

Tatiane Silva Veras Nolêto

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS ADOPTANDO DOIS DIFERENTES TIPOS DE LAJES**

Palmas – TO

2021

Tatiane Silva Veras Nolêto

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS ADOTANDO DOIS DIFERENTES TIPOS DE LAJES

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. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior.

Palmas – TO

2021

Tatiane Silva Veras Nolêto

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS
PAVIMENTOS ADOTANDO DOIS DIFERENTES TIPOS DE LAJES

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. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – Ceulp/Ulbra

Prof. Me. Edivaldo Alves dos Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas – Ceulp/Ulbra

Prof. Me. Denis Cardoso Parente

Centro Universitário Luterano de Palmas – Ceulp/Ulbra

Palmas – TO

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por todas as bênçãos concedidas, por me manter firme e com saúde.

Agradeço minha Mãe Maria de Jesus e meu Pai Boanerges pelo apoio e amparo nos momentos difíceis.

Agradeço meu esposo Paulo por trilhar esse caminho comigo, estando em todos os momentos dessa caminhada, por nunca ter me deixado desanimar.

Agradeço a minha filha Ana Beatriz por ser um guia na minha vida, sempre me fazendo querer ser uma pessoa melhor.

Agradeço a minha grande amiga / irmã Flávia, por também ter estado comigo durante essa jornada, sempre me ajudando até o último momento e por todas as madrugadas em claro que passamos estudando.

Agradeço o Prof. Dr. Roldão Pimentel de Araújo Junior, por toda a paciência, pelos ensinamentos e experiências compartilhados ao longo do curso e durante a elaboração desse trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Corte de laje nervurada	11
Figura 2 - Formas tipo cubetas plásticas para execução de lajes nervuradas	12
Figura 3 - Laje nervurada executada com cubas plásticas.....	13
Figura 4 - Esquema construtivo da laje treliçada	14
Figura 5 - Vigota com armadura treliçada (VT).....	15
Figura 6 - Secção e perspectiva de armadura eletrossoldada	16
Figura 7 - Elementos de enchimento tipo cerâmico e EPS	17
Figura 8 - Efeitos de segunda ordem	21
Figura 9 - Tubulão a céu aberto.....	23
Figura 10 - Demonstração dos volumes de concreto das lajes	25
Figura 11 - Demonstração de áreas de formas das lajes.....	25
Figura 12 - Demonstração do consumo de aço das lajes	25
Figura 13 - Demonstração do coeficiente gama z das lajes.....	26
Figura 14 - Comparativo de área de formas	27
Figura 15 - Comparativo do volume de concreto	27
Figura 16 - Comparativo do peso de aço.....	27
Figura 17 - Planta baixa pavimento tipo.....	30
Figura 18 – Corte BB	31
Figura 19 - Configurações adotadas do vento	32
Figura 20 - Especificação de materiais e durabilidade	32
Figura 21 - Especificações laje nervurada	33
Figura 22- Especificações laje treliçada	34
Figura 23 - Panos de Laje Treliçada pavimento tipo.....	35
Figura 24 - Panos de Laje Nervurada pavimento tipo	36
Figura 25 - Coeficiente Gama Z.....	36
Figura 26 - Deslocamento Horizontal	37
Figura 27 - Cargas na Fundação	38
Figura 28 - Momentos na Fundação MB.....	39
Figura 29 - Momentos na Fundação (MH).....	39
Figura 30 - Consumo de material na fundação.....	40
Figura 31 - Quantidade de Aço e Área de Forma Estrutura Treliçada X Estrutura Nervurada	41
Figura 32 - Volume de Concreto e Consumo de Aço Estrutura Treliçada X Estrutura Nervurada	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões e tolerâncias para vigotas treliçadas em mm.	15
Tabela 2 - Aço para utilização em lajes pré-fabricadas	16
Tabela 3 - Lajota de EPS com ruptura dúctil	18
Tabela 4 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes treliçadas	28
Tabela 5 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes nervuradas	28
Tabela 6 - Cargas e momentos que chegam na fundação.....	37
Tabela 7 - Consumo de Materiais (Estruturas com Lajes Treliçadas).....	40
Tabela 8 - Consumo de Materiais (Estruturas com Lajes Nervuradas).....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPS	Poliestireno Expandido
FCK	Resistência característica do concreto
NBR	Norma Brasileira
VT	Vigota treliçada

LISTA DE SÍMBOLOS

+	Mais
x	Veze
γ_z	Gama Z

RESUMO

A construção civil vem se desenvolvendo cada vez mais nos últimos anos, sendo necessário promover alternativas de sistemas construtivos que garantam maior eficiência e redução de insumos. Alguns programas computacionais tais como o Eberick, utilizado neste estudo proporcionam uma análise estrutural mais complexa, tornando todo o projeto mais produtivo.

Este estudo de caso avalia o desempenho estrutural de um edifício de múltiplos pavimentos em duas situações distintas: lajes treliçadas e lajes nervuradas, comparando a estabilidade global através do coeficiente gama z, demonstrando os esforços resultantes na fundação e os materiais utilizados nos dois sistemas.

Primeiramente selecionou um edifício comercial de oito pavimentos ao qual foram dimensionados e lançados os dois modelos estruturais no software Eberick podendo ser comparado e avaliado todos os esforços normal, fletor e deslocamentos verticais e horizontais, demonstrando o impacto que tais ações geram na fundação e no consumo de aço, volume de concreto e áreas de forma na edificação.

Com o estudo de todos estes fatores é possível realizar uma análise crítica destes modelos estruturais determinando as vantagens e desvantagens da utilização dos sistemas em situações semelhantes ao da edificação apresentada, porém cada empreendimento deve ser analisado individualmente podendo ter diferentes tomadas de decisão a depender do tipo de estrutura desejada pelo cliente.

Palavras chave: lajes treliçadas; lajes nervuradas; estrutura; gama z; eberick.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema de pesquisa	9
1.2	objetivos	9
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	<i>9</i>
1.2.2	<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>9</i>
1.3	Justificativa.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Lajes	11
2.2	Laje nervurada.....	11
2.2.1	<i>Formas e escoramentos.....</i>	<i>12</i>
2.2.2	<i>Critérios de projetos.....</i>	<i>13</i>
2.3	LAJE TRELIÇADA.....	14
2.3.1	<i>Vigotas para laje treliçada (VT)</i>	<i>14</i>
2.3.2	<i>Elementos de enchimento para lajes treliçadas.....</i>	<i>16</i>
2.3.3	<i>Capa de concreto da laje</i>	<i>20</i>
2.4	ESTABILIDADE GLOBAL E GAMA Z.....	20
2.5	FUNDAÇÕES.....	22
2.5.1.1	Tubulão a céu aberto	23
2.6	Eberick	23
2.7	Trabalho relacionado com tema	24
2.7.1	<i>Análise comparativa de um edifício de múltiplos pavimentos, com adoção de três diferentes tipos de laje em concreto armado (Maciça, Nervurada e treliçada).....</i>	<i>24</i>
2.7.2	<i>Análise comparativa entre diferentes tipos de lajes quanto as cargas geradas e consumo de materiais.....</i>	<i>26</i>
3	METODOLOGIA	28
3.1	Apresentação do projeto do estudo	29
3.2	Crerios de projeto.....	31
3.3	Determinação do quantitativo de materiais	34
3.4	Fundação	34
4	REFERÊNCIAS	44
5	ANEXO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.

1 INTRODUÇÃO

A concepção do projeto é primordial para o desenvolvimento estrutural e compreensão do comportamento e estabilidade global de uma edificação, possibilitando a melhor tomada de decisão na escolha do sistema construtivo, levando em conta o desempenho, segurança e economia de material (PINHEIRO et al, 2003).

A determinação das características do empreendimento define as cargas que serão impostas na estrutura, peso próprio e sobrecarga, estas definições auxiliam na escolha do método construtivo mais adequado e influencia diretamente no volume de materiais utilizado na execução. Em edificações de múltiplos pavimentos as lajes são responsáveis por um elevado consumo de concreto, tornando-se necessário soluções otimizadas, onde não apenas é olhado o consumo de matérias como também o comportamento da estrutura (ALBUQUERQUE & PINHEIRO, 2002).

Existem diversos tipos de lajes, para este estudo será realizado o comparativo entre as nervuradas e treliçadas de uma edificação de múltiplos pavimentos utilizando o software Eberick para uma melhor análise dos resultados obtidos.

A comparação dos sistemas ajuda o profissional a realizar a melhor escolha do método construtivo, considerando as definições e conceitos de cada uma das lajes, cargas e esforços solicitados, de maneira que com a avaliação permite representar o melhor custo benefício para a obra (FILHO E GOMES, 2016).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais diferenças geradas no dimensionamento de uma estrutura decorrente da utilização de lajes treliçada e nervurada de uma edificação multifamiliar?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento estrutural de uma estrutura de concreto armado de um edifício de múltiplos pavimentos adotando lajes nervuradas e treliçadas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a estabilidade global da estrutura utilizando o coeficiente gama z.
- Avaliar os esforços na fundação: esforço normal, cortante e momento fletor.
- Realizar o comparativo de materiais: consumo de aço, volume de concreto e área de formas.

1.3 JUSTIFICATIVA

Ao se pensar em uma estrutura em lajes, as principais avaliações são quanto a economia de concreto, aço e o vão entre pilares. Tais características possibilitam uma economia em torno

de 30 % de concreto e aço, essa redução por sua vez alivia o restante da estrutura. As lajes nervuradas é um sistema versátil devido às diversas possibilidades dimensionais, ela é isenta de assoalhamento pelo fato de racionalizar o método de montagem, possuem alta resistência das peças e permite a execução de qualquer tipo de escoramento. (TÉCHNE, 2017).

As lajes treliçadas por sua vez dispensa a utilização total ou parcial das formas, apresenta grande eficiência ao combate aos esforços cortantes, tendo um bom desempenho com relação a sua capacidade de redistribuição dos esforços, conseguindo vencer grandes vãos, proporciona uma otimização na altura em decorrência da flexibilidade na produção das treliças e enchimento.

Portanto este estudo se justifica, pois comparou dois tipos de lajes usualmente utilizadas nos empreendimentos, buscando demonstrar as diferenças existentes no projeto quanto a estabilidade global utilizando o método do gama Z; foi realizado um comparativo em relação aos principais materiais (aço, concreto) que são utilizados na execução da obra, além de ter determinado e analisado os esforços gerados que chegaram até a fundação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LAJES

Lajes são placas bidimensionais cuja espessura é bem menor que o comprimento e largura, onde as cargas recebidas atuam em direção perpendicular ao seu plano transferindo-as para as vigas, que por sua vez transferem para a fundação. Porto e Fernandes (2015).

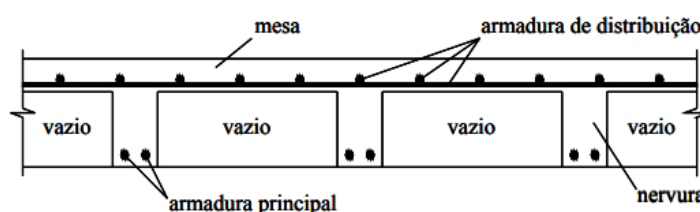
São destinadas a receber a maior parte das cargas como pessoas, móveis, pisos, paredes e demais esforços provenientes da finalidade arquitetônica, essas ações são perpendiculares ao plano da laje também podem ocorrer ações externas na forma de momentos fletores, geralmente aplicado nas bordas das lajes. (BASTOS, 2015).

