



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

Faculdade de Engenharia

Engenharia Civil - FAEN

RODRIGO DE ALMEIDA FLORENTINO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE LAJES DO TIPO
MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA NA CIDADE DE
DOURADOS - MS**

Dourados - MS

2022

RODRIGO DE ALMEIDA FLORENTINO

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE LAJES DO TIPO
MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA NA CIDADE DE
DOURADOS - MS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora da
Universidade Federal da Grande
Dourados, como pré-requisito para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, sob a orientação do
Prof. Me. André Felipe Aparecido Mello

Dourados - MS

2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO H – ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 13:30 horas do dia 10 de junho de 2022, realizou-se no(a) Ambiente virtual Google Meet (local) a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado **Análise comparativa de custo entre lajes do tipo maciça, nervurada e treliçada na cidade de Dourados – MS** de autoria do(a) discente Rodrigo de Almeida Florentino, como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II.

Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

(X) Aprovado

() Reprovado

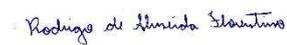
O(A) discente(a) declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Civil da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabilizará pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente(a) para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

Atender às recomendações da banca.

DISCENTE

Nome: Rodrigo de Almeida Florentino

Assinatura: 

BANCA EXAMINADORA

Orientador: André Felipe Aparecido de Mello

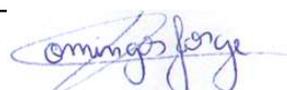
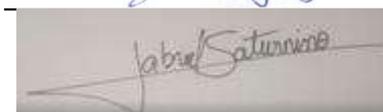
Assinatura: _____

Membro: Domingos Jorge Ferreira da Silva

Assinatura: _____

Membro: Gabriel Aquino Saturnino

Assinatura: _____

ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO ENTRE LAJES DO TIPO MACIÇA, NERVURADA E TRELIÇADA NA CIDADE DE DOURADOS - MS

FLORENTINO, Rodrigo de Almeida¹; MELLO, André Felipe Aparecido²

Rodrigo.florentino058@academico.ufgd.edu.br¹; AndreMello@ufgd.edu.br²;

RESUMO

Com a evolução dos sistemas estruturais empregados na construção civil tem se falado muito sobre o crescimento vertical das cidades e o tipo de laje a ser empregado. Embora existam vários trabalhos acerca do tema, eles encontram-se esparsos em muitos tópicos. Buscando contribuir nessa questão, este trabalho explora conceitos objetivos e aplicações práticas para uma tomada de decisão mais econômica e eficaz. Partindo dessa premissa, foi analisado um pavimento tipo de um edifício e considerado os custos diretos entre os principais materiais selecionados, aço e concreto. Em seguida, foram realizadas as análises comparativas dos custos desses materiais obtidos, de acordo com os fornecedores solicitados, atingindo um valor global para cada sistema em estudo. Consequentemente, foi possível prever qual laje alcançou o melhor custo. Onde os resultados para a alternativa estrutural mais adequada para a edificação proposta é o sistema convencional de lajes nervuradas, se comparados com a laje maciça e treliçada. Em síntese, observando apenas aço e concreto, a economia gerada não se sobressai em relação aos outros sistemas, porém fazendo uma análise englobando forma e treliça, a laje nervurada tem um melhor resultado.

Palavras-chave: Orçamento; Laje nervurada; Laje Treliçada.

ABSTRACT

With the evolution of structural systems used in civil construction, much has been said about the vertical growth of cities and the type of slab to be used. Although there are several works on the subject, they are sparse on many topics. Seeking to contribute to this issue, this work explores objective concepts and practical applications for a more economical and effective decision making. Based on this premise, a typical floor of a building was analyzed and the direct costs between the main selected materials, steel and concrete, were considered. Then, comparative analyzes of the costs of these materials obtained were carried out, according to the requested suppliers, reaching an overall value for each system under study. Consequently, it was possible to predict which slab achieved the best cost. Where the results for the most suitable structural alternative for the proposed building is the conventional system of ribbed slabs, compared with the solid slab and lattice. In summary, looking only at steel and concrete, the savings generated do not stand out in relation to other systems, however, making an analysis encompassing form and truss, the ribbed slab has a better result.

Keywords: Budget; Ribbed slab; Lattice slab.

1 INTRODUÇÃO

As lajes são elementos estruturais de concreto, que apoiadas sobre as vigas, descarregam os esforços nos pilares, e estes distribuem para a fundação. Segundo Bastos (2015), as lajes recebem a maioria das cargas aplicadas na edificação, ocasionadas pela existência de pessoas, móveis, máquinas e equipamentos, paredes, telhados etc. Além disso, as lajes podem ser moldadas no local ou executadas a partir de estruturas pré-fabricadas, cabendo ao projetista decidir qual o melhor tipo de laje a ser empregado na edificação.

Atualmente o mercado da construção civil oferece uma variedade de sistemas estruturais que empregam lajes de concreto armado, são estes, lajes maciças, nervuradas (pré-fabricadas ou moldadas “in loco”), lajes treliçadas, protendidas (alveolares), mistas etc.

Ao escolher o melhor tipo de laje para o empreendimento deve-se levar em consideração a usabilidade, o melhor custo-benefício, o volume de concreto a ser utilizado, as distâncias entre os vãos e a carga que a laje deverá suportar. Por ser um projeto bastante complexo, os edifícios com vários pavimentos precisam da colaboração de vários profissionais altamente qualificados da construção civil.

Visto que, cada obra possui características arquitetônicas particulares, a utilização de um modelo padrão seria impossível, sendo assim, cabe ao engenheiro estrutural juntamente com o arquiteto escolher a opção mais adequada para um determinado tipo de obra.

