em aproximadamente 82,27% da massa em relação as treliçadas.

Uma vez que foram mantidas as mesmas seções das vigas e pilares nas duas estruturas, pode-se afirmar que a redução do volume de concreto está relacionada às lajes e fundações. As lajes por já possuírem esse fator de redução em seu sistema estrutural e as fundações por terem menores dimensões em relação ao modelo com lajes maciças.

Da mesma forma, como representado no Quadro 5 e Quadro 6, houve a alteração na área de fôrma das fundações que também está ligada às dimensões dos elementos. Todavia, o principal motivo da baixa na área, está relacionada ao fato dos blocos de enchimento das lajes treliçadas já desempenharem a função de moldar o concreto, possibilitando assim a concretagem sem o uso de fôrmas.

## 5 CONCLUSÃO

A escolha por lajes que reduzam o consumo de materiais e que aumentam a produtividade de obras têm se tornado corriqueira no decorrer dos últimos tempos. Entretanto, apesar de possuírem um consumo maior de concreto e fôrmas, estudos demonstram que teoricamente as lajes convencionais, pelo diafragma rígido, possuem uma contribuição maior na rigidez de uma estrutura.

Neste trabalho foram realizados estudos a fim de analisar a influência do tipo de laje no comportamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado com 16 pavimentos. Feito o levantamento dos dados referentes à estabilidade, deslocamentos e esforços, foram realizadas análises comparativas.

Nos resultados obtidos, foi observado que a estrutura com lajes maciças teve o coeficiente Gama-Z maior que a de lajes treliçadas, apesar dessa variação não ter sido tão significativa, a última ficou mais estável. Em consequência desse fato, o modelo com lajes maciças apresentou maiores deslocamentos horizontais no topo dos pilares.

Referente as solicitações nas fundações, o modelo com lajes treliçadas obteve resultados melhores, visto que este conseguiu uma redução nos esforços das fundações possibilitando sapatas com dimensões menores.

Quanto ao consumo de materiais, ficou nítida a diferença entre os dois modelos. A estrutura com lajes treliçadas conseguiu reduções de até 33,90% em comparação à outra. Assim, fica claro que a mesma é economicamente mais viável.

Ainda que as lajes treliçadas proporcionaram melhores resultados para a estrutura estudada nesse trabalho, vale ressaltar que esses pontos não podem ser levados como regra geral. As imposições arquitetônicas, a ação do vento, o macroclima e as características do solo são apenas algumas das variáveis que podem influenciar no comportamento estrutural de uma edificação. Assim, é de suma importância que o calculista faça as devidas avaliações e análises quanto ao desempenho da estrutura.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. C.; PASSOS V. M.; FEITOSA L. A.; AZEVEDO M. S. Análise da Instabilidade de Edifícios Altos com Lajes Protendidas e Lajes Nervuradas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 2016.
- ARAÚJO, Silas Oliveira. **Análise da estabilidade global de estruturas de concreto armado da cidade de Goiânia**. 2016. 59 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- CAMICIA, Rodrigo Junior da Motta. **Análise da estabilidade global de edifícios com múltiplos pavimentos em concreto armado com diferentes tipos de lajes e inclusão de núcleos rígidos**. 2017. 106f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.
- CARVALHO, Mailson Castelão de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. 2012. 79 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2012.
- CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4.ed. São Carlos: EdUFCar, 2014. 425 p.
- CORREA, Marcio Roberta Silva. **Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de sistemas estruturais de edifícios**. 1991. 106f. Tese de doutorado (Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.
- FEITOSA, L. A.; ALVES, E. C. Estudo da estabilidade global de edifícios altos com lajes protendidas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 211-224, mar./abr. 2015.
- FILHO, Jorge Bounassar. Elaboração de normas: projeto, fabricação e execução de lajes mistas pré-moldadas. **Coletânea Habitare**, v. 3, p. 78-109, jan. 1997.

