



<http://revistarebram.com/index.php/revistauniara>

## DESEMPENHO DE DIFERENTES TIPOS DE LAJES DE CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO CONSIDERANDO SUAS APLICAÇÕES EM UM EDIFÍCIO DE SALAS DE AULA

Leandro Vanalli\*; Felipe Alves Santos\*\*; Ygor Moriel Neuberger\*\*\*.

\* Mestre em Engenharia de Estruturas e Doutor em Engenharia de Estruturas. Universidade Estadual de Maringá.

\*\* Engenheiro Civil, Universidade do Estado do Mato Grosso - UEMT.

\*\*\* Mestrando em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, UFG, Brasil.

\*Autor para correspondência e-mail: [lvnalli@uem.br](mailto:lvnalli@uem.br)

### PALAVRAS-CHAVE

Concreto Armado  
Projeto Estrutural  
Lajes

### KEYWORDS

Reinforced Concrete  
Structural Designs  
Slabs

**RESUMO:** Na elaboração de projetos na Construção Civil, engenheiros e arquitetos defrontam-se com várias alternativas de sistemas de lajes, as quais podem representar sensíveis resultados no custo e na qualidade da edificação. É notável a indecisão dos profissionais do setor construtivo devido à escassez de parâmetros que possam ser seguidos, de modo que a escolha recaia na que melhor atenderá as exigências da edificação. Diante disto, o presente artigo tem como objetivo analisar o desempenho, em termos de viabilidade econômica e de deslocamentos, de quatro sistemas diferentes de lajes de concreto armado, sendo eles: o de lajes com treliças, com vigotas protendidas, com nervuras bidirecionais e do tipo maciça, por meio do dimensionamento estrutural em função de um projeto modelo de uma edificação destinada para salas de aulas. Para o dimensionamento foi utilizado o software AltoQi Eberick®, em sua versão acadêmica e, a partir dos resultados, as lajes foram orçadas com base nas planilhas SINAPI, utilizadas nacionalmente para a avaliação de financiamentos pela Caixa Econômica Federal, sendo feito o comparativo apontando o sistema estrutural mais viável economicamente para o projeto modelo. Os resultados apontam que as lajes pré-moldadas se mostraram de maior viabilidade econômica, principalmente o sistema em laje treliçada. No entanto, todos os sistemas demonstraram particularidades singulares que são informações importantes para os projetistas em concreto armado.

### PERFORMANCE OF DIFFERENT TYPES OF ARMED CONCRETE SLABS: A STUDY CONSIDERING THEIR APPLICATIONS IN A CLASSROOM BUILDING

**ABSTRACT:** In the design of Civil Construction projects, engineers and architects are faced with several alternatives of slab systems, which can represent significant results in the cost and quality of the building. The indecision of professionals in the construction sector is notable due to the scarcity of parameters that can be followed, so that the choice falls on the one that will best meet the building requirements. Therefore, this article aims to analyze the performance, in terms of economic viability and displacements, of four different reinforced concrete slab systems, they are: the one with slabs with trusses, with prestressed joists, with bidirectional ribs and of the massive type, through the structural dimensioning according to a model project of a building destined for classrooms. For the design, the AltoQi Eberick® software, in its academic version, was used and, from the results, the slabs were budgeted based on the SINAPI spreadsheets, used nationally for the evaluation of financing by “Caixa Econômica Federal”, with the comparison being made pointing out the most economically viable structural system for the model project. The results show that the precast slabs proved to be more economically viable, mainly the lattice slab system. However, all systems have demonstrated unique features that are important information for designers in reinforced concrete.

Recebido em: 03/02/2022

Aprovação final em: 06/04/2022

DOI: <https://doi.org/10.25061/2527-2675/ReBraM/2022.v25i2.988>

## INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas numéricas para a resolução de problemas de Engenharia é atualmente imprescindível. Cada vez mais a análise de tais problemas passa a ser feita através de técnicas cujo emprego necessita do computador para permitir a obtenção de soluções confiáveis. Como em qualquer atividade, hoje a computação aparece como a grande responsável pelo desenvolvimento das técnicas numéricas, tornando possível uma análise cada vez mais próxima da realidade de problemas físicos relacionados com a Engenharia, permitindo assim uma modelagem estrutural mais precisa.

Desta forma, a segurança envolvida nos mais variados projetos tende a aumentar, sem mencionar, é claro, o próprio fato da automação reduzir, em muito, os erros humanos e possibilitar a consideração de parâmetros até então desprezados. Com isso, o tema modelagem numérica estrutural (PADMARA-JAIAH; RAMASWAMY, 2002) torna-se cada vez mais importante, seja do ponto de vista ambiental, de segurança (SOUZA; ARAUJO, 2011), de conforto e salubridade, lazer e moradia, seja do ponto de vista da qualidade do produto a ser oferecido à sociedade (STRAMANDINOLI, 2007), ou mesmo da ótica do desenvolvimento da Engenharia. Essa, por sua vez, pode ser definida como a arte de se fazer engenhos ou, até mesmo, a arte de resolver problemas (BAZZO; PEREIRA, 2006).