O aquecimento do setor imobiliário a nível nacional vem proporcionando ao país cada vez mais oportunidades de investimentos no setor da construção civil. De acordo com uma reportagem da CNN (CNN Brasil, 2021), o setor irá registrar o maior crescimento nos últimos 10 anos. Inserido neste atual cenário econômico, o município de Dourados – MS, vem participando gradativamente mais do fenômeno da verticalização das cidades, onde o número de pavimentos dos edifícios tende a ser cada maior.

Dourados – MS é um dos municípios que mais cresceu economicamente nos últimos anos, devido ao agronegócio e à presença de grandes empresas, a cidade se destaca como o maior município do interior do estado. Com o crescente aumento da população, o município tem sido um ótimo canteiro de obras, principalmente com a chegada dos condomínios fechados e a alteração na lei de uso e ocupação do solo (Lei complementar N° 205/2012 – Alterada pela LC n° 404, de 06 de janeiro de 2021) que agora permite a construção de prédios com um maior número de pavimentos. Visando otimizar o

espaço dos terrenos afim de garantir um maior aproveitamento, prédios cada vez mais altos estão sendo construídos na cidade.

Devido ao presente cenário de alta concorrência no setor da construção civil, torna-se indispensável a necessidade de redução de custos acerca da construção de determinados empreendimentos. Por consequência, é necessário que cada vez mais os responsáveis por essas obras dominem dos mais variados tipos de materiais, métodos e execução.

A escolha do tema se deu, principalmente, pela necessidade do engenheiro em conhecer detalhadamente os diversos tipos de sistemas estruturais para lajes de concreto armado, bem como a capacitação do profissional na tomada de decisões técnicas mais eficientes na escolha dos mais variados tipos de sistemas estruturais a serem empregados em um empreendimento.

Os investimentos de novas técnicas que permitem minimizar o desperdício e os custos da obra tem se intensificado ao longo dos anos em que o setor está em alta. Este é um fator relevante quando aplicado a lajes, pois dependendo do tipo de laje empregada, pode haver economia de materiais e rapidez de execução proporcionando vantagens econômicas e financeiras consideráveis.

Nos edifícios de vários pavimentos, uma grande parcela do consumo de concreto é destinada às lajes. Em virtude disso, o foco geral deste trabalho é reunir conceitos técnicos e estudos comparativos que permitam a análise de custo definindo assim, entre laje maciça, nervurada e treliçada, a melhor opção a ser empregada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A ABNT NBR 6118 (2014), no item 8.2.1, determina que nos projetos estruturais de concreto armado deve-se utilizar concretos estabelecidos nas classes de resistência C20 ou superior, isto é, concretos onde a resistência característica a compressão seja igual ou superior a 20 MPa. A norma ainda fala que a classe C15 (concreto onde a resistência característica a compressão é igual a 15 MPa) pode ser usada apenas em obras provisórias ou concreto sem fins estruturais, conforme a ABNT NBR 8953 (2015).

Para o aço, liga metálica formada essencialmente por ferro e carbono, a ABNT NBR 6118 (2014), item 8.3.1, diz que nos projetos de estruturas de concreto armado (aço e concreto) deve-se utilizar aço classificado pela ABNT NBR 7480 (2007), com valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. Os

diâmetros e seções transversais nominais são estabelecidos na Tabela 1 do anexo B da ABNT NBR 7480 (2007).

Aço e concreto são os dois principais materiais utilizados na concepção de lajes, sendo comum nos três sistemas em análise.

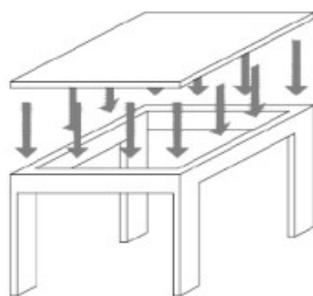
2.1. Laje Maciça

De acordo com Bastos (2015), a laje maciça é composta inteiramente por concreto na sua espessura, incluindo armaduras longitudinais de flexão e armaduras transversais em alguns casos, podendo ser apoiadas em vigas ou em paredes por toda a extensão de sua borda.

No Brasil, costuma-se chamar de “laje maciça” as lajes apoiadas nas bordas. No entanto, a laje lisa e a laje de cogumelo também são classificadas como lajes maciças, a diferença é que nestas as ações são transferidas diretamente aos pilares, ou seja, sem intercessão de apoio nas bordas.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), as lajes maciças devem respeitar alguns limites mínimos. As espessuras podem variar de 7 a 15 cm dependendo do uso da laje e podem ser projetadas para os mais diversos tipos de construção, como edifícios de inúmeros pavimentos, muros de arrimo, escadas, reservatórios, construções de grande porte, pontes de grandes vãos etc.

Figura 01 – Laje maciça apoiada sobre vigas.



Fonte: Lopes (2012).

Diante os conceitos apresentados, Lopes (2012) listou as vantagens e desvantagens relacionadas a lajes maciças de concreto armado (Quadro 01).

Quadro 01 – Vantagens e desvantagens da laje maciça.