2.2 LAJE NERVURADA

Atualmente as edificações vem ficando maiores, mais esbeltas e com grandes vãos o que inviabiliza a utilização da tradicional laje maciça, pois aumentaria consideravelmente o volume de concreto e o peso próprio. Para solucionar este empecilho surgiu a laje nervurada, que através de suas nervuras conseguiu reduzir o consumo de concreto, conforme figura 1, onde apresenta um corte transversal.

As lajes nervuradas são moldadas no local ou podendo apresentar as nervuras pré-moldadas, onde zona tracionada nos momentos positivos deve estar nas nervuras, local onde pode ser adicionado, material inerte.” (NBR 6118, 2014).

Figura 1 - Corte de laje nervurada



Fonte: Silva (2005)

As lajes nervuradas são destinadas a empreendimentos que necessitem de grandes vãos com o mínimo de pilares possíveis, como por exemplo, grandes estacionamentos, teatros, auditórios, andares livres de prédios comerciais e etc. para a viabilidade das lajes nervuradas os vãos devem ser superiores a 8 metros.

O sistema construtivo da laje nervurada é determinado pelas nervuras nas duas direções que permitem a distribuição uniforme entre as vigas, apresentando como vantagens apresentar um bom desempenho ao que se refere a sua capacidade de distribuição dos esforços, viabiliza o reaproveitamento das formas (cubas ou cubetas) com uma montagem e desmontagem rápida,

dispensando a fixação por pregos e apresenta fácil armazenamento pela facilidade de empilhamento.

2.2.1 Formas e escoramentos

Carvalho e Pinheiro (2009) afirma que dos diversos sistemas para execução das lajes nervuradas um dos mais utilizados é o emprego de fôrmas tipos cubetas plásticas, essas peças suportam a sobrecarga do concreto fresco, o peso das armaduras e dos profissionais durante a execução. Essas fôrmas podem ser alugadas e permite muitos reaproveitamentos. Esse sistema permite uma fácil e rápido montagem e desmontagem, não utiliza pregos para fixação e utiliza poucos componentes.

Os escoramentos por sua vez devem sustentar as formas oferecendo segurança e estabilidade na execução. Devendo ser dimensionados de acordo com as cargas a serem transferidas, ao pé direito da edificação e a resistência do material a ser utilizado.

Figura 2 - Formas tipo cubetas plásticas para execução de lajes nervuradas



Fonte: Escola de Engenharia

Algumas das desvantagens deste sistema construtivo é altura limitada das cubetas, pois a sua produção é padronizada, apresenta elevado consumo de cubas e escoras, exige acabamento na face inferior, necessita de espaçadores que garantam a adequada posição das armaduras.

Figura 3 - Laje nervurada executada com cubas plásticas



Fonte: Impacto protensão

Conforme a REVISTA EQUIPE DE OBRA (2008) para este sistema construtivo existem dois tipos de instalação das cubas, no primeiro caso as cubetas são dispostas sobre uma forma de madeira e estas apoiadas às vigas e escoras que geralmente são metálicas; no segundo caso as cubas são apoiadas diretamente nas vigas montadas sobre cabeçotes deslizantes. As figuras 2 e 3 mostram antes e depois da concretagem com formas tipos cubetas.

2.2.2 Critérios de projetos

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 6118:2014, a espessura da mesa se não houver tubulações horizontais não pode ser menor que 4 cm, devendo ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras, caso haja tubulações embutidas com diâmetro maior que 10 mm a espessura mínima da mesa é de 5 cm. Para tubulações embutidas com diâmetro maior que 10 mm a espessura mínima deve ser de $4 \text{ cm} + \text{diâmetro}$ ou $4 \text{ cm} + 2 \times \text{diâmetro}$ no caso de cruzamento de tubulações. A Nervura não pode ser inferior a 5 cm, sendo que menor que 8 cm não pode ter armadura de compressão.

Condições para projeto de lajes nervuradas:

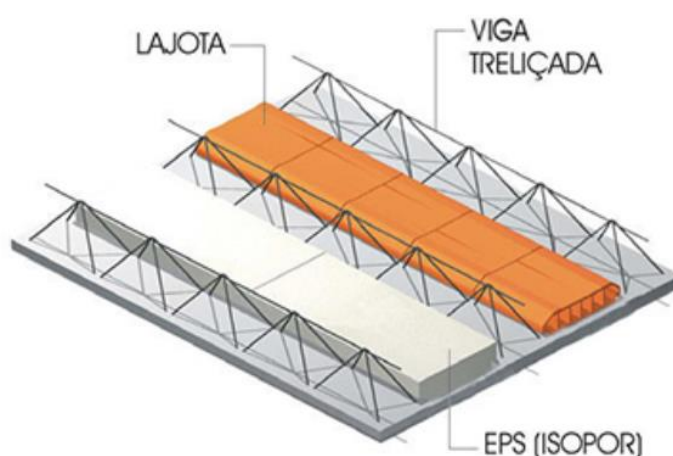
- a) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;

c) Para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura (NBR 6118, 2014, p.75).

2.3 LAJE TRELIÇADA

Conforme a ABNT NBR 14859 (2016) lajes pré-fabricadas possuem três componentes que são as vigotas treliçadas compostas basicamente por treliças envolvidas no concreto, elementos de enchimento e uma capa de concreto com lançamento in loco. Para evitar fissuras de retração do concreto pode se colocar uma armadura de distribuição composta por fios soldados.

Figura 4 - Esquema construtivo da laje treliçada



Fonte: Mapa da obra (2015)

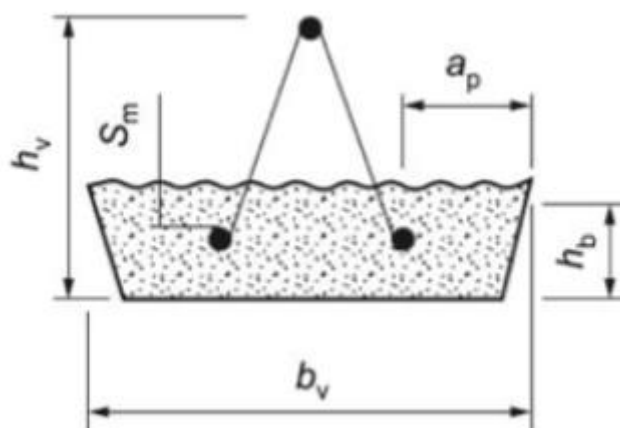
Na laje treliçada a armadura positiva é executada por barras de aço que estarão localizadas dentro das vigotas na face inferior da laje e que deveram resistir aos esforços dos elementos estruturais, conforme figura 4, já a armadura negativa é posicionada na face superior da laje.

De acordo com Mendranoetal. (2005) após a solidarização da base de concreto e as barras de aço tornando se uma estrutura monolítica tona se viável a utilização de alturas maiores do que as utilizadas em lajes maciças, tendo um aumento na rigidez de todo o conjunto com maior eficiência do aço e do concreto.

2.3.1 Vigotas para laje treliçada (VT)

Conforme a ABNT NBR 14859-1 (2016) determina como vigota com armadura treliçada (VT) a estrutura formada com concreto estrutural e armadura treliçada eletrossoldada, capaz de portar, quando essa for necessária, armadura passiva inferior de tração. A vigota com armadura treliçada apresentara a disposições dos elementos constituintes de acordo com a figura 5.

Figura 5 - Vigota com armadura treliçada (VT)



Fonte: ABNT NBR 14859-1/2016

As vigotas com armaduras treliçadas deverão apresentar o seu S_m mínimo igual a $5 + 0,1 \times h_b$ (mm), sua largura mínima (b_v) dever ser de 13 cm com uma altura mínima (h_v) de 7,5 cm, devendo sempre está de acordo com as dimensões e tolerâncias apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 - Dimensões e tolerâncias para vigotas treliçadas em mm.

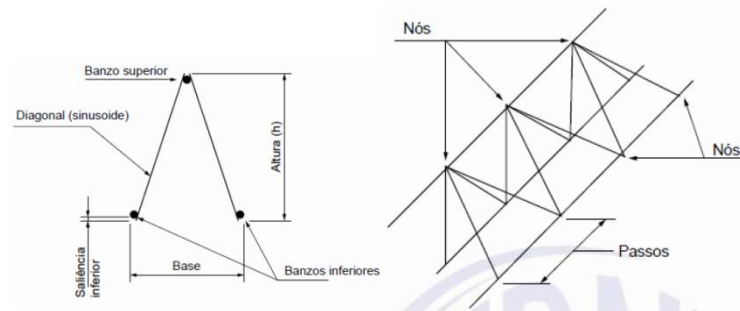
Largura mínima (b_v)	Altura mínima (h_v)	Largura mínima do apoio (a_p)	Altura mínima do apoio (h_b)
130 ± 5	75 ± 2	15 ± 1	30 ± 1

Fonte: ABNT NBR 14859-1:2016

Estas vigotas não são executadas in loco, sendo fabricadas industrialmente com controle de qualidade e o concreto que constitui a base das vigotas deve possuir uma resistência característica (f_{ck}) mínima de 20 Mpa, tendo função estrutural.

Conforme a ABNT NBR 14859-3/2016 a armadura eletrossoldada apresenta forma estrutura espacial prismática, contendo duas barras de aço paralelas longitudinais na base, sendo chamado de banzo inferior e uma barra longitudinal em seu topo, banzo superior, são interligadas por eletro fusão com barra de aço em diagonal com espaçamento regular, também conhecida como sinusóides. Chama-se de nó os pontos de ligação entre as barras e passo a medida da distância entre eixo dos nós.

Figura 6 - Secção e perspectiva de armadura eletrossoldada



Fonte: ABNT NBR 14859-3:2016

As armaduras utilizadas em lajes pré fabricadas devem estar dentro da categoria CA 50 ou CA 60 devendo ter suas dimensões de acordo com a tabela.

Tabela 2 - Aço para utilização em lajes pré-fabricadas

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo mm
Barras/fios de aço CA 50 e CA 60	ABNT NBR 7480	6,3 (CA 50) 4,2 (CA 60)
Tela de aço eletrossoldada	ABNT NBR 7481	3,4
Fios de aço para protensão	ABNT NBR 7482	3,0
Armadura treliçada eletrossoldada	ABNT NBR 14859-3	Diagonal (sinusoide): 3,4 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2

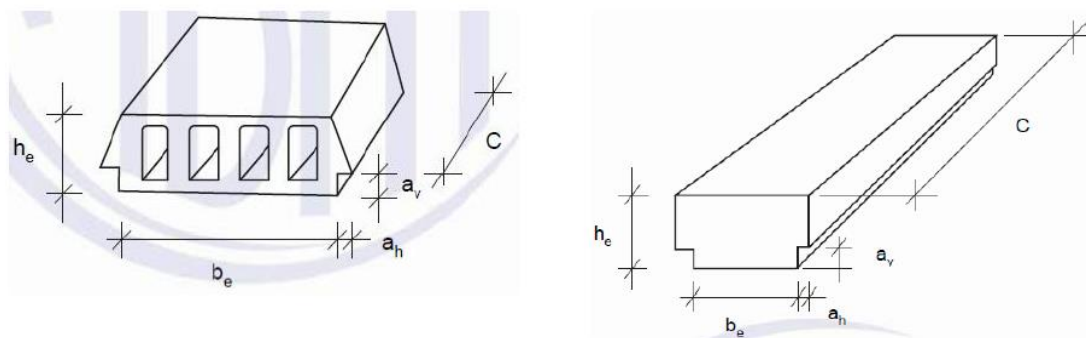
Fonte: ABNT NBR14859-1 :2016

Ao que se refere a soldagem do aço a ABNT NBR 14859-3:2017 determina que os elementos sejam unidos com solda por eletrofusão nos nós, garantindo assim as características físico-química do aço e a solidez da peça.