Segundo Cocian (2017), a história da civilização está ligada ao desenvolvimento da engenharia, por meio do emprego de métodos e técnicas para construir, transformar materiais ou fabricar ferramentas. Desde os primórdios da humanidade, o homem depara-se com situações que exigem a resolução de problemas, buscando-se melhorias na qualidade de vida e bem-estar (LUCA *et al.*, 2018, MACEDO; SAPUNARU, 2016). A partir do momento em que o homem existe sobre a terra, ele tem a necessidade de construir moradias que oferecem conforto e segurança, demanda que fomenta o desenvolvimento de novas tecnologias (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014). Entre elas, por exemplo, o cimento Portland que permitiu a criação da rocha artificial concreto (KAEFER, 1998).

Especificamente sobre as estruturas de concreto armado, os projetos estruturais de dimensionamento são baseados em hipóteses de comportamento elástico dos materiais aço e concreto (PRADO, 2004). Segundo Madureira e Ávila (2012), parte-se de uma geometria inicial para os diversos elementos estruturais e com isso obtêm-se os esforços solicitantes em toda a estrutura, bem como as reações nos apoios. Uma vez encontrados esses esforços, a quantidade de armadura é então calculada para cada elemento estrutural no processo conhecido como dimensionamento. Essa abordagem está consolidada no meio técnico da engenharia e constitui-se na ferramenta mais prática para projetos de estruturas de edifícios em concreto armado, os quais devem considerar ainda aspectos como a estética, funcionalidade do projeto arquitetônico, esforços atuantes, métodos construtivos e custos (SPOHR, 2008).

O custo é um dos principais fatores analisados no momento da escolha da concepção estrutural e, para defini-la, deve-se escolher o método executivo levando em consideração o consumo de concreto, de fôrmas, de armaduras, mão de obra, tempo de execução e outros aspectos, para que seja definido o método a ser utilizado (CARVALHO, 2012). Devido à grande variedade de sistemas estruturais disponíveis, geralmente a escolha não se adapta às condições específicas da edificação, pois cada obra possui características particulares, dificultando a utilização de um modelo padrão cabendo ao projetista a responsabilidade da opção mais adequada para cada tipo de obra (NAPPI, 1993).

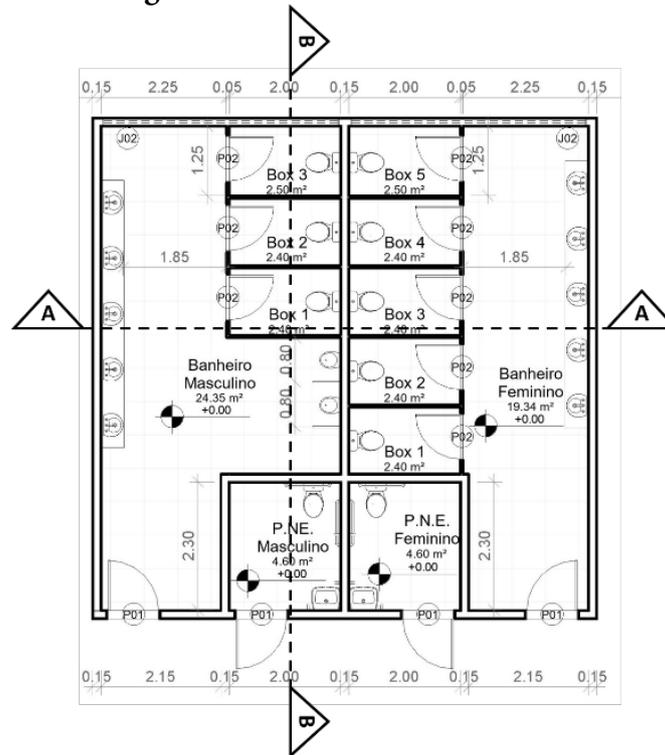
Nesse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar o desempenho, em termos de viabilidade econômica e de deslocamentos, de quatro sistemas diferentes de lajes de concreto armado, sendo eles: o de lajes com treliças, com vigotas protendidas, com nervuras bidirecionais e do tipo maciça, por meio do dimensionamento estrutural de uma edificação destinada para salas de aulas. Para o dimensionamento das lajes foi utilizado o *software* AltoQi Eberick<sup>1</sup>, formulado em Elementos Finitos de barra, em sua versão acadêmica, bem como, por meio de planilhas eletrônicas com equações analíticas de equilíbrio e, a partir

<sup>1</sup> Eberick versão 2020. Software destinado ao projeto de edificações em concreto armado, de análise, dimensionamento e detalhamento estrutural – AltoQi, 2020.



Portanto, de acordo com a Equação 01, são necessárias 10 instalações totais, sendo 5 instalações para cada sexo, compostas por bacias sanitárias e lavatórios. Além disso, segundo a NBR 9050:2004 – Acessibilidade a edificações e equipamentos urbanos, pelo menos 5% das instalações, com no mínimo um para cada sexo, devem ser acessíveis. Assim, seguindo as dimensões estabelecidas pela NBR 9050:2004, os conjuntos sanitários masculinos, femininos e para portadores de necessidades especiais – P.N.E., ficaram com a seguinte configuração (Figura 2).