Vantagens	Desvantagens
Oferece funções de placa e membrana;	Alto consumo de formas, escoras, concreto e aço;
Boa eficiência quanto a capacidade de redistribuir esforços;	Peso próprio bastante alto, ocasionando maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
Adequada a particularidades estruturais (por exemplo: um, dois ou três bordas livres);	Necessário a utilização de diversos tipos de mão de obra (carpinteiro, armador, pedreiro e servente);
Boa rigidez à estrutura de contraventamento, uma vez que pode haver a existência de muitas vigas, formando vários pórticos;	Pode haver alta disseminação de ruídos entre os pavimentos;
Sistema estrutural muito utilizado nas construções de concreto, facilitando assim, o acesso a mão de obra bem treinada;	Devido a espessura média de concreto exigida, pode haver limitação da aplicação em grandes vãos;
Diminui a ocorrência de fissuras e trincas, já que, depois de curado, o concreto se converte em um monobloco, dilatando e contraindo de forma uniforme.	Custo relativamente elevado.

Fonte: Adaptado de Lopes (2012).

Conforme Lopes (2012), os materiais constituintes das lajes maciças de concreto armado que permitem que elas atendam às necessidades de vãos e ações a serem suportadas nas condições descritas acima, nada mais são que aço e concreto.

O processo de execução da laje maciça é relativamente simples. De acordo com Lopes (2012) utiliza-se as formas com a finalidade de dar forma e sustentação antes que o concreto atinja a resistência suficiente para se suportar e estas podem ser de madeira ou chapas de aço. Assim como todas as lajes, é necessário a utilização de escoras e estas podem ser de madeira, eucalipto tratado ou até mesmo metálicas.

2.2. Laje Nervurada

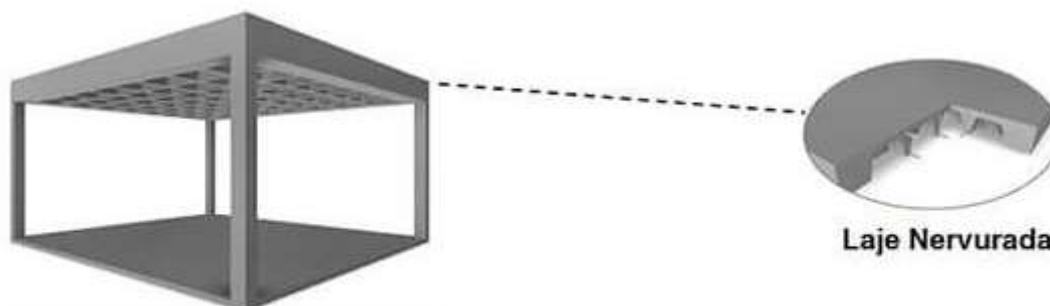
Segundo Bastos (2015), lajes nervuradas são lajes de concreto armado moldadas in loco ou com nervuras pré-moldadas, constituídas por uma ou duas mesas e por nervuras posicionadas em uma ou em duas direções, nessas nervuras ficam posicionadas as armaduras de tração e a mesa pode ser abaixo ou acima das nervuras.

Partindo do princípio de que abaixo da linha neutra há uma região onde o concreto não contribui para a resistência a flexão, Bastos (2015) complementa que, essa região pode ser substituída por materiais de enchimento leves, inertes e sem função estrutural ou até mesmo permanecer vazio.

As lajes com as nervuras pré-moldadas devem atender ao item 13.2.4.2 da ABNT NBR 6118 (2014), o qual recomenda que a espessura da mesa, quando não houver tubulações embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm. Quando houver tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm, o valor mínimo da espessura da mesa deve ser de 5 cm. A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm e nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

A ABNT NBR 6118 (2014) ainda sugere que, se não atendidas essas hipóteses, o elemento estrutural deve ser analisado sendo a capa uma laje maciça e as nervuras uma grelha de vigas.

Figura 02 – Laje nervurada



Fonte: Atex Brasil (2021).

Conforme Ferreira da Silva (2005), algumas vantagens e desvantagens da utilização de lajes nervuradas moldadas de concreto armado podem ser descritas a seguir no (Quadro 02).

Quadro 02 – Vantagens e desvantagens da laje nervurada.

Vantagens	Desvantagens
Permitem grandes vãos, facilitando a manobra em garagens onde os pilares podem ocupar regiões que serviriam para vagas de veículos;	Habitualmente aumentam a altura total da edificação;
A sua construção se assemelha a de lajes maciça o que faz com que a mão de obra empregada seja de fácil acesso, diferente de lajes protendidas que exigem técnicas especiais de construção;	Pode haver dificuldade de compatibilização com outros sistemas (instalações, vedações etc.);
Possuem uma grande variedade de aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residências, educacionais, hospitalares, garagens, shopping center etc.;	Construção com um número maior de procedimentos de execução;
Permitem a utilização de alguns instrumentos de eficiência, como o uso de telas para a armadura de distribuição e a utilização de instalações elétricas embutidas;	Complexidade em projetar uma estrutura modular única para todo o pavimento, de maneira que as nervuras tenham o mesmo espaçamento;
Se adequam aos sistemas de lajes sem vigas, devendo permanecer maciça apenas nas regiões dos pilares, onde se concentram-se os esforços;	Necessitam de maiores cuidados durante sua concretagem, a fim de evitar vazios nas nervuras, que usualmente são de pequenas larguras;
Por suas características, grande altura e pequeno peso próprio, são adequadas para grandes vãos.	Resistencia diferente na seção transversal em relação aos momentos, exigindo cálculos mais elaborados.

Fonte: Adaptado de Silva (2005).

Oliveira (2013) diz que, para a execução das nervuras da laje nervurada, deve-se usar fôrmas de plástico que após a concretagem são removidas deixando assim, espaços vazios. Esses espaços podem ser ou não preenchidos com material inerte, ficando a cargo do projetista escolher. Os elementos de preenchimento não têm função estrutural e são colocados entre as nervuras na zona de tração para momentos positivos nas lajes moldadas in loco ou em lajes pré-fabricadas.