2.3.2 Elementos de enchimento para lajes treliçadas

Conforme a ABNT NBR 14859-2/2016 os componentes para o enchimento são elementos inertes não estruturais, que se intercalam entre as vigotas e podem ser vazados ou maciços. Sua função é reduzir o peso próprio da laje com a redução do concreto, além de servir de forma.

Figura 7 - Elementos de enchimento tipo cerâmico e EPS



Fonte: ABNT NBR 14859-2:2016

Estes elementos de enchimento são lajotas que podem ser fabricadas por material cerâmico que apresentam uma ruptura mais frágil ou de poliestireno (EPS), que exibe uma ruptura mais dúctil. Estes elementos devem suportar uma carga mínima de 1kN, referente aos trabalhos de montagem e concretagem, para esses elementos de enchimento que estiverem com uma altura entre 60 mm a 80 mm, a norma admite uma resistência característica mínima de ruptura de 0,7 kN.

O enchimento de poliestireno expandido (EPS) também conhecido como isopor é um material derivado do petróleo regulamentada pela NBR 11752:2007, sendo constituída de uma espuma termoplástica, seu volume é composto basicamente de 98% de ar e 2% de matéria sólida.

De acordo com a ABRAPEX 2006 o EPS é um material isolante com baixa condutividade térmica, baixo peso e que apresenta boa resistência mecânica, não servindo de alimento para qualquer micro organismo como, por exemplo, o cupim, mofo, etc.

A norma ABNT NBR 14859-2:2016 recomenda que para elementos de enchimento tipo EPS sua densidade mínima utilizada seja de 9 kgf/m³, para casos com densidades inferiores ao recomendado deve ser acordado entre o fornecedor e comprador apresentando ensaios de determinação das cargas de deformação e de ruptura a flexão.

Conforme a ABNT NBR 14859-2:2016 para materiais que apresentam ruptura dúctil (EPS) devem atender as dimensões e tolerância da tabela abaixo.

Tabela 3 - Lajota de EPS com ruptura dúctil

Designação	Altura ^a h_c mm	Largura b_c mm	Comprimento C mm	Largura do apoio a_h mm	Altura do apoio a_v mm
He 6/27/c	60 ± 3	270 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/27/c	70 ± 3				
He 8/27/c	80 ± 3				
He 10/27/c	100 ± 3				
He 12/27/c	120 ± 3				
He 16/27/c	160 ± 3				
He 20/27/c	200 ± 4				
He 24/27/c	240 ± 4				
He 29/27/c	290 ± 4				
He 6/30/c	60 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/30/c	70 ± 3				
He 8/30/c	80 ± 3				
He 10/30/c	100 ± 3				

Continuação da Tabela 3

Designação	Altura ^a h_c mm	Largura b_c mm	Comprimento C mm	Largura do apoio a_h mm	Altura do apoio a_v mm
He 12/30/c	120 ± 3	300 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 16/30/c	160 ± 3				
He 20/30/c	200 ± 4				
He 24/30/c	240 ± 4				
He 29/30/c	290 ± 4				
He 6/32/c	60 ± 3	320 ± 3	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 7/32/c	70 ± 3				
He 8/32/c	80 ± 3				
He 10/32/c	100 ± 3				
He 12/32/c	120 ± 3				
He 16/32/c	160 ± 3				
He 20/32/c	200 ± 4				
He 24/32/c	240 ± 4	370 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 29/32/c	290 ± 4				
He 7/37/c	70 ± 3				
He 8/37/c	80 ± 3				
He 10/37/c	100 ± 3				
He 12/37/c	120 ± 3				
He 16/37/c	160 ± 3				
He 20/37/c	200 ± 4				
He 24/37/c	240 ± 4				
He 29/37/c	290 ± 4	400 ± 4	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 6/40/c	80 ± 3				
He 10/40/c	100 ± 3				
He 12/40/c	120 ± 3				
He 16/40/c	160 ± 3				
He 20/40/c	200 ± 4				
He 24/40/c	240 ± 4				
He 29/40/c	290 ± 4				

Continuação da Tabela 3

Designação	Altura ^a h_c mm	Largura b_c mm	Comprimento C mm	Largura do apoio a_n mm	Altura do apoio a_v mm
He 10/47/c	100 ± 3	470 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/47/c	120 ± 3				
He 16/47/c	160 ± 3				
He 20/47/c	200 ± 4				
He 24/47/c	240 ± 4				
He 29/47/c	290 ± 4				
He 10/50/c	100 ± 3	500 ± 5	Múltiplos de 100 ± 3	15 + 3	30 ± 2
He 12/50/c	120 ± 3				
He 16/50/c	160 ± 3				
He 20/50/c	200 ± 4				
He 24/50/c	240 ± 4				
He 29/50/c	290 ± 4				

^a Outras alturas podem ser utilizadas, mediante acordo prévio e expresso entre fornecedor e comprador, desde que atendidas todas as demais disposições desta Norma.

Fonte: ABNT NBR 14859-2:2016

A ABNT NBR 14859-2:2016 dar parâmetros quanto a aceitação de defeitos nos elementos de enchimento, estes após a execução da capa de concreto não poderá apresentar desníveis superiores a 6mm. As lajotas devem se apresentar sem partes quebradas ou trincas que possam afetar o desempenho da peça.

2.3.3 Capa de concreto da laje

Posteriormente a montagem das vigotas sobre as vigas e o posicionamento dos elementos de enchimento pode se executar a camada de concreto estrutural, que deve apresentar uma resistência mínima de 20Mpa.

Este concreto tem por função principal unir os elementos e resistir aos esforços, como por exemplo os momentos fletores positivos atuantes na laje. A execução deste serviço deve ainda observar os procedimentos recomendados na NBR 6118:2014.

2.4 ESTABILIDADE GLOBALE GAMA Z

Ao se projetar uma estrutura de concreto armado é necessário verificar os estados limites ultimo e de serviço, garantindo a segurança e conforto dos usuários e desta forma assegurando o equilíbrio de toda a edificação projetada.

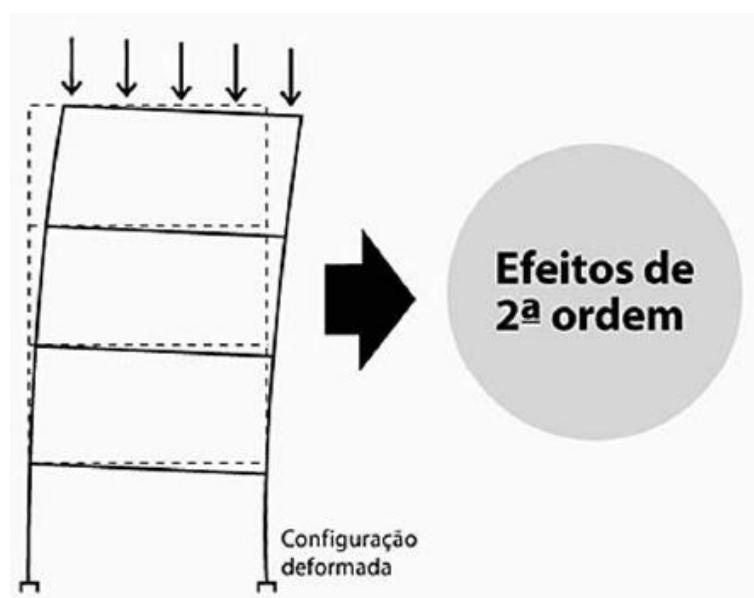
Toda construção a ser projetada deve atender as exigências definidas nas normas vigentes, o projeto deve proporcionar total equilíbrio a estrutura, resistindo às ações verticais e horizontais que lhe forem submetidas, sem gerar deformações, deslocamentos excessivos e rupturas.

Para se chegar à estabilidade global da estrutura é necessário conhecer os efeitos gerados nas peças devido aos esforços que lhe são empregados, existem os efeitos de 1ª ordem que corresponde aqueles que são calculados com cargas verticais onde a estrutura não se deforma.

Conforme a ABNT NBR 6118:2014 os efeitos de 2ª ordem são considerados quando há um comportamento não linear dos materiais e este pode ser desconsiderado sempre que não representar acréscimos superiores a 10% nas reações e solicitações relevantes na estrutura.

Segundo Kimura (2007) os efeitos de segunda ordem são calculados quando a estrutura apresenta sua posição deformada que provocam a desestabilização da edificação conforme figura.

Figura 8 - Efeitos de segunda ordem



Fonte: Kimura (2007)

Os projetos estruturais precisam conter alguns elementos que garantam a estabilidade, resistindo às ações verticais e horizontais que nela atuem de forma que as deformações que venham a existir sejam mínimas. Estas deformações surgem por imperfeições nas peças e até mesmo pela ação do vento. Se essas ações forem fortes e gerarem movimentações excessivas podem surgir os efeitos de 2ª ordem o que ocasiona manifestações patológicas na edificação.

Para a análise da estabilidade global a ABNT NBR 6118:2014 utiliza parâmetros para a estimativa dos esforços de segunda ordem de maneira simplificada, um destes parâmetros é o gama z (γ_z). Este coeficiente é aplicado para estruturas reticuladas de no mínimo quatro pavimentos, podendo ser determinado através dos resultados de uma análise linear de primeira ordem de cada carregamento.

O gama z possibilita prever de forma eficiente a magnitude dos efeitos de segunda ordem em uma estrutura, pois ele majora os esforços globais, não havendo desta forma a necessidade da verificação criteriosa de uma análise de segunda ordem.

Ao projetar utilizando o gama z primeiramente é necessário realizar uma análise de primeira ordem com as cargas existentes verticais e horizontais, calculam-se os acréscimos dos momentos de acordo com a fórmula:

$$M_d = R_d \cdot e d \Delta$$

M_d = acréscimos dos momentos;

ΔR_d = Cargas verticais totais de projeto;

$e d$ = deslocamento de primeira ordem.

O gama z vai realizar uma relação entre os momentos de segunda ordem com os momentos de primeira ordem através da fórmula:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_d}{M_{1d}}} \text{ onde :}$$

M_d = acréscimos dos momentos calculados anteriormente;

ΔM_{1d} = Momento de primeira ordem gerados pelas forças horizontais;

Para o gama z menor ou igual a 1,1 a estrutura analisado é considerada sem deslocamentos, quando este coeficiente estiver acima deste valor é necessário realizar uma análise de segunda ordem sendo considerado não linear. Valores de gama z até 1,3 pode ser empregado como um fator amplificador apresentando satisfatórios resultados, não sendo necessário uma rigorosa análise de segunda ordem.

Os valores de gama z acima de 1,3, como fator de amplificador podem gerar resultados divergentes da análise criteriosa de segunda ordem, porém valores menores que este apresenta excelente estimativa dos esforços de segunda ordem nas estruturas de concreto armado.