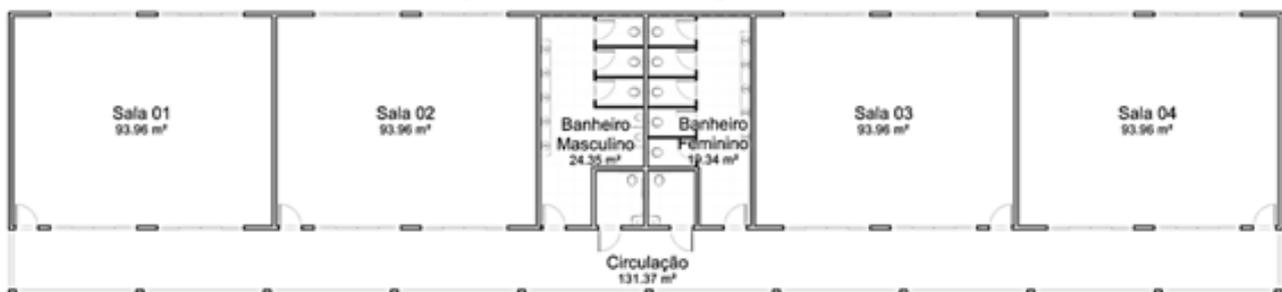
**Figura 2 – Planta baixa - banheiros.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

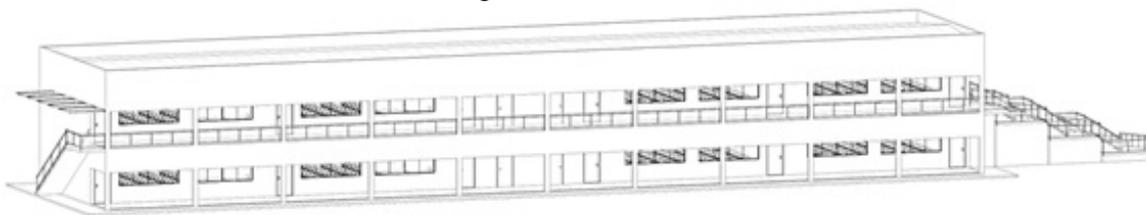
Com a definição das dimensões de salas e banheiros, obteve-se a planta baixa final do projeto modelo para dimensionamento, como apresentado pelas Figuras 3 e 4.

**Figura 3 – Modelo arquitetônico.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Figura 4 – Vista 3D



Fonte: Elaborado pelos autores.

### DIMENSIONAMENTO

Foram utilizadas normativas para o levantamento de cargas, seguido do dimensionamento através de planilha eletrônica das lajes treliçadas e vigotas protendidas e, por fim, os lançamentos das quatro opções de projetos estruturais na ferramenta de cálculo Eberick<sup>®</sup>, cada projeto, com uma técnica diferente para fabricação das lajes.

### LEVANTAMENTO DE CARGAS

Para o levantamento de cargas foi utilizado a Norma Brasileira NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, a qual regulamenta os carregamentos a serem considerados na estrutura. Foram consideradas no projeto, as cargas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Cargas adotadas.

Cargas	Local	Carga
Variáveis	Instituição de ensino – sala de aula	3 kN/m <sup>2</sup>
	Instituição de ensino – sanitários	2 kN/m <sup>2</sup>
	Instituição de ensino – corredor	3 kN/m <sup>2</sup>
	Cobertura – com acesso apenas para manutenção	1 kN/m <sup>2</sup>
	Guarda-corpo	2 kN/m
Permanentes	Revestimentos de pisos de edifícios, 5 cm de espessura	1 kN/m <sup>2</sup>
	Telhado composto por telha ondulada e estrutura metálica	0,4 kN/m <sup>2</sup>
	Guarda-corpo	1 kN/m
	Carga de Alvenaria – sem reboco	13 kN/m
	Reboco – argamassa cimento e areia, com espessura de 1,5 cm por face	0,63 kN/m <sup>2</sup>

Fonte: NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.

### DIMENSIONAMENTO DE LAJES TRELIÇADAS

O dimensionamento das lajes treliçadas foi realizado conforme a metodologia de cálculo de Carvalho e Figueiredo Filho (2014), que segue as prescrições da NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Para o cálculo de dimensionamento, foi utilizado o *software* de planilha eletrônica, *Microsoft Excel*, sendo feito o dimensionamento, a verificação de esforços cortantes e a verificação de flechas excessivas.

Para se realizar os cálculos, foi necessário definir os planos de laje, obtendo-se os vãos, e com as cargas variáveis e permanentes, através do dimensionamento, definiu-se treliças pré-moldadas, com suas respectivas barras de aço e enchimento de EPS. Além disso, também foi calculado as cargas que as lajes aplicam nas vigas paralelas e perpendiculares.