De acordo com Silva (2005), para que haja os espaços vazios entre as nervuras vinham-se utilizando fôrmas de madeira, entretanto, devido aos altos custos desse material e dificuldade de elaboração distinta, passou-se a utilizar as fôrmas de polipropileno reaproveitáveis, que além de leves e de fácil manuseio, proporcionam boa precisão dimensional e um bom acabamento. A desforma acontece de maneira simples e manual após 72 horas do lançamento do concreto, sem a exigência de uso de ar comprimido, o que faz com que a estrutura tenha um excelente acabamento, muitas vezes podendo dispensar revestimentos ou pinturas. Hoje em dia, existem empresas que alugam essas fôrmas e o próprio sistema de escoramento, geralmente metálicos. Este é o caso da Atex Brasil, empresa consultada para a elaboração do orçamento da laje nervurada, apresentada no trabalho.

Figura 03 – Forma bidirecional para laje nervurada.



Fonte: Atex Brasil (2022).

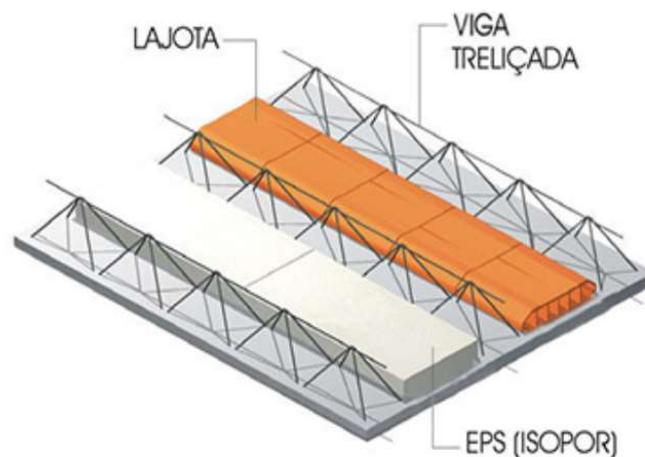
2.3. Laje Trelaçada

De acordo com Muniz (1991), a laje trelaçada surgiu após a segunda guerra mundial com o propósito de ajudar na reconstrução das cidades e tem sido utilizada em larga escala em vários países assim como no Brasil.

Além de ser uma opção mais econômica em relação a laje maciça, a laje trelaçada permite vencer grandes vãos com menor peso próprio e redução de mão de obra durante sua execução.

Esse tipo de laje é formado por uma estrutura de ferro em formato de treliça, chamada de vigota, onde o banzo inferior é constituído por duas barras e o banzo superior por apenas uma barra. Estes são unidos por barras inclinadas soldadas por eletro fusão e as barras do banzo inferior são envolvidas por uma placa fina de concreto. As vigotas juntamente com os elementos de enchimento, que podem ser blocos cerâmicos, blocos de EPS ou blocos de concreto, formam a estrutura da laje que depois é preenchida com concreto. Esses elementos unidos e solidificados, segundo Gonzalez (1997), formam uma estrutura monolítica, que nada mais é que uma estrutura onde todos os elementos se transformam em uma única peça.

Figura 04 – Esquematização de laje treliçada.



Fonte: Mapa da obra (2021).

Segundo Muniz (1991) as principais vantagens e desvantagens da laje treliçada podem ser listadas no (Quadro 03).

Quadro 03 – Vantagens e desvantagens da laje treliçada.

Vantagens	Desvantagens
Diminuição do peso da laje o que faz com que o peso da estrutura diminua, aliviando assim as cargas que vão para fundação;	Custo de transporte alto dependendo da distância entre a fábrica e a obra;
Redução de formas, o que acarreta economia de madeiramento e evita desperdícios;	É necessário equipamentos para o içamento das vigotas;

Pequena diminuição de escoramento;	Costumam aumentar a altura total da edificação;
Redução a quantidade de materiais em estoque e a movimentação no canteiro de obras;	Aumentam as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedação, entre outros);
Diminuição dos custos de mão de obra especializadas como ferreiros e carpinteiros;	Dificuldade em projetar uma estrutura única para todo o pavimento de maneira que o espaçamento seja sempre o mesmo;
Redução no prazo de execução;	Dificuldade na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação durante a concretagem.
A forma possui poucas vigas, facilitando a execução.	

Fonte: Adaptado Muniz, 1991.

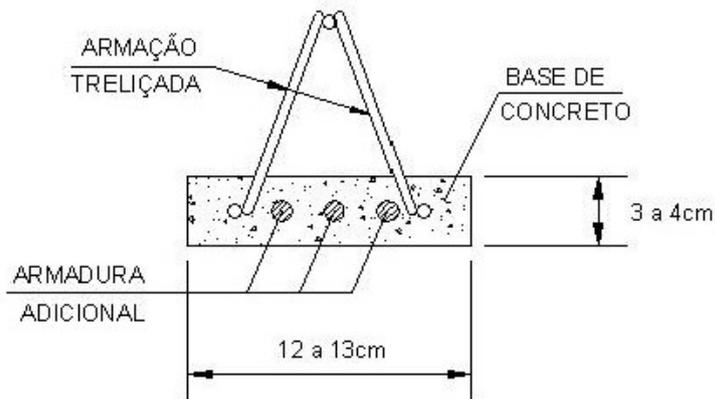
Na laje treliçada, além do concreto, utilizamos as vigotas treliçadas e os blocos de enchimento. O item 3.1 da ABNT NBR 14859-3 (2017), diz que, as vigotas treliçadas possuem forma de estrutura espacial prismática, formadas por dois fios ou barras de aço paralelos longitudinais na base denominado de banzo inferior, e um fio ou barra longitudinal no topo, chamado de banzo superior, estes são interligados por eletrofusão aos dois fios diagonais, denominado sinusoides, com espaçamento regular, chamado de passo. A padronização de tais treliças são de acordo com sua altura e bitolas utilizadas. O item 4.1.1 da norma prescreve para a altura da treliça 8 cm a 30 cm.