O gama z relaciona a estrutura quanto aos deslocamentos dos nós, classificando a estrutura de nós fixos ou nós moveis, ou seja, no primeiro caso os efeitos globais de segunda ordem são desconsiderados, pois apresentam valores inferiores a 10% dos esforços de primeira ordem; no segundo caso, os nós moveis, apresentam valores significativos de efeitos de segunda ordem, sendo assim superiores a 10% dos esforços de primeira ordem.

2.5 FUNDAÇÕES

Segundo Araújo (2010), a escolha do tipo de fundação deve ser compatível com as características da superestrutura, dessa forma tendo uma profundidade adequada para evitar

danos causados por escavações ou futuras construções na vizinhança. Ter segurança contra a ruptura do solo e os recalques devem ser compatíveis com a capacidade de acomodação da estrutura, principalmente os recalques diferenciais.

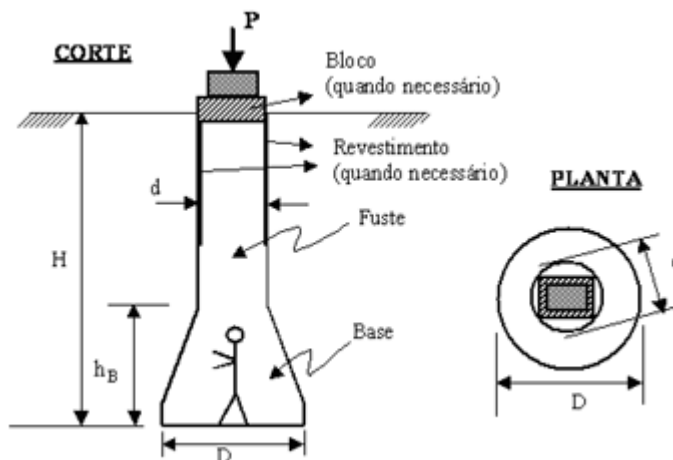
Fundação profunda transmite a carga ao terreno pela base ou por sua superfície lateral ou por ambas, sendo que sua ponta ou base em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m.

2.5.1.1 Tubulão a céu aberto

Os tubulões são elementos de fundação que normalmente apresentam seção circular e em que há a descida de um funcionário pelo fuste, podem ser executados a céu aberto ou a ar comprimido (quando a água impede a construção tradicional) podendo ser de concreto simples ou armado. (PORTO e FERNANDES, 2015).

Segundo Falconi et al (1998), admite-se nula a tensão lateral ao longo do fuste, portanto a carga do pilar é transmitida ao subsolo através do apoio da base, no entanto a NBR 6122:2019, afirma que quando o atrito lateral for considerado, será desprezado o comprimento de fuste igual ao diâmetro da base, imediatamente acima do início do alargamento.

Figura 9 - Tubulão a céu aberto



Fonte: <https://tekhton.com.br/tubulao-procedimento-executivo/>

2.6 EBERICK

O Eberick é uma ferramenta que proporciona praticidade para o engenheiro projetista, pois é um software para projeto estrutural que abrange as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento de todos os elementos de acordo com a NBR 6118:2014, com a vantagem de uma visualização tridimensional da estrutura.

De acordo com o site da AltoQI o Eberick possui um ambiente CAD próprio com artifícios para se executar a modelagem das estruturas como pilares, lajes, vigas, escadas, fundações, reservatórios, muros, etc. estes podem ser visualizados em 3D favorecendo a

compreensão da geometria projetada e exportados para arquivos no formato IFC (BIM), DWG, DXF, STL e OBJ.

Ainda de acordo com o site o software proporciona a verificação dos elementos para o estado limite ultimo e de serviço conforme as normas vigentes; os resultados são expostos em janelas específicas que demonstram os esforços e os resultados. O programa consegue gerar de forma automatizada o memorial de cálculo contendo relatórios referente a análise global, esforços, dimensionamento dos elementos e cargas nas fundações.

O Eberick consegue realizar uma análise mais precisa do comportamento estrutural o que permite ao engenheiro projetista executar uma modelagem mais econômica e segura, além de gerar detalhamento estrutural com armaduras com uma serie de opções para ajustar o projeto as necessidades, também é capaz e gerar planta de forma, ainda elabora informações como contagem, eixos para locação, hachuras e tabelas de sobrecargas.

Esta ferramenta ainda pode gerar relatórios com o consumo de materiais contendo, por exemplo, o volume de concreto, peso do aço, quantitativo de blocos de enchimento, área de formas, etc. tais recurso proporcionam aumento da produtividade na elaboração de projetos, na qualidade e segurança.

2.7 TRABALHO RELACIONADO COM TEMA

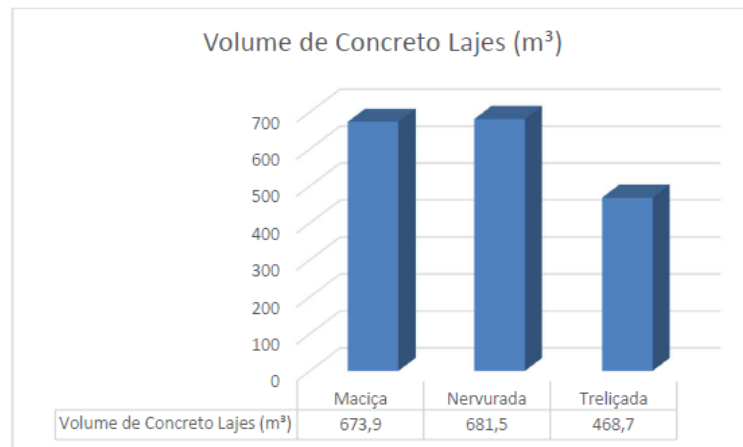
2.7.1 Análise comparativa de um edifício de múltiplos pavimentos, com adoção de três diferentes tipos de laje em concreto armado (Maciça, Nervurada e treliçada).

O trabalho desenvolvido por Marques (2017) teve como objetivo interpretar o comportamento estrutural das lajes pesquisadas, comparar a estimativa de materiais de cada modelo estrutural, demonstrar as limitações de cada método construtivo e com base nos resultados determinar qual modelo de laje mais se adequa para o modelo estudado. Para essas análises foi analisado um edifício de 17 pavimentos com altura total de 46,40 metros.

Para o dimensionamento estrutural foi realizado conforme as normas vigentes pertinentes ao assunto, para a fundação foi adotado como tensão admissível do solo 0,6 MPa e sapatas de 1,50 metros de profundidade como elemento de fundação.

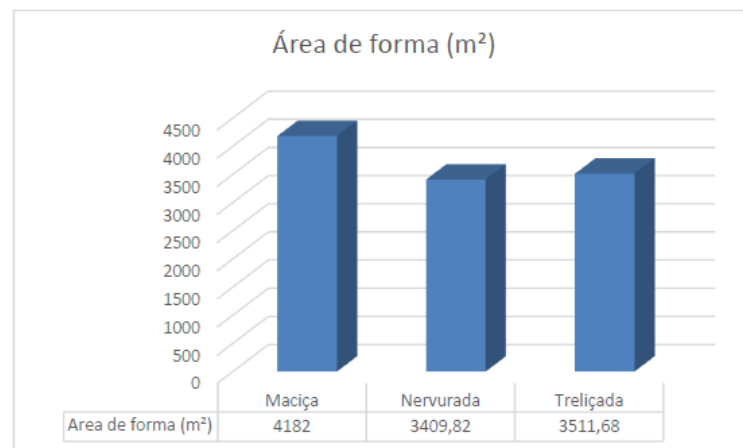
Abaixo demonstração dos resultados apresentados pelo programa Eberick.

Figura 10 - Demonstração dos volumes de concreto das lajes



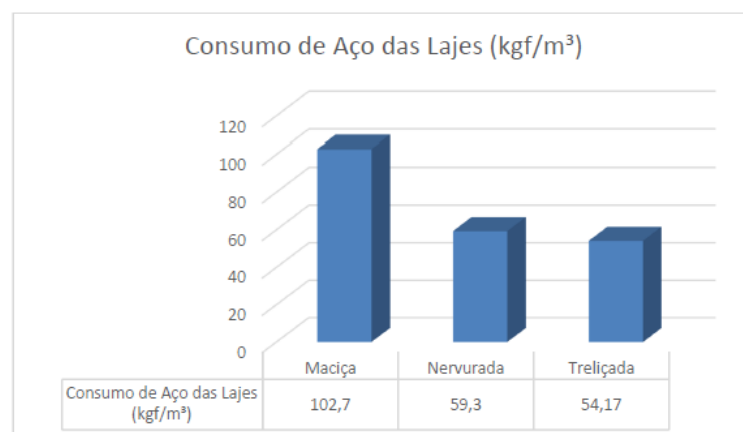
Fonte: Marques 2017

Figura 11 - Demonstração de áreas de formas das lajes



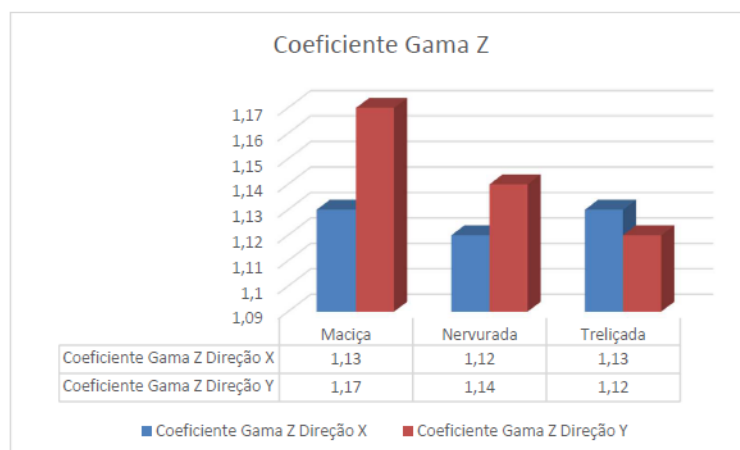
Fonte: Marques 2017

Figura 12 - Demonstração do consumo de aço das lajes



Fonte: Marques 2017

Figura 13 - Demonstração do coeficiente gama z das lajes



Fonte: Marques 2017

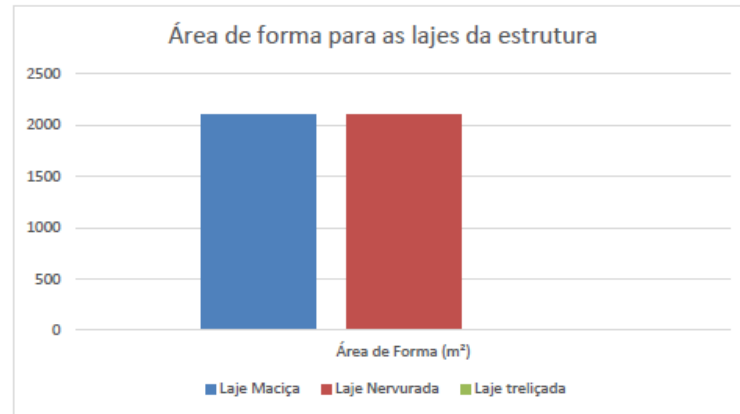
De acordo com os dados apresentados a laje nervurada com cubetas e a laje treliçada com painéis de EPS têm uma menor consumo de aço que a laje maciça. A laje nervurada utiliza formas reutilizáveis, que faz com que o custo seja reduzido, no entanto o aumento do consumo de concreto no sistema construtivo influencia diretamente no aumento do custo da edificação. A laje treliçada seria a melhor opção para o projeto estudado, pois apresentou baixo consumo de concreto, fôrmas e aço quando comparada as demais do estudo.