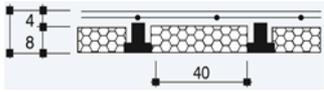
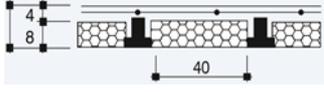
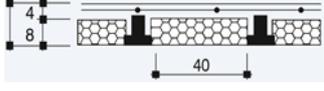
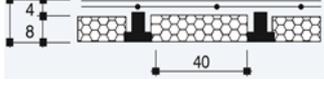
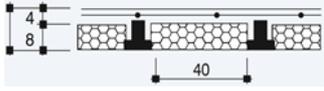
Em geral, os *softwares* de cálculo estrutural presentes no mercado, realizam o cálculo de lajes treliçadas, entretanto, usualmente esse cálculo é feito considerando a continuidade das vigotas. De acordo com

Cunha (2012), as continuidades entre lajes provocam momentos negativos, diminuindo o momento fletor positivo, resultando em menores flechas e deformações. Mas, na execução em obra, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2014), é difícil garantir o posicionamento correto da armadura negativa (devido a movimentação de operários, por exemplo, ela pode se deslocar).

### DIMENSIONAMENTO DE VIGOTAS PROTENDIDAS

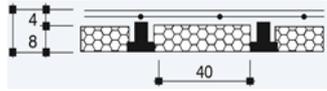
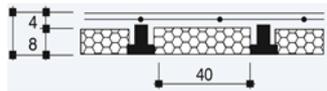
Para realizar o dimensionamento, foi definido os chamados panos das lajes, e utilizando a tabela de dimensionamento de vigotas protendidas, fornecidas pela empresa Lajes Protendidas Tamoyo, com dados de sobrecargas e vãos, definiu-se as vigotas protendidas e seus respectivos enchimentos de EPS. O Quadro 2 mostra os vãos e os carregamentos considerados para a definição de cada vigota, escolhidas de acordo com as especificações de cada uma delas.

**Quadro 2 – Vigotas protendidas.**

Laje	Vão (m)	Aplicação	Sobrecarga (Kgf/m <sup>2</sup> )	Vigota Adotada
L1, L2, L5 e L6	8,85	Piso	400	
L3 e L4	4,45	Piso	300	
L7 e L10	2,3	Piso	300	
L8 e L9	2,15	Piso	300	
L11, L12, L13, L14 e L15	2,65	Piso	400	
L1, L2, L5 e L6	8,85	Cobertura	140	
L3 e L4	4,45	Cobertura	140	



**Quadro 2 – Vigotas protendidas. (cont.).**

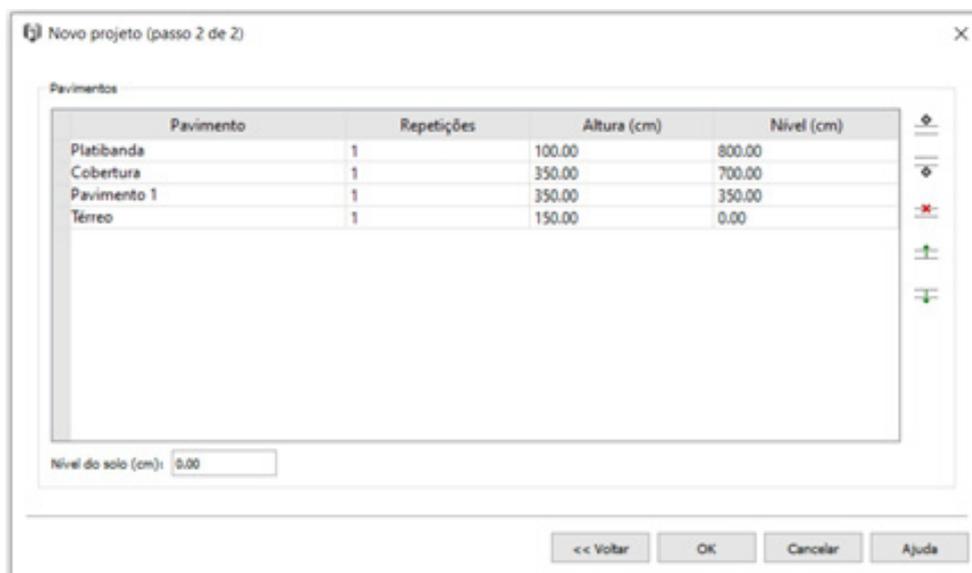
L7 e L10	2,3	Cobertura	140	
L8 e L9	2,15	Cobertura	140	
L11, L12, L13, L14 e L15	2,65	Cobertura	140	

**Fonte:** Adaptado de Lajes Protendidas Tamoyo, 2020.

**DIMENSIONAMENTO EM FERRAMENTA DE CÁLCULO ESTRUTURAL – EBERICK®**

Para realizar o dimensionamento, foi necessário definir os níveis, bem como sua nomenclatura. A Figura 5 apresenta os níveis criados para o cálculo estrutural.

**Figura 5 – Criação dos pavimentos, software Eberick®.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Exportou-se do *software Autodesk Revit®* a planta baixa da edificação em formato DWG e, importou-se para o *AltoQi Eberick®* para realização do projeto estrutural. A partir da importação, foram lançados os elementos estruturais em cada nível, tais como: fundações, pilares, vigas e lajes. Após o lançamento de cada elemento, foi necessário inserir os carregamentos respectivos, descritos no Quadro 1, nas vigas e lajes.