Cunha (2012) complementa que, a medida da base de concreto das vigotas com armação treliçada varia de 12cm a 13cm de largura e a 3 cm a 4cm de altura. O concreto a ser utilizado deve ter no mínimo uma resistência característica a compressão de 20 MPa, há ainda a possibilidade de conter uma armadura adicional na base, encomendada pelo engenheiro estrutural.

Segundo Bastos (2015), pode-se utilizar na capa uma armadura complementar, que fica posicionada transversalmente às nervuras e sobre o banzo superior da treliça. A armadura complementar possui a função de aumentar a resistência de flexão da mesa e faz com que as nervuras trabalhem em conjunto, formando uma seção T.

Já os blocos de enchimento, de acordo com Bastos (2015), exercem a função de dar forma ao concreto, proporcionando superfícies inferiores lisas. Estes devem ser leves e de baixo custo, sendo mais comum a utilização de material cerâmico ou EPS. Consequentemente por serem mais leve que o concreto, os blocos de enchimento reduzem o peso das lajes.

Figura 05 – Vigota com armação treliçada.



Fonte: Cunha (2012).

3 METODOLOGIA

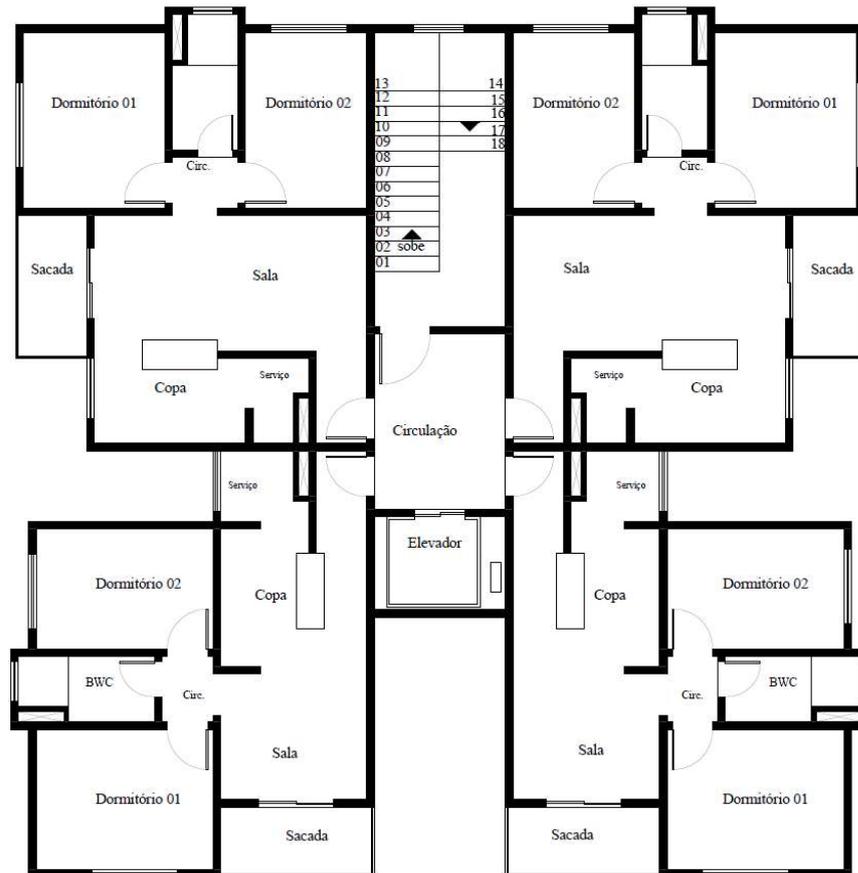
A metodologia de estudo do trabalho tem abordagem quantitativa e exploratória, apresentando um estudo de caso que visa analisar o custo entre lajes maciças, nervuradas e treliçadas no município de Dourados – MS. Serão comparados os custos dos principais materiais e, por fim, será feita uma análise de custo global.

Primeiramente, foram definidos os três tipos de sistemas estruturais para lajes, sendo eles, laje maciça, nervurada e treliçada, exibindo os conceitos e as principais vantagens e desvantagens de cada sistema.

Em seguida, foi escolhido um pavimento-tipo de um edifício para ser utilizado como base para as concepções estruturais de cada um dos sistemas em análise. Na etapa seguinte, realiza-se a cotação dos principais materiais e análise dos custos globais de cada sistema estrutural.

O pavimento em estudo possui quatro apartamentos de 58,32 m², por andar, contendo sala, cozinha, área de serviço, sacada, dois dormitórios e um banheiro social. Cada pavimento contém 254,10 m² de área construída, sendo de uma obra de alto/médio padrão que atende a cidade de Dourados – MS. A Figura 06 apresenta a planta baixa do pavimento tipo do empreendimento.

Figura 06 – Planta baixa do pavimento tipo.



Fonte: Autor, 2021.