2.7.2 Análise comparativa entre diferentes tipos de lajes quanto as cargas geradas e consumo de materiais.

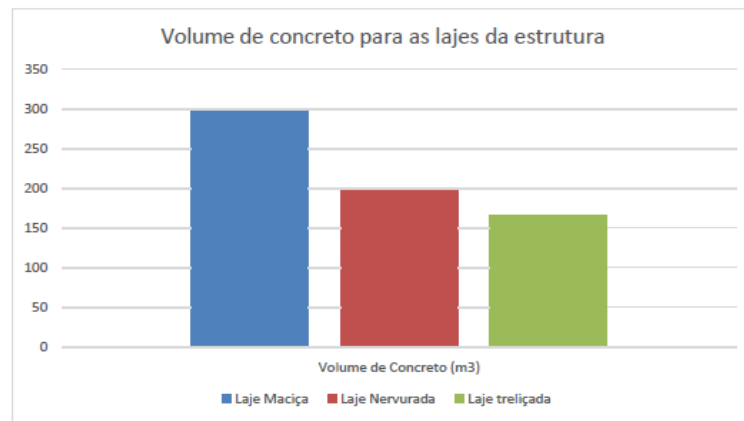
No trabalho desenvolvido por Guesser Junior e Debortoli Filho (2019) teve como objetivos levantar as influências no desempenho, uso e consumo de cada tipo de laje, realizar a análise de consumo de materiais e custo, escolher o melhor tipo de laje para a estrutura e indicar os possíveis tipos de uso para cada tipo de laje.

Para a realização do estudo foi utilizado o software Eberick para a realização do projeto estrutural com os três tipos de lajes, foi considerado o projeto arquitetônico de uma residência multifamiliar de quatro pavimentos tipos e quatro apartamentos por andar de aproximadamente 80 m² e um pavimento garagem. Distancia de piso a piso de 2,88 m.

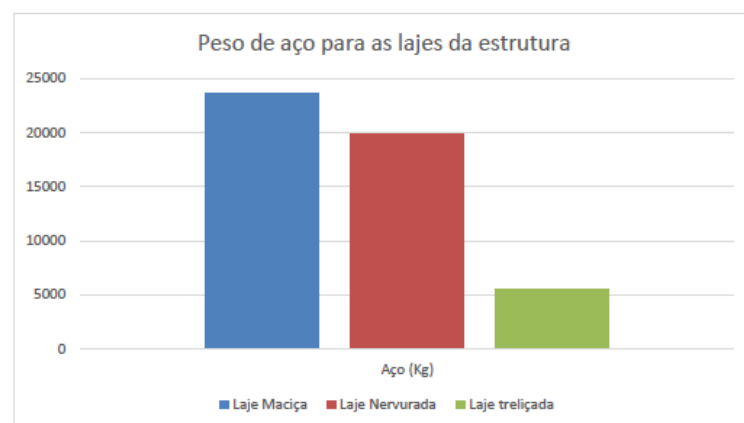
Segue abaixo os resultados apresentados pelo programa Eberick.

Figura 14 - Comparativo de área de formas

Fonte: Guesser Junior e Debortoli Filho (2019)

Figura 15 - Comparativo do volume de concreto

Fonte: Guesser Junior e Debortoli Filho (2019)

Figura 16 - Comparativo do peso de aço

Fonte: Guesser Junior e Debortoli Filho (2019)

Tabela 4 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes treliçadas

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.18 (lim 1.10)	1.28 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.26 (lim 1.02)	1.50 (lim 1.02)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0,39	2,18
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0,38	2,12
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/4447	1/791
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/4541	1/817

Fonte: Guesser Junior e Debortoli Filho (2019)

Tabela 5 - Estabilidade global e deslocamentos para lajes nervuradas

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.18 (lim 1.10)	1.32 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.25 (lim 1.02)	1.51 (lim 1.02)
Deslocamento máximo dos pilares (cm)*	0,40	2,09
Deslocamento médio dos pilares (cm)*	0,39	2,08
Deslocamento máximo dos pilares* / Htotal	1/4291	1/826
Deslocamento médio dos pilares* / Htotal	1/4463	1/832

Fonte: Guesser Junior e Debortoli Filho (2019)

Com a análise dos resultados foi observado uma vantagem no uso das lajes treliçadas, pois teve o custo 22% mais barato, devido principalmente a menor quantidade da área de formas e quantidade de aço empregado para execução. Considerando que terá um peso próprio menor que os sistemas apresentados haverá uma redução no custo da fundação.

3 METODOLOGIA

A pesquisa realizada utilizou o método exploratório, pois o estudo de caso demonstrou e comparou dois tipos diferentes de lajes em um edifício de múltiplos pavimentos.

Com a utilização do software Eberick foi efetuado o lançamento destes dois sistemas construtivos, com isso foi possível aferir as diferenças entre os esforços, quantitativo de materiais, volume de concreto, aço, formas e etc.

Apesar das lajes não necessitarem de um modelo de pórtico espacial, sua presença na estrutura é apontada em uma hipótese de diagrama rígido, permitindo desta forma a análise de um comportamento mais próximo ao real referente aos deslocamentos horizontais em que a estrutura estará submetida.

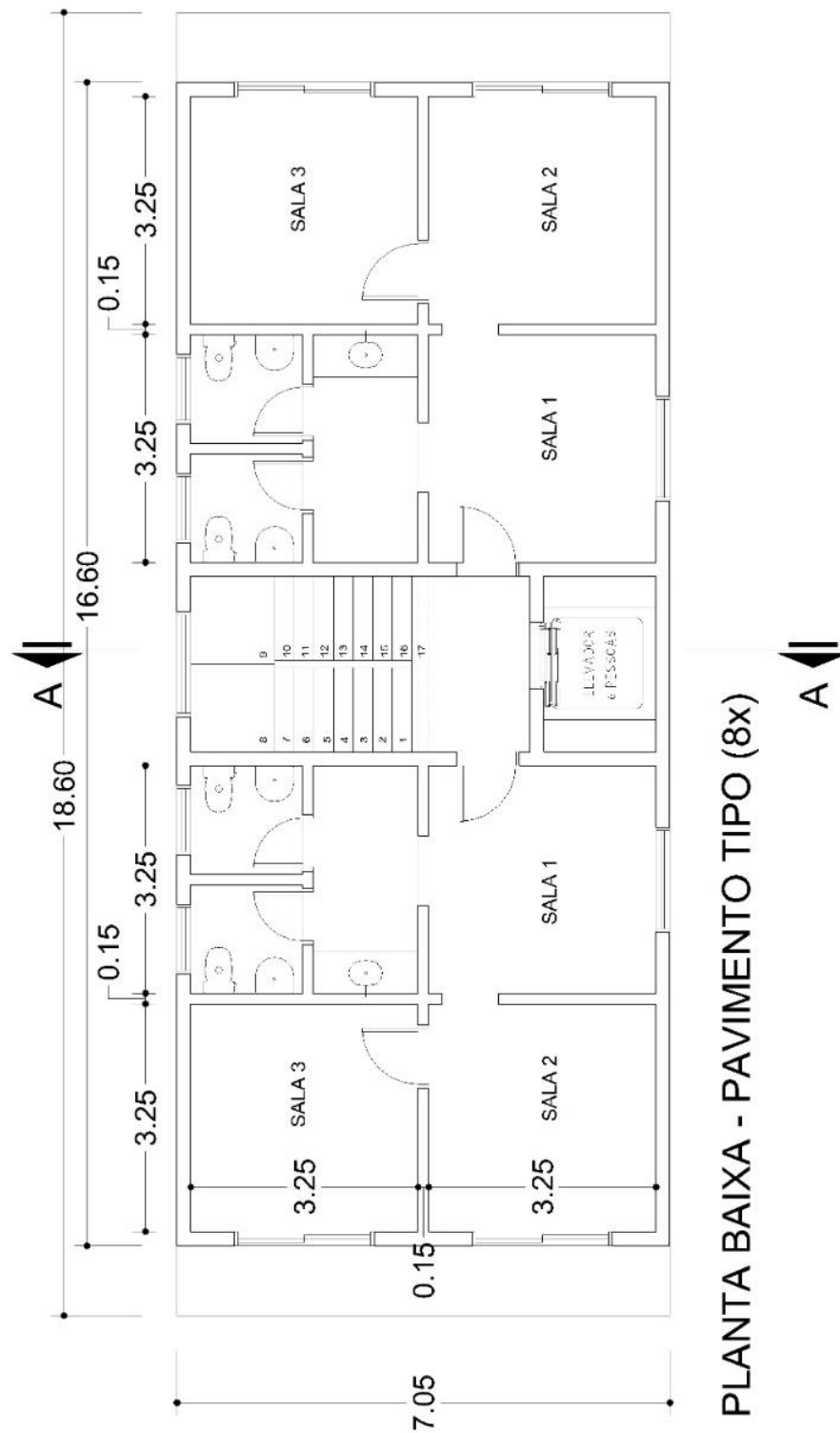
3.1 APRESENTAÇÃO DO PROJETO DO ESTUDO

O projeto apresentado para o trabalho trata-se de um edifício comercial de múltiplos pavimentos, com o térreo tipo pilotis, onde se localiza o estacionamento do empreendimento; os próximos oito pavimentos são tipo conforme figura 17, onde apresenta duas salas comerciais por pavimento, estes possuem 3 ambientes e lavabo, no último andar situa-se o reservatório e casa de máquinas.

O edifício possui uma altura de 31,24 m, levando em consideração o reservatório de água. Cada pavimento apresenta uma área de 117,03 m² e possuem um pé direito de 3,06 metros, e cada sala comercial 49,70 m².

Para fins comparativos foram analisadas as diferenças na utilização das lajes nervuradas moldadas in loco e lajes pré-fabricadas treliçadas, foram demonstrados os resultados obtidos no programa Eberick como volume de concreto, área de forma, áreas de aço, estabilidade global e como esses esforços chegaram até a fundação.

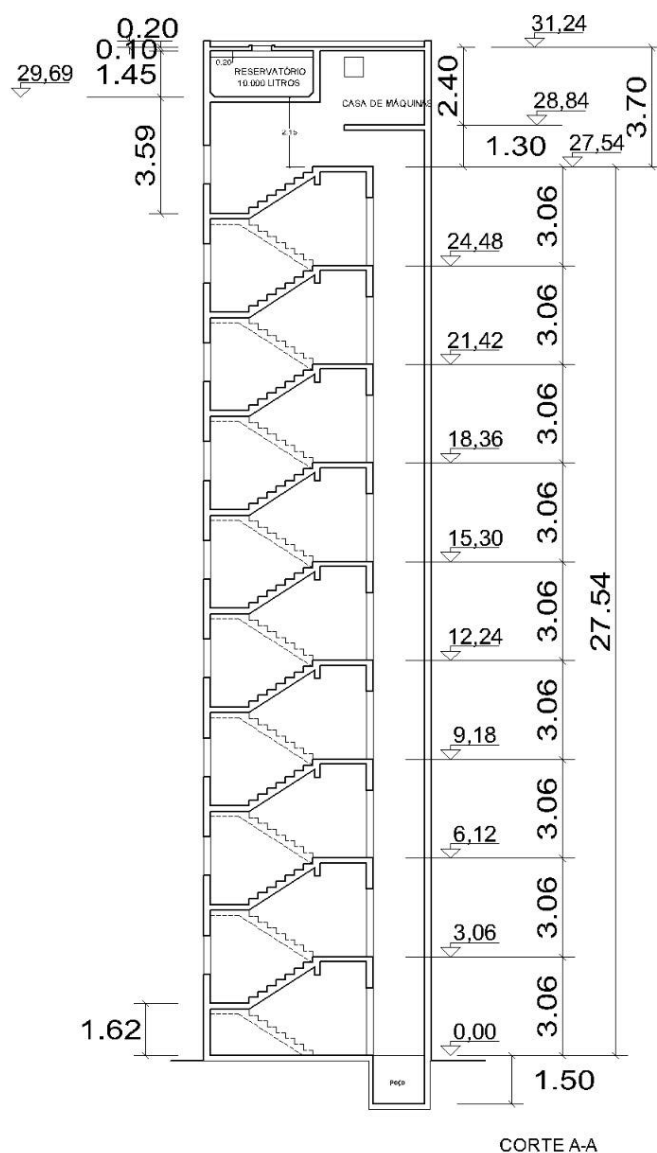
Figura 17 - Planta baixa pavimento tipo



Fonte: Curso Rota das Estruturas

Com a intenção de melhorar o entendimento quanto à disposição dos pavimentos do projeto arquitetônico foi apresentado o corte AA conforme figura abaixo.