Para o dimensionamento das lajes com vigotas protendidas não foi utilizado o *software*, pois o mesmo não dispõe de opção de cálculo desse tipo de laje, sendo aplicado apenas as reações de apoio nas vigas; já no caso das lajes treliçadas, optou-se por utilizar a metodologia de Carvalho e Figueiredo Filho (2014) com auxílio de planilha eletrônica, procedendo de forma semelhante em relação as reações de apoio nas vigas, as quais foram rotuladas em todas suas extremidades. Por padrão, as vigas lançadas no *AltoQi*

*Eberick*, possuem vinculações engastadas, com transferência de momento entre viga e pilar. Entretanto, segundo AltoQi (2020), em uma estrutura, após a sua execução, não há garantia da totalidade da rigidez da ligação entre os elementos, existindo certa deformação e fissuração dos elementos. Dessa forma, todas as extremidades das vigas foram rotuladas, afim de se considerar em cálculo de dimensionamento a situação com menor rigidez estrutural.

Feito o lançamento e aplicado os carregamentos, as configurações relativas a Materiais e Durabilidade foram definidas (parâmetros de concreto e das armaduras) para os elementos estruturais do projeto, bem como os cobrimentos e classe de agressividade ambiental, definidas conforme a NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. A Figura 6 mostra a configuração adotada para todos os projetos estruturais.

**Figura 6** – Configuração de Materiais e Durabilidade - *Eberick*.

Materiais e durabilidade

Aplicação  
 Projeto inteiro  
 Por pavimento

Pavimento  
 Pavimento 1  
 Pavimento 2  
 Pavimento 3

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

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

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-20			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Rader	C-25			4.5 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... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Avisos  
 Todas as informações estão definidas corretamente  
 Detalhes...

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para dimensionamento dos elementos de fundação, foi considerado um tipo de solo hipotético, adotado para todos os projetos estruturais. Os dados adotados são representados na Figura 7, a seguir:

**Figura 7 – Dimensionamento Sapatas.**

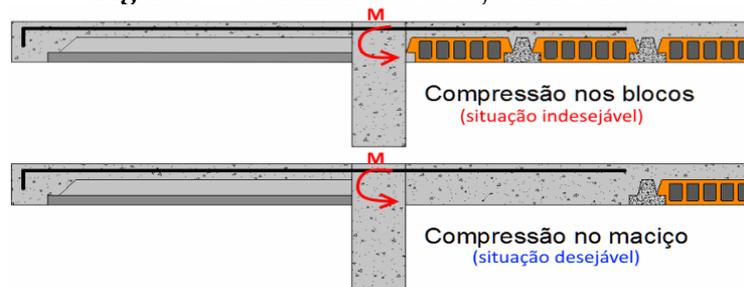
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A consideração da ação do vento na edificação foi realizada conforme estabelecido pela NBR 6123:1988 – Forças devido ao vento em edificações, sendo adotados os parâmetros apresentados na Figura 8.

**Figura 8 – Configuração de vento - Eberick.**

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Para as lajes do tipo nervurada bidirecional foi necessário a criação de região maciça nas continuidades entre as lajes das salas de aula, pelo fato da região não possuir resistência necessária para absorver os esforços de compressão formados pelo momento negativo das continuidades, assim como ilustra o exemplo da Figura 9. Dessa forma, para permitir o engastamento entre as lajes, criou-se uma região maciça de concreto, capaz de resistir ao momento negativo e aos esforços de compressão. Vale ressaltar que em algumas continuidades, as nervuras são capazes de resistir aos esforços gerados, não sendo necessária a criação de maciços de concreto armado.

**Figura 9** – Continuidade de lajes nervuradas.

Fonte: ALTOQI, 2019.

Com a estrutura lançada e os parâmetros de dimensionamento configurados, a estrutura foi processada, fornecendo os resultados dos esforços e de deslocamentos para cada elemento estrutural, bem como, o quantitativo de materiais (como quantidade de aço, concreto, fôrmas e elementos de enchimento, referentes a cada pavimento).

### QUANTITATIVO E ORÇAMENTO

Para os projetos de laje treliçadas e de vigotas protendidas foi necessário fazer o quantitativo de elementos pré-moldados e de blocos de enchimento. Desta forma, com o quantitativo fornecido pelo *AltoQi Eberick*, e os quantitativos realizados foi possível utilizar as composições de custos.

Com base nas planilhas SINAPI (Não desonerado - consideram os encargos sociais), fornecidas pela Caixa Econômica Federal, referentes ao estado de Mato Grosso, no mês de janeiro de 2020, foi orçado cada sistema estrutural, considerando os insumos e custos executivos. Apenas os insumos: vigotas protendidas e os respectivos blocos de enchimento; foram orçados na empresa Lajes Tamoyo, em sua unidade de revenda em Primavera do Leste - MT, pelo fato de não constarem nas planilhas SINAPI.