O concreto a ser utilizado nas cotações corresponde ao $f_{ck} = 35 \text{ Mpa}$, estando dentro dos limites estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (2014), onde na tabela 7.1 classifica a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

A treliça H12 foi determinada pelo fornecedor consultado, e a capa de concreto escolhida foi de 5 cm.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As cotações dos materiais utilizados, aço e concreto, foram feitas na cidade de Dourados – MS em fornecedores específicos desses materiais. As lojas escolhidas atendem toda a região da cidade, além de cidades vizinhas. Afim de se chegar a uma média de preços de cada produto, três lojas foram escolhidas e todos os preços foram cotados e orçados no mês de abril de 2022.

Para as formas da laje nervurada, visto que o Mato Grosso do Sul não possui empresas nesse ramo, a Atex Brasil foi escolhida para a cotação. Esta empresa possui matriz em São Paulo – SP, sendo pioneira no Brasil na tecnologia de fôrmas plásticas para lajes nervuradas e hoje atua em três continentes com sede em sete países.

Para a cotação foram considerados todas as lajes com altura de 20 cm para fins de análise, uma vez que essa altura foi recomendada por dois fornecedores.

4.1. Cotação de aço

As cotações de aço foram feitas em três lojas específicas de aço, onde foram orçados o Aço CA50 em quilogramas (kg) e obteve-se uma média podendo ser observada na (Tabela 01).

Tabela 01 – Cotação de aço.

Lojas	Preço (R\$)
Loja I	9,26
Loja II	9,50
Loja III	9,30
Média	9,35

Fonte: Autor, 2022.

O valor do quilograma do aço CA50 é de R\$9,35 de acordo com a média obtida das três empresas solicitadas.

Ao adaptar o comparativo de consumo entre laje maciça e nervurada, de acordo com Atex (2017), pode-se considerar, aço CA50 = $8,37\text{kg/m}^2 \times \text{R}\$9,35/\text{kg} = \text{R}\$78,26/\text{m}^2$ para a laje maciça de $h = 20$ cm.

Ao adaptar o comparativo de consumo entre laje maciça e nervurada, de acordo com Atex (2017), pode-se considerar, aço CA50 = $3,37\text{kg/m}^2 \times \text{R}\$9,35/\text{kg} = \text{R}\$31,50/\text{m}^2$ para a laje nervurada Atex 600/15 + 5 = 20 cm.

Segundo o fornecedor consultado, pode-se considerar como armadura complementar a aplicação de malha pop 20x20 cm, onde, aço CA60 = $0,87\text{kg/m}^2 \times \text{R}\$10,69/\text{kg} = \text{R}\$9,30/\text{m}^2$ para a laje treliçada de $h = 20$ cm.

4.2. Cotação de concreto

O preço unitário do metro cúbico de concreto foi orçado em três concreteiras da cidade, para cada tipo de laje foi utilizado o concreto de resistência 35MPa, como mostra a (Tabela 02).

Tabela 02 – Cotação de concreto.

Lojas	Preço (R\$)
Concreteira I	530,00
Concreteira II	540,00
Concreteira III	560,00
Média	544,00

Fonte: Autor, 2022.

O valor do metro cúbico do concreto não apresentou grande diferença, logo, foi considerado a média de valor das três concreteiras para a análise do custo.

Considerando o concreto de fck 35 MPa = $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{R}\$544,00 = \text{R}\$108,80/\text{m}^2$ para a laje maciça de $h = 20 \text{ cm}$.

Considerando o concreto de fck 35 MPa = $0,113 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{R}\$544,00 = \text{R}\$61,47/\text{m}^2$ para a laje nervurada com forma Atex 600/15 + 5 = 20 cm.

Considerando o concreto de fck 35 MPa = $0,095 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{R}\$544,00 = \text{R}\$51,68/\text{m}^2$ para a laje treliçada de $h = 20 \text{ cm}$.

4.3. Cotação de forma polipropileno

A forma escolhida para análise e comparação de custo foi a Atex 600. De acordo com a Atex Brasil (2017), os modelos são comercializados em diferentes alturas, o que possibilita variedade de projetos e por serem autoportantes, prescindem o uso de compensados de madeira. Na tabela 03 é possível observar as especificações técnicas da Atex 600.

Tabela 03 – Especificações técnicas Atex 600.

Altura do Molde	Espessura da Lâmina	Altura Total	Largura da Nervura			Área da Seção	Distância do C. G à		Inércia		Volume do Vazio		Peso Próprio	Volume de Concreto
			Inferior	Superior	Média		Face Superior	Face Inferior	Inércia para nervurada	Altura equivalente	m³	m³/m²		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm²	cm	cm	cm⁴	cm	m³	m³/m²	KN/m²	m³/m²
15,0	5,0	20,0	6,0	9,8	7,9	418	5,2	14,8	10290	12,7	0,041	0,113	2,18	0,087
18,0	5,0	23,0	8,0	12,5	10,3	485	6,6	16,4	18954	15,6	0,045	0,124	2,65	0,106

Fonte: Adaptado de Atex Brasil (2022).

A empresa possibilita a locação e a compra das formas, visto que, o foco é a análise de apenas um edifício, a locação é o mais recomendado para este caso. O valor de locação por dia de cada forma é de R\$1,08 e para 1 metro quadrado são utilizadas 8 formas, de

acordo com o fornecedor. Logo, tem-se 5 formas por metro quadrado ao preço de R\$8,64/m².

4.4. Cotação de vigota treliçada

As vigotas treliçadas de altura igual a 12 cm foram orçadas em metros quadrados, e o valor obtido foi de R\$58,30/m². Esse valor corresponde a treliça juntamente com o enchimento de EPS.

4.5. Preço final

O custo total dos materiais gastos, aço e concreto, adicionando os materiais específicos de cada sistema, replicado pelo número de pavimentos pode ser observado nas tabelas a seguir.