Figura 18 – Corte AA



Fonte: Curso Rota das Estruturas

3.2 CRITÉRIOS DE PROJETO

Conforme a NBR 6120:2019 toda edificação pode está exposta a ações permanentes, variáveis e especiais, estes esforços foram considerados no projeto estrutural. Para fins de cálculos das ações, foi adotado como carregamentos verticais permanentes, o peso próprio da estrutura, revestimentos internos, externos, já para carregamentos variáveis foi utilizado uma carga referente a edifícios comerciais. Para carregamentos acidentais, inicialmente, a ação do vento e as sobrecargas de utilização.

Para critério de cálculo no programa Eberick foi considerado a ação do vento com velocidade 33 m/s conforme mapa de velocidade do vento apresentado no programa; dimensões verticais entre 20 e 50m, rugosidade do terreno na categoria II conforme figura 19.

Figura 19 - Configurações adotadas do vento

Vento

Velocidade 30 m/s

Mapa...

Aplicação do Vento

Ângulo 0°

Casos 4

Forças médias...

Topografia

☐ Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento (S1 = 1.1)
☐ Vales profundos, protegidos de todos os ventos (S1 = 0.9)
☒ Demais casos (S1 = 1.0)

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical

Entre 20 e 50 m

Rugosidade do terreno

Categoria II

Fator Estatístico S3

☐ Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10
☒ Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00
☐ Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

OK

Cancelar

Ajuda

Velocidade do Vento

OK

Ajuda

Fonte: Ebrick

A Classe de agressividade ambiental foi considerado para uma edificação na área urbana com uma agressividade moderada e pequeno risco de deterioração da estrutura, classificando como Classe de agressividade ambiental II.

Para os elementos estruturais terão valores de peso específico de 25 kN/m^3 , que se refere a estruturas de concreto armado. O agregado graúdo foi admitido a dimensão de 19 mm e os cobrimentos dos elementos estruturais de 2,5 cm para peças externas e 3 para peças em contato com o solo de acordo com a figura 20.

Figura 20 - Especificação de materiais e durabilidade

Materiais e durabilidade

Aplicação

☒ Projeto inteiro
☐ Por pavimento

Pavimento

Concreto

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

C-30

Geral

Classe de agressividade

II (moderada)

Dimensão do agregado

19 mm

☐ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
☐ Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras

Contato com o solo

0.2 mm

Contato com a água

0.1 mm

Demais peças

0.3 mm

Combinações

Frequentes

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-30	3 cm	2.5 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	3 cm	2.5 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-30	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-30			3 cm	Bitolas...
Radier	C-30			3 cm	Bitolas...

Elementos pré-moldados

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	
Vigas	C-25	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	Bitolas...

Etapas...

Tipo Pré-moldado

Fluência...

Barra...

Classes...

OK

Cancelar

Ajuda

Fonte: Eberick

As flechas nas lajes serão limitadas considerando os limites para— deslocamentos como $L/250$, para satisfazer o efeito da aceitabilidade sensorial apresentada no item 13.3 da NBR 6118/2014.

Para critério de projeto foi adotado lajes nervuradas unidirecionais moldadas in loco com cubetas reaproveitáveis e lajes pré-fabricadas treliçadas com armaduras unidirecionais e painéis de EPS como material de enchimento.

Figura 21 - Especificações laje nervurada

Fonte: Eberick

Na laje treliça as cargas permanecem iguais a laje nervurada, apresentando treliça tipo TR 06644, com repetições 1, altura sapata 3 cm, largura sapata 13 cm, com enchimento tipo EPS unidirecional exibindo dimensões B8/30/125, com uma capa de concreto de 6 cm.

Figura 22- Especificações laje treliçada

Laje

Nome: Tipo:

Ambiente:

Cargas

Grupo:

Acidental: kgf/m² Revestimento: kgf/m²

Extra: kgf/m²

Temperatura e retração: °C

Trelça

Tipo: Repetições:

Altura sapata: cm Largura sapata: cm

Enchimento

Tipo:

Dimensão:

Seção

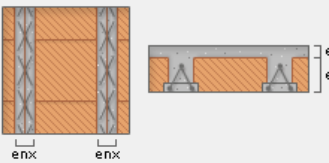
Espessura: cm Elevação: cm

ec: cm

ee: cm

enx: cm

eny: cm



Fonte: Eberick

3.3 DETERMINAÇÃO DO QUANTITATIVO DE MATERIAIS

Para o levantamento do consumo de matérias, será exportado uma planilha para análise e detalhamento, do software para cálculos estruturais AltoQI Eberick.

3.4 FUNDAÇÃO

O projeto que deu origem a este trabalho é do Curso Rota das Estruturas, onde o mesmo dimensionou a fundação e utilizou tubulão a céu aberto, como não existe informações do solo a mesma será preservada.

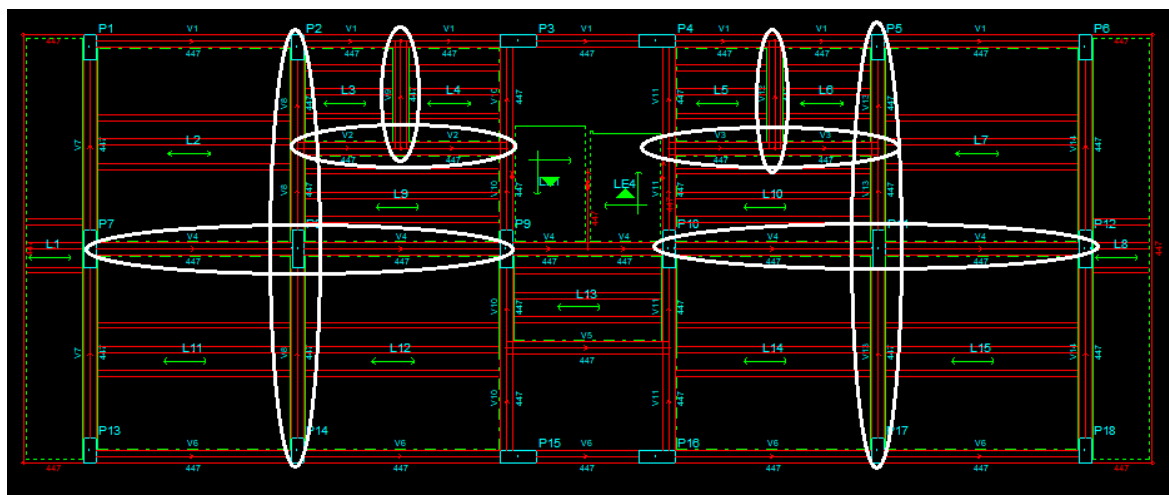
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL

Utilizando o programa Eberick, foi realizado o dimensionamento da estrutura conforme apresentado na metodologia, foi analisado os deslocamentos através do coeficiente Gama Z (γ_z) que de acordo com a NBR 6118:2014, os esforços de segunda ordem podem ser desprezados se não houver acréscimo superior a 10% em relação aos efeitos de primeira ordem.

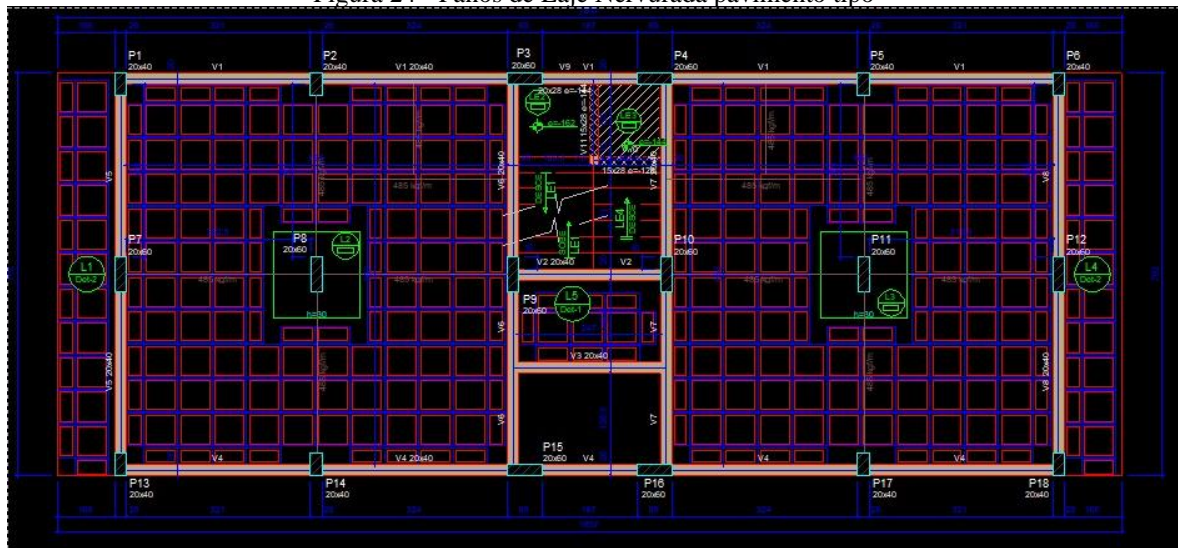
Para dimensionar a estrutura com laje treliçada foram considerados quinze panos de lajes, apresentando vigas intermediárias para a sustentação das vigotas e das placas de EPS, no entanto Lajes Nervuradas são indicadas para vencer grandes vãos, e para justificar a utilização desse modelo foram retiradas as vigas V2, V3, V4, V8, V9, V12 e V13, conforme apresentada na figura 23, de maneira que foram necessários apenas dois panos de lajes para cada sala comercial e uma pequena laje no hall, figura 24.