Outro item considerado no orçamento foi o frete das vigotas protendidas de Primavera do Leste, até o município de Nova Xavantina. Para tanto, foi utilizado a calculadora de frete mínimo, que segue a Resolução nº 5.867, de 14 de janeiro de 2020, da Agência Nacional de Transporte Terrestre - ANTT. Desta forma, considerando: a distância entre os municípios, tipo de frete como lotação (carga fechada), carga granel sólida, e veículos de 6 eixos com capacidade bruta de carga de 45 toneladas, foi possível quantificar o valor do frete em R\$ 3.426,92 (três mil quatrocentos e vinte e seis reais vírgula noventa e dois centavos), com base no peso total das vigotas, totalizando em 6 carretas tipo cavalo trucado.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### DETERMINAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS DAS LAJES

Nesta seção apresenta-se os resultados dos deslocamentos para as lajes, comparando os painéis para a apresentação dos efeitos das cargas sobre essa variável, para os diferentes tipos de lajes. Não foram obtidos dados de flechas das vigotas protendidas, por serem adotadas com base nas tabelas do fabricante.

Vale ressaltar que, os planos de lajes para o tipo pré-moldadas se diferem dos planos de laje moldadas *in loco* devido a questões executivas. Desta forma, os painéis das lajes maciças e nervuradas bidirecionais são equivalentes em geometria, sendo apresentados os resultados dos deslocamentos de cada laje no ponto central das mesmas, que é ponto de maior valor, nas Tabelas 1 e 4 a seguir.

**Tabela 1** – Deformações nas lajes maciças.

Pavimento 1			
Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Deslocamento (cm)
L1=L6	20	885,00	-2,37
L2=L5	20	885,00	-1,87
L3=L4	20	445,00	-0,09
L7=L11	20	265,00	-0,23
L8=L10	20	265,00	-0,08
L9	20	265,00	-0,04
Cobertura			
Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Deslocamento (cm)
L1=L6	19	885,00	-2,21
L2=L5	19	885,00	-1,77
L3=L4	19	445,00	-0,08
L7=L11	19	265,00	-0,22
L8=L10	19	265,00	-0,10
L9	19	265,00	-0,04

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Tabela 2** – Deformações nas lajes nervuradas bidirecionais.

Pavimento 1			
Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Deslocamentos (cm)
L1=L6	35+5	885,00	-1,28
L2=L5	35+5	885,00	-0,66
L3=L4	35+5	445,00	-0,04
L7=L11	35+5	265,00	-0,13
L8=L10	35+5	265,00	-0,06
L9	30+5	265,00	-0,03
Cobertura			
Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Deslocamentos (cm)
L1=L6	30+5	885,00	-1,23
L2=L5	30+5	885,00	-0,79
L3=L4	30+5	445,00	-0,04
L7=L11	30+5	265,00	-0,13
L8=L10	30+5	265,00	-0,08
L9	30+5	265,00	-0,02

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Conforme as Tabelas 1 e 2, conclui-se que o sistema estrutural com laje nervurada bidirecional apresentou menores deslocamentos. A presença de nervuras em duas direções garante ao sistema uma maior altura equivalente dos planos de lajes e, conseqüentemente, maior rigidez, reduzindo consideravelmente

as deformações, mostrando que as lajes nervuradas bidirecionais são mais rígidas e menos deformáveis que as lajes maciças. Ainda se tratando de deformações, a Tabela 3 a seguir, apresenta as deformações dos níveis piso e cobertura, do projeto com considerando o tipo de laje treliçada.

Uma das limitações desse tipo de laje são os grandes vãos, quando comparada aos outros sistemas adotados neste trabalho, por esta razão alguns planos de lajes maiores foram subdivididos, resultando em vãos menores, de modo a viabilizar a utilização do sistema de laje.

A seguir, a Tabela 4 apresenta resultados relacionados a deslocabilidade dos nós, obtidos por meio de uma análise estática da estrutura, representando o quanto a estrutura pode se deslocar. Vale destacar que segundo o item 15.4.2 da NBR 6118:2014, para valores  $Gama-Z \leq 1,10$ ; são dispensados os efeitos de segunda ordem, considerando, portanto, nós fixos.

De acordo com os resultados, os projetos estruturais com lajes do tipo moldadas *in loco*, apresentaram menor deslocabilidade, diferente das lajes pré-moldadas, as quais pelo método executivo adotado são simplesmente apoiadas nas vigas, resultando em uma menor rigidez. Além disso, as lajes moldadas *in loco* permitem a melhor distribuição dos momentos, ocorrendo menores deformações na estrutura.

**Tabela 3** – Deformações de lajes treliçadas.

<b>Pavimento 1</b>			
<b>Laje</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>vão (cm)</b>	<b>deslocamentos (cm)</b>
L1=L2=L3=L4=L7=L8=L9=L10	20+5	547,50	-0,91
L5=L6	16+5	445,00	0,05
L11=L14	8+5	230,00	0,49
L12=L13	8+5	215,00	0,48
L15=L16=L17=L18=L19	8+5	265,00	0,27
<b>Cobertura</b>			
<b>Laje</b>	<b>Espessura (cm)</b>	<b>Vão (cm)</b>	<b>deslocamentos (cm)</b>
L1=L2=L3=L4=L7=L8=L9=L10	16+5	547,50	-0,92
L5=L6	16+5	445,00	0,78
L11=L14	8+5	230,00	0,54
L12=L13	8+5	215,00	0,52
L15=L16=L17=L18=L19	8+5	265,00	0,54