Conforme a Tabela 04, para a laje maciça, foram considerados aço CA50 e concreto de fck = 35 MPa.

Tabela 04 – Custos de materiais da laje maciça.

Área do pavimento	Preço do aço por m ²	Preço do concreto por m ²	Valor total por pavimento
254,10 m ²	R\$ 78,26	R\$ 108,80	R\$ 47.531,95

Fonte: Autor, 2022.

O valor do aço usado na laje maciça é de R\$19.885,87, somado ao valor de R\$27.646,08 do concreto, temos o valor de R\$47.531,95 por pavimento.

Para a laje nervurada, foram considerados aço CA50, concreto de fck = 35MPa e as formas de polipropileno Atex 600, conforme Tabela 05.

Tabela 05 – Custos de materiais da laje nervurada.

Área do pavimento	Preço do aço por m ²	Preço do concreto por m ²	Preço Atex 600 por m ²	Valor total por pavimento
254,10 m ²	R\$ 31,50	R\$ 61,47	R\$ 25,92	R\$ 30.209,95

Fonte: Autor, 2022.

O valor do aço usado na laje nervurada é de R\$8.004,15, somado ao valor de R\$15.619,53 do concreto, temos o valor de R\$23.623,68. Considerando o valor da locação

de formas por um período de três dias, recomendado pelo fornecedor, obtemos um total de R\$30.090,52 por pavimento.

Já na laje treliçada, foram considerados aço CA50, concreto de fck = 35 MPa, vigotas treliçadas de h = 12 cm e preenchimento de EPS de 15 cm, conforme Tabela 06.

Tabela 06 - Custos de materiais da laje treliçada.

Área do pavimento	Preço do aço por m ²	Preço do concreto por m ²	Preço da treliça + EPS por m ²	Valor total por pavimento
254,10 m ²	R\$ 10,69	R\$ 51,68	R\$ 58,30	R\$ 30.662,25

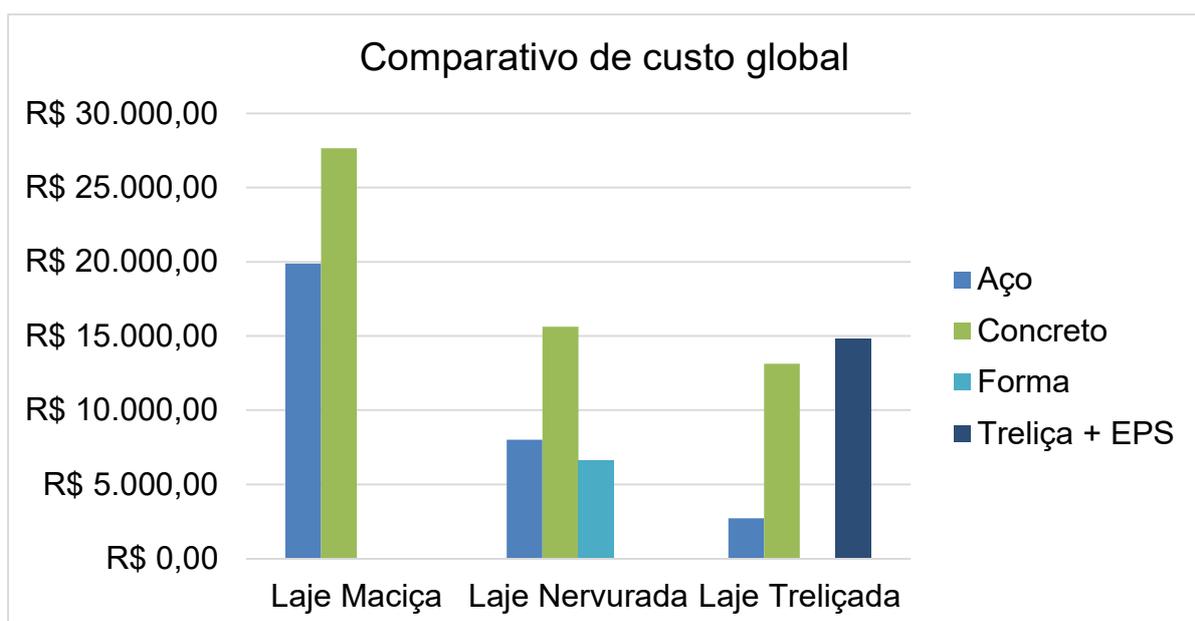
Fonte: Autor, 2022.

O valor do aço utilizado como armadura adicional na laje treliçada é de R\$2.716,33 somado ao valor de R\$13.131,89 do concreto e R\$14.814,03 da treliça e EPS, obtêm-se o valor total de R\$30.662,25 por pavimento.

Fazendo uma análise de custo de aço e concreto para cada sistema de laje, levando em consideração apenas um pavimento, pode-se observar que a laje treliçada apresentou um melhor resultado.

No entanto, ao fazer uma análise de custo global, onde foram analisados outros materiais além de aço e concreto, o sistema de laje que apresentou um menor custo foi a laje nervurada. A Figura 07 mostra o comparativo de custo global de todos esses materiais.