Figura 23 - Panos de Laje Treliçada pavimento tipo



Fonte: Eberick (Adaptado)

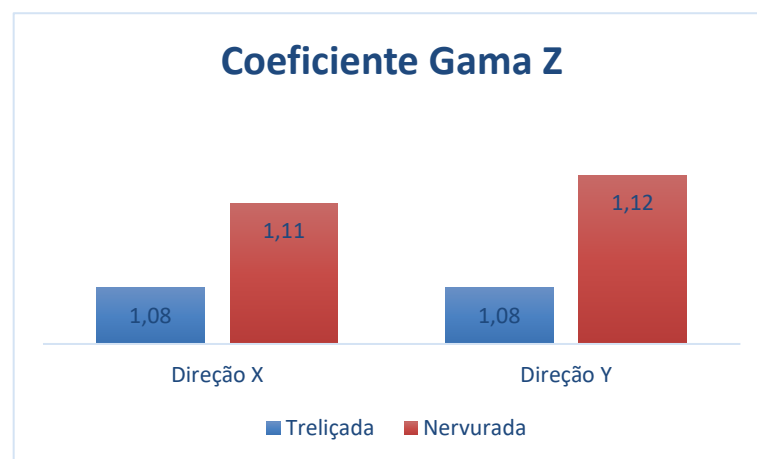
Figura 24 - Panos de Laje Nervurada pavimento tipo



Fonte: Eberick

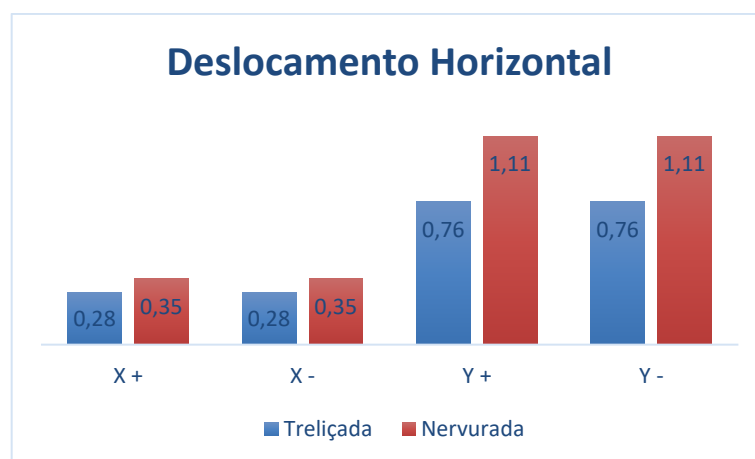
O Modelo Estrutural com as lajes treliçadas apresentaram o valor de γ_z 1,08 nas direções X e Y, estando abaixo do valor limite de 1,10, não sendo necessário análise dos deslocamentos de segunda ordem, estrutura considerada de nós fixos. No entanto com as lajes nervuradas o valor do γ_z na direção X foi de 1,11 e na direção Y 1,12, figura 26, de maneira que foi necessário considerar os esforços de segunda ordem considerando o efeito P-Delta, considerando a estrutura de nós móveis. Conforme figura 27, os deslocamentos apresentados na em ambos os sentidos foram maiores para a estrutura com lajes nervuradas, no entanto ficaram dentro do limite que é de 1,93 cm.

Figura 25 - Coeficiente Gama Z



Fonte: Próprio autor

Figura 26 - Deslocamento Horizontal



Fonte: Próprio autor

O aumento no valor dos deslocamentos e do coeficiente γ_z nas lajes nervuradas, ocorreu devido a retirada das vigas intermediárias V2, V3, V4, V8, V9, V12 e V13, fator que diminuiu a rigidez da estrutura aumentando os deslocamentos.

4.2 AVALIAÇÃO DOS ESFORÇOS NA FUNDAÇÃO

Conforme a tabela 6, pode se observar que as cargas e os momentos resultantes que chegaram na fundação provenientes dos dois modelos estruturais, o sistema que apresentou maiores valores foram os esforços da laje nervurada.

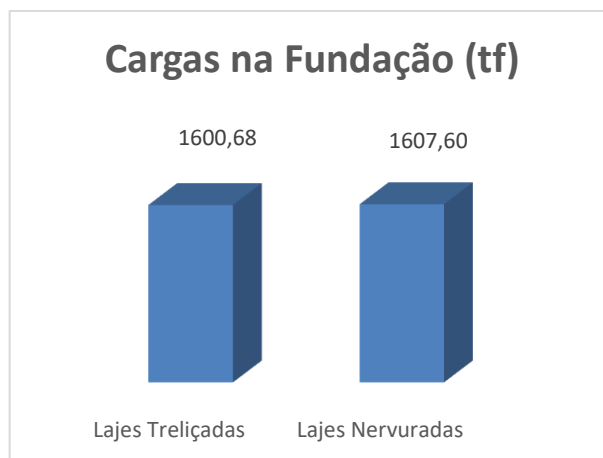
Tabela 6 - Cargas e momentos que chegam na fundação

Esforços na Fundação (Estrutura com laje trelçada)			
Nome	Carga (tf)	MB (Kgf.m)	MH (Kgf.m)
B1	74,13	316,84	2420,71
B2	81,77	61,56	-2483,55
B3	82,62	1280,43	-2271,16
B4	83,29	1282,7	2283,29
B5	81,88	60,89	2483,02
B6	74,01	316,29	-2419,39
B7	98,83	535,11	6311,82
B8	111,14	-370,93	-6280,11
B9	126,70	741,3	-7042,88
B10	127,91	505,21	7046,47
B11	111,41	-376,33	-6279,73
B12	98,54	537,19	-6307,55
B13	72,40	344,14	-2389,19
B14	75,60	97,05	-2369,12
B15	76,00	1410,03	2365,41
B16	76,26	1411,57	-2372,49
B17	75,69	-97,37	-2369,43
B18	72,50	343,81	2389,6
Carga Total		1600,68 tf	

Esforços na Fundação (Estrutura com laje nervurada)			
Nome	Carga (tf)	MB (Kgf.m)	MH (Kgf.m)
B1	78,96	355,26	3046,40
B2	57,88	-83,66	2972,35
B3	85,30	1616,22	-2801,64
B4	86,10	1611,31	2816,79
B5	57,86	-82,79	-2970,08
B6	78,87	355,17	-3049,18
B7	91,97	638,56	-8045,80
B8	148,02	-306,81	-8077,41
B9	127,66	794,36	-8983,05
B10	124,69	530,67	8978,31
B11	147,84	281,39	-8077,39
B12	91,54	633,98	8041,54
B13	79,01	373,82	-3058,57
B14	54,61	118,14	2992,25
B15	81,76	1701,61	-2883,50
B16	81,98	1698,52	2872,30
B17	54,53	-115,61	2993,55
B18	79,02	373,47	3061,40
Carga Total		1607,60 tf	

Fonte: Próprio autor

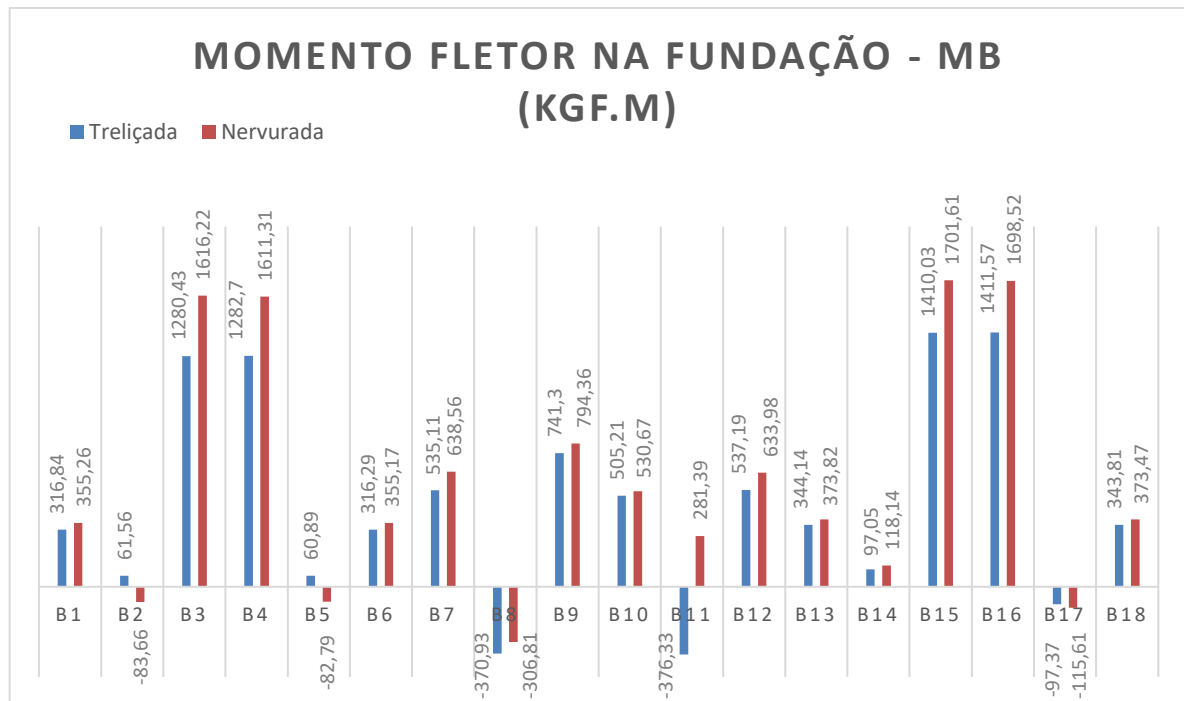
Figura 27 - Cargas na Fundação



Fonte: Próprio autor

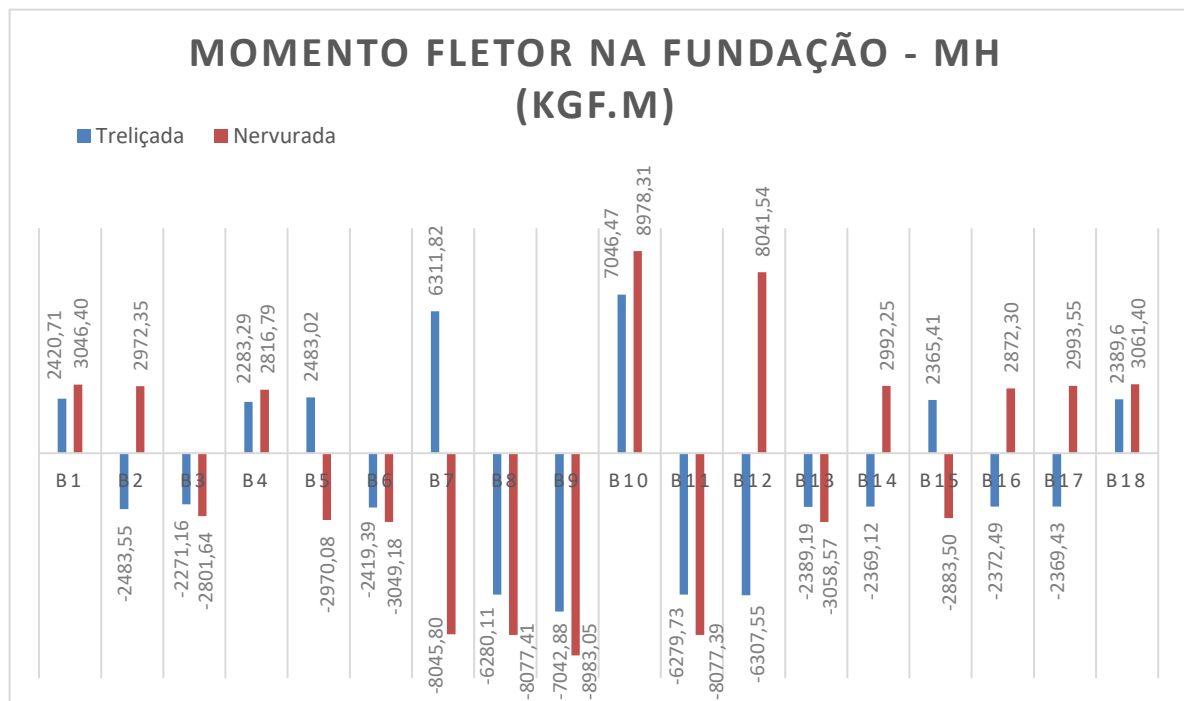
No que se refere a carga total que chegou na fundação a laje nervurada exibiu o resultado de 0,43% a maior, o resultado esperado era que esse modelo ficasse mais leve, pois houve uma redução nas vigas, no entanto a espessura da laje treliçada foi de 13 cm e a laje nervurada 17 cm, 4 cm mais.