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Tabela 4 – Estabilidade global.**

Projeto	Gama-Z		
	Direção		
	X	Y	Lim
Laje Maciça	1,05	1,05	1,10
Laje Nervurada Bidirecional	1,05	1,04	1,10
Laje Treliçada	1,06	1,10	1,10
Laje Vigota Protendida	1,07	1,08	1,10

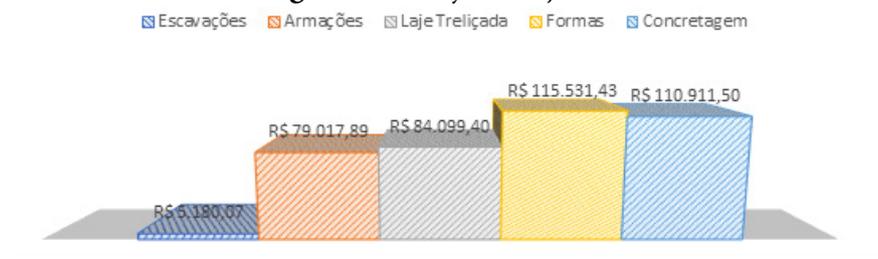
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS E DOS INSUMOS**

Como apresentado na metodologia, para o levantamento de materiais e de custo, foram utilizados os resumos de materiais fornecidos pelo software *AltoQi Eberick*, além do levantamento manual do quantitativo de vigotas, treliças pré-moldadas, elementos de enchimento, e também o concreto e armaduras de distribuição.

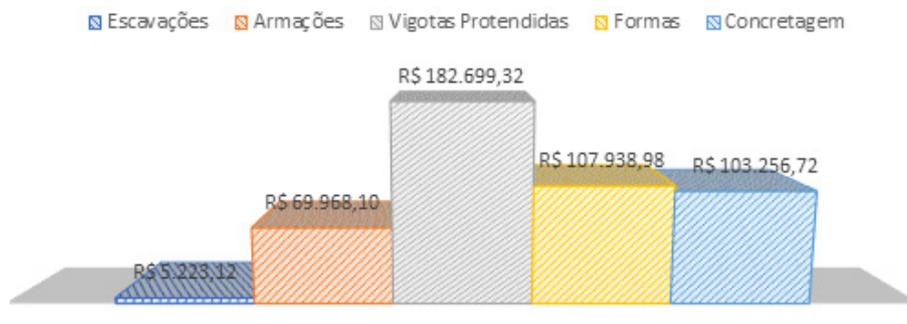
Desta forma, com os quantitativos, foram realizados os quatro orçamentos, para cada projeto estrutural, com seu respectivo sistema de laje, utilizando as planilhas SINAPI (Não desonerado), fornecidas pela Caixa Econômica Federal, referentes ao estado de Mato Grosso, no mês de janeiro de 2020. As Figuras 10, 11, 12 e 13, a seguir apresentam o custo total, de cada projeto, considerando basicamente as etapas: escavações, armações, laje, formas e concretagem, incluindo desde os custos dos insumos até os de execução.

**Figura 10 – Laje Treliçada.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 11 – Laje Vigota Protendida.**

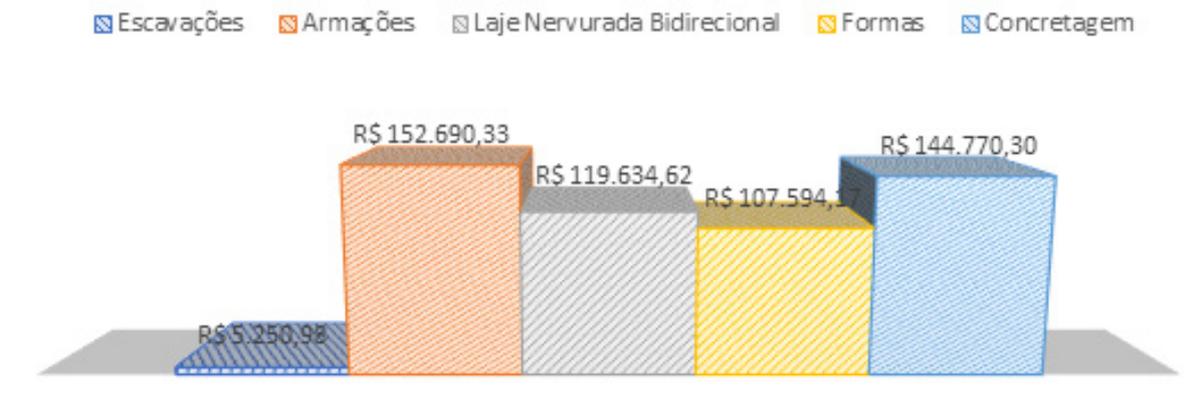


**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A laje treliçada teve como principal custo as formas, as quais são utilizadas nas fundações, pilares e vigas; seguido da concretagem, laje treliçada, armações e por fim as escavações. Vale ressaltar que no item “Laje Treliçada”, foram considerados: treliças pré-moldadas, elementos de enchimento, escoramento, armadura de distribuição e montagem.