FRANCESCHI, Lucas. **Como optar entre o modelo de análise integrado ou de grelha com pórtico espacial**. Disponível em: < <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360001391833-Como-optar-entre-o-modelo-de-analise-integrado-ou-de-grelha-com-portico-espacial>>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

GUTIERRE, Saulo Migotto. **Estudo sobre a contribuição das lajes na estabilidade global de edifícios**. 2016. 144f. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

IGLESIA, Sócrate Muñoz. **O efeito P-Delta nas estruturas de edifícios**. AltoQi. Disponível em: < <http://maisengenharia.altoqi.com.br/wp-content/uploads/2016/08/Ebook-O-Efeito-P-Delta.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2019.

KIMURA, Alio. **Informática Aplicada a Estruturas de Concreto Armado**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 432 p.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios de concreto armado**. Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

OLIVEIRA, Danielle Meireles de. **Estudo dos processos aproximados utilizados para a consideração das não-linearidades física e geométrica na análise global de estruturas de concreto armado**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

PAIXÃO, João Fernando Martins; ALVES, Elcio Cassimiro. Análise da Estabilidade Global em Edifícios Altos. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 48-63, jan./jun. 2016.

ROSA, Felipe Celírio Melleu. **Estabilidade Global: Análise de uma estrutura de concreto armado com utilização de lajes lisas**. 2016. 72 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SARTOTI, A. L.; FONTES, A. C.; PINHEIRO, L. M. Análise da fase de montagem de lajes treliçadas. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 6, n. 4, p. 623-660, ago. 2013.

SILVA, Magno Leandro da; FILHO, Manoel Honório; SANTOS, Marcello Silva e. Análise da influência do tipo de laje na estabilidade da estrutura de concreto armado. **Revista Episteme Transversalis**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 01-19, jan./jun. 2018.

# CopySpider

CopySpider Scholar | Análise x +

scholar.copyspider.net/view/showStudyInCS3.php?&cfa=cabfa1c6129a411a0fe20c444682b7c9a9257340&changeLang=pt\_br

CopySpider Scholar Português Login

Anúncio fechado por Google  
[Não exibir mais este anúncio](#) [Anúncio? Por quê?](#)

Anúncio fechado por Google  
[Não exibir mais este anúncio](#) [Anúncio? Por quê?](#)

[Exportar relatório](#) [Referências ABNT](#) [Visualizar](#)

TCCII-AK-FINAL.docx (27/11/2019):

Documentos candidatos

- [periodicos.ulbra.br/...](#) [0,56%]
- [teses.usp.br/teses/d...](#) [0,45%]
- [arlevita.it/en/produ...](#) [0,44%]
- [narulox.fandom.com/p...](#) [0,44%]
- [ncbi.nlm.nih.gov/pub...](#) [0,4%]
- [static.fecam.net.br/...](#) [0,33%]
- [instituteforapprenti...](#) [0,33%]
- [rdrr.io/bioc/Trendy/...](#) [0,32%]
- [campogrande.ms.gov.b...](#) [0,28%]
- [diarioprime.com.br/t...](#) [0,05%]

Arquivo de entrada: TCCII-AK-FINAL.docx (6122 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
<a href="#">periodicos.ulbra.br/...</a>	Visualizar	2182	47	0,56
<a href="#">teses.usp.br/teses/d...</a>	Visualizar	247	29	0,45
<a href="#">arlevita.it/en/produ...</a>	Visualizar	148	28	0,44
<a href="#">narulox.fandom.com/p...</a>	Visualizar	651	30	0,44
<a href="#">ncbi.nlm.nih.gov/pub...</a>	Visualizar	1114	29	0,4
<a href="#">static.fecam.net.br/...</a>	Visualizar	714	23	0,33
<a href="#">instituteforapprenti...</a>	Visualizar	2832	30	0,33
<a href="#">rdrr.io/bioc/Trendy/...</a>	Visualizar	3230	30	0,32
<a href="#">campogrande.ms.gov.b...</a>	Visualizar	271	18	0,28
<a href="#">diarioprime.com.br/t...</a>	Visualizar	903	4	0,05

Windows taskbar: 17:03, 27/11/2019