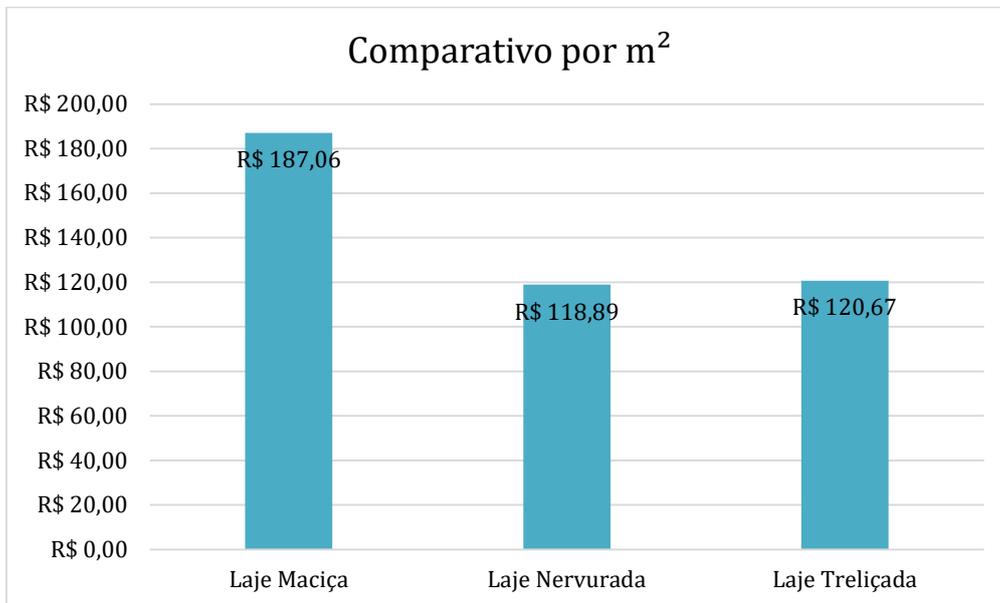
Figura 07 – Gráfico comparativo de custo global.



Fonte: Autor, 2022.

É possível notar que a laje nervurada obteve um menor custo por m² em relação aos três sistemas, mas a diferença não foi muito significativa em relação a laje treliçada. A Figura 08 apresenta os valores totais de cada sistema analisado.

Figura 08 – Gráfico comparativo de lajes por m²



Fonte: Autor, 2022.

Os escoramentos não foram levados em consideração, visto que, não apresentariam grande variação de custo nos três sistemas.

5 CONCLUSÃO

A análise de custos é uma ferramenta estratégica para construção de qualquer empreendimento sendo residencial ou não. Essa ferramenta se torna indispensável para que o construtor consiga gerar uma economia na construção e, por consequência, reduzir a quantidade de materiais utilizados na obra.

O comparativo de custo global dos materiais revelou que a laje nervurada apresentou um melhor resultado em relação aos outros sistemas, mas a diferença do m² não foi tão grande em relação a laje treliçada, ficando apenas R\$1,78 mais barata. Entretanto essa economia gerada poderia ser maior levando em consideração a área total do pavimento, bem como a quantidade real de andares de um edifício.

Pode-se notar que ao analisar apenas aço e concreto o sistema mais econômico seria a laje treliçada, porém ao analisar os outros materiais esse sistema se torna mais caro.

Portanto, perante as análises, a laje nervurada apresentou uma melhor performance no custo total e gerou economia ao final. Considerando que a laje treliçada e nervurada apresentaram resultados semelhantes, sugere-se que, em trabalhos futuros, seja analisado o alívio de carga na estrutura de vigas e pilares que estes dois sistemas podem causar em relação a laje maciça, justificando assim a sua utilização.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por iluminar e guiar todo o caminho que percorri até aqui.

Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim, João e Solange, a minha irmã Gabriela e a minha avó Josefa. A minha tia Valéria que sempre me apoiou e me acalmou com suas palavras carinhosas.

Agradeço o meu professor orientador, André Felipe pela disponibilidade por me orientar e ter transmitido todo conhecimento no decorrer do curso e da orientação.

A todos os amigos que fiz durante a graduação e que de alguma forma tornou essa jornada mais fácil e prazerosa.

Agradeço aos meus ex-chefes, Jéssica e Jordano, pela oportunidade de trabalhar e se desenvolver nessa área que escolhi como profissão.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-3**: Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3: Armadura treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. Rio de Janeiro/RJ, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro/RJ, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro/RJ, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro/RJ, 2015.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto**. Notas de aula - Disciplina: 2117 - Estruturas de concreto I. Departamento de Engenharia Civil - Faculdade De Engenharia - Universidade Estadual Paulista. São Paulo/SP, 2015.

BRASIL. **Lei complementar nº 205, de 19 de outubro de 2012**. Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo e o Sistema Viário no Município de Dourados e dá outras providências. Dourados/MS, 2012.

CUNHA, M. O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, 2012.

GONZALEZ, R. L. M. **Análise de lajes pela teoria das charneiras plásticas e comparação de custos entre lajes maciças e lajes treliçadas**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, 1997.

GUEDES, M. **Mercado imobiliário prevê alta de mais de R\$ 11 bilhões em vendas no Brasil neste ano**. Rio de Janeiro/RJ, 2021. Disponível em: cnnbrasil.com.br

LAJES Nervuradas bidirecionais. **Atex Brasil**. São Paulo/SP, 2022. Disponível em: atex.com.br

LOPES, A. F. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru/PE, 2012.

MUNIZ, C. E. **Mais competitivas: lajes treliçadas**. Revista IBRACON, v.1, n.1, p.19-21, julho, agosto. São Paulo/SP, 1991.

OLIVEIRA, M. J. R. **Projeto de lajes nervuradas de concreto armado**. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador/BA, 2013.

SILVA, M. A. F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. Dissertação (Pós-Graduação). Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos. São Carlos/SP, 2005.

TERRA, M. C. **Laje nervurada sempre o menor custo**. e-Book. Atex Brasil. São Paulo/SP, 2022. Disponível em: atex.com.br