O orçamento do projeto com vigotas protendidas teve maior custo com as vigotas protendidas e os elementos de enchimento, seguido das fôrmas, concretagem, armação e escavação. Se comparado a laje treliçada, apresenta um menor valor no consumo de formas, concretagem e armação, pelo fato de ter panos de lajes maiores, tendo por consequência menor quantidade de vigas.

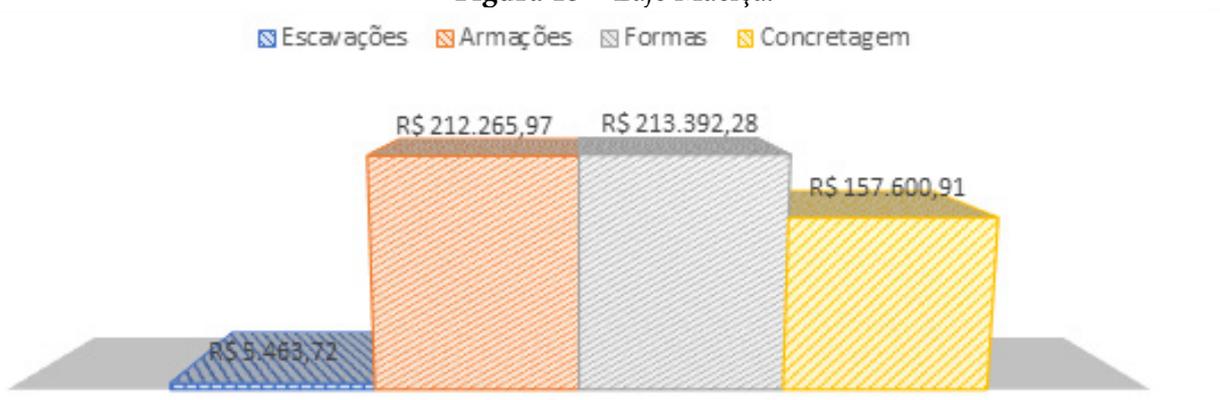
**Figura 12 – Laje Nervura Bidirecional.**



Fonte: Elaborado pelos autores..

O orçamento do projeto com laje nervurada bidirecional, devido a sua geometria e ao elevado carregamento e vão, necessitou de maior altura, obtendo um maior custo com armações e concretagem. O terceiro maior gasto foi com o item “Laje Nervurada Bidirecional”, que representa os custos com os elementos de enchimento (EPS), montagem, fôrmas e escoras; seguido pelo item “Fôrmas” (fundações, pilares e vigas); e por fim escavações. Vale destacar que as lajes pré-moldadas não necessitam de armação de laje, representando um menor custo quando comparadas às lajes moldadas *in loco*, como a laje nervurada bidirecional.

**Figura 13 – Laje Maciça.**

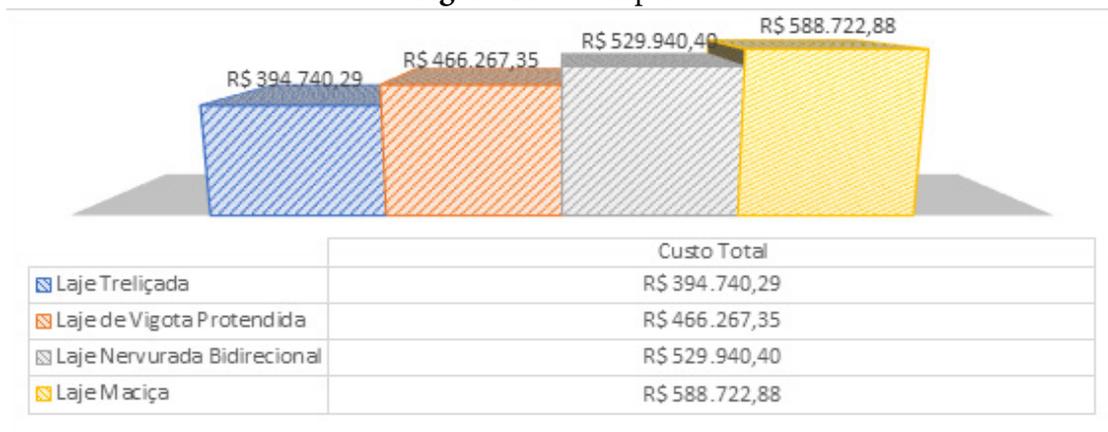


Fonte: Elaborado pelos autores.

Por fim, o orçamento da laje maciça, obteve maior custo com fôrmas e armações, seguido da concretagem e escavações. Se comparado aos demais orçamentos, a laje maciça apresenta maiores consumos de fôrmas, armações e concretagem, devido a sua metodologia de execução, impactando diretamente em cada etapa da obra.

A Figura 14 a seguir, apresenta os valores totais de execução de cada projeto.

**Figura 14 – Comparativo.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

Como apresentado pela Figura 14, o projeto com laje treliçada foi o que apresentou maior viabilidade econômica, seguido da laje de vigota protendida, laje nervurada bidirecional e por fim, a laje maciça.