Figura 28 - Momentos na Fundação MB



Fonte: Próprio autor

Figura 29 - Momentos na Fundação (MH)

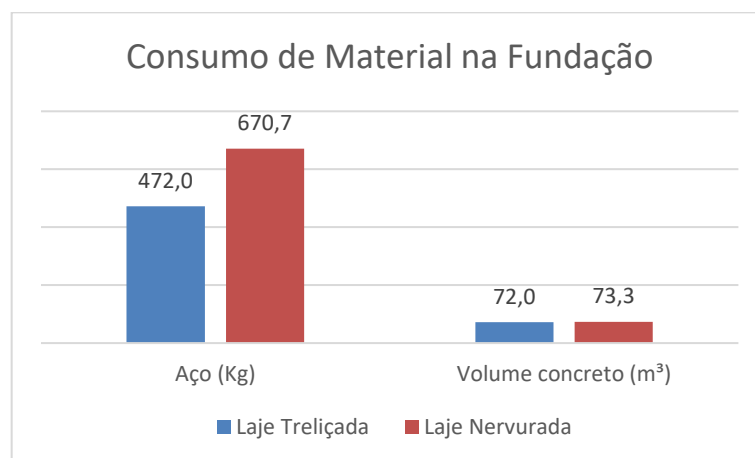


Fonte: Próprio autor

Como com a estrutura de lajes nervuradas foi necessário considerar os esforços de segunda ordem considerando o efeito P-Delta, houve maiores deslocamentos e

consequentemente aumentou os momentos fletores, o gerou um maior consumo de aço na fundação.

Figura 30 - Consumo de material na fundação



Fonte: Próprio autor

4.3 COMPARATIVO DE MATERIAIS: CONSUMO DE AÇO, VOLUME DE CONCRETO E ÁREA DE FORMAS

O quantitativo de materiais a serem executados no empreendimento foi obtido através do software Eberick ao qual forneceu todos os resumos dos materiais e elementos necessários a implantação ao qual vemos nas tabelas abaixo.

Tabela 7 - Consumo de Materiais (Estruturas com Lajes Trelaçadas)

Resumo por material e por elemento								
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Reservatórios	Muros	Total
Peso total+ 10% (kg)	CA50	4.585,9	3.025,4	1.650,2	593,9	523,5	0,0	10.378,9
	CA60	1.135,8	1.317,2	636,8	127,7	34,4	0,0	3.251,9
	Total	5.721,7	4.342,6	2.287,0	721,6	557,9	0,0	13.630,8
Volume concreto (m³)	C-30	90,3	53,2	62,1	11,4	4,8	0,0	221,8
Área de forma (m²)		1.143,5	744,7	5,8	129,6	60,2	0,0	2.083,8
Consumo de aço (kg/m³)		63,4	81,6	36,8	63,2	116,4	0,0	61,5

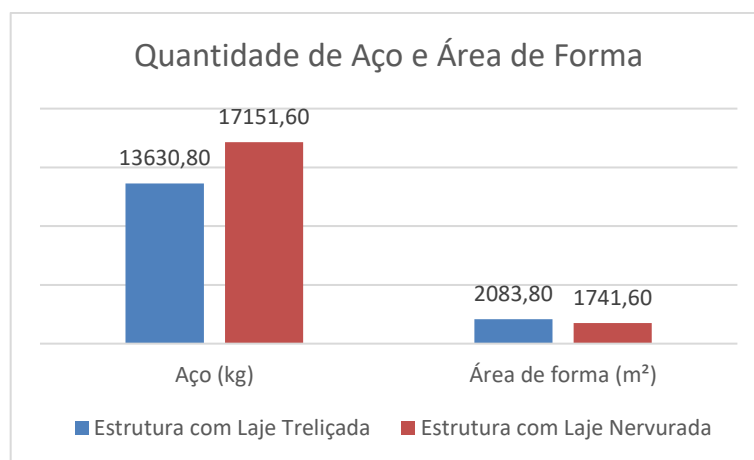
Fonte: Eberick

Tabela 8 - Consumo de Materiais (Estruturas com Lajes Nervuradas)

Resumo por material e por elemento								
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Reservatórios	Muros	Total
Peso total+ 10% (kg)	CA50	3.924,5	3.410,3	5.478,3	525,9	525,1	0,0	13.864,1
	CA60	771,7	1.296,3	1.048,3	136,8	34,4	0,0	3.287,5
	Total	4.696,2	4.706,6	6.526,6	662,7	559,5	0,0	17.151,6
Volume concreto (m³)	C-30	62,0	53,3	99,0	11,2	4,8	0,0	230,3
Área de forma (m²)		791,6	745,3	17,2	127,3	60,2	0,0	1.741,6
Consumo de aço (kg/m³)		75,8	88,3	65,9	59,4	116,8	0,0	74,5

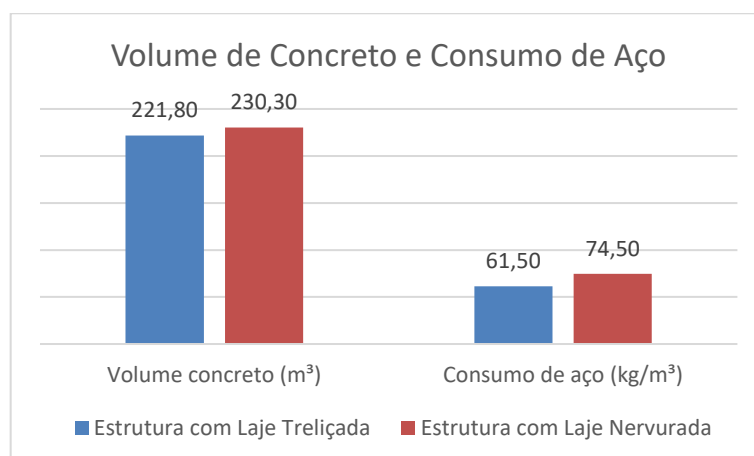
Fonte: Eberick

Figura 31 - Quantidade de Aço e Área de Forma Estrutura Trelaçada X Estrutura Nervurada



Fonte: Próprio Autor

Figura 32 - Volume de Concreto e Consumo de Aço Estrutura Trelaçada X Estrutura Nervurada



Fonte: Próprio Autor

Na estrutura com lajes trelaçadas, o consumo de aço foi de 61,50 kg/m³ enquanto que na laje nervurada o consumo foi de 74,50 kg/m³, um aumento de 21,14%, decorrente dos momentos fletores que foram maiores neste modelo estrutural.

Conforme as tabelas 7 e 8 o consumo de aço por m³ nas vigas do modelo com a laje nervurada foi 19,56% maior, mesmo o pavimento tipo possuindo 6 vigas a menos que a laje trelaçada. Os carregamentos foram distribuídos apenas nas vigas V1, V4, V5, V6, V7 e V8, que ficaram submetidas a maiores solicitações de momentos e esforços.

O consumo de concreto do arranjo estrutural em ambos os modelos não apresentou diferenças significativas, tendo uma diferença de apenas 3,22% a mais na edificação com lajes nervuradas.

Devido o pavimento tipo ter apenas dois panos de lajes nervuradas enquanto que a laje treliçada foram 15 panos, houve aumento relevante na quantidade de área de formas de 16,42% em comparação com as lajes nervuradas.

5 CONCLUSÃO

Ao iniciar um projeto é fundamental o conhecimento e domínio do software assim como os vários sistemas construtivos, sendo indispensável saber ajustar cada modelo estrutural ao modelo matemático correspondente. Também é necessário avaliar e aplicar o sistema estrutural que mais se adéque ao objetivo do empreendimento.

Como a utilização de lajes nervuradas é possível vencer grandes vãos e uma, melhor flexibilidade no layout, mas pelo estudo foi verificado que não é possível utiliza-la em todos os casos, pois na estrutura apresentada a mesma apresentou maiores esforços, mais consumo de aço e maiores deslocamentos o que torna mais oneroso esse sistema.

É importante reforçar que o custo do empreendimento não deverá ser o único ponto a ser observado no momento do projeto, deve se analisar um todo. Pois a laje treliçada são mais aconselháveis para vão menores, quando ocorrer de apresentar vão maiores, estas lajes poderão não atender aos estados limites, sendo recomendado o uso das lajes nervuradas.

Percebe se que cabe ao engenheiro civil observar e analisar todos os aspectos do empreendimento para melhor escolher os métodos e tecnologias disponíveis para a melhor tomada de decisão.

6 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ABNTNBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis – requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ABNTNBR 14859-2: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 2: Elementos inertes para enchimento e forma - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

ABNTNBR 14859-3: Lajes pré-fabricadas de concreto Parte 3: Armadura treliçada eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

ALBUQUERQUE, Augusto T.; PINHEIRO, Libânio M. **Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n 19, p. 1-19, 2002.

ARAÚJO, José M. de. **Curso de concreto armado.** 3ª ed. Rio Grande, Ed. Dunas, V. 4.

EBERICK, **AltoQi**, Disponível em <https://www.altoqi.com.br/eberick/>. Acesso em 23 de setembro de 2020.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **LAJES DE CONCRETO.** 2015. 119 f. - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

CARVALHO, R. S.; PINHEIRO, L, M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado.** Pini, 2009.

EQUIPE DE OBRA. **Passo a passo Laje nervurada Veja como executar lajes com sistema de fôrmas plásticas,** edição 16, ano IV, mar/abr 2008.

KIMURA, A. **Informática Aplicada em Estruturas de Concreto Armado:** Cálculo de edifícios com uso de sistemas computacionais. 1ª. ed. São Paulo: Pini, 2007.

LAJES TRELIÇADAS, **Mapa da obra,** ano 2015, Disponível em <https://www.mapadaobra.com.br/negocios/lajes-trelicadas/>. Acesso em 04 de outubro de 2020.

MARQUES, Eduardo D. **Análise comparativa de um edifício de múltiplos pavimentos, com adoção de três diferentes tipos de lajes em concreto armado (maciça, nervurada e treliçada).** 2017. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2017.

MEDRANO, M. L. O.; FIGUEIREDO FILHO, J. R.; CARVALHO, R. C. **Estudos de pavimentos de lajes formados por vigotas pré-moldadas: Influencia de nervuras transversais**. 1º Encontro nacional de pesquisa-projeto-produção em concreto pré-moldado, 2005.

PORTO, B.; FERNANDES, D. S.. **Curso Básico de Concreto Armado**: conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

REBELLO, Yopanan C.P. **Bases Para Projeto Estrutural na Arquitetura**. 2ª ed. São Paulo. Zigurate Editora, 2007.

REBELLO, Yopanan C. P. **Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 4ª ed. São Paulo. Zigurate Editora, 2008.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, Programa de pós-graduação em construção civil, São Carlos, 2005.

TÉCHNE. **A revista do Engenheiro Civil**, São Paulo, edição 240, ano 25, março 2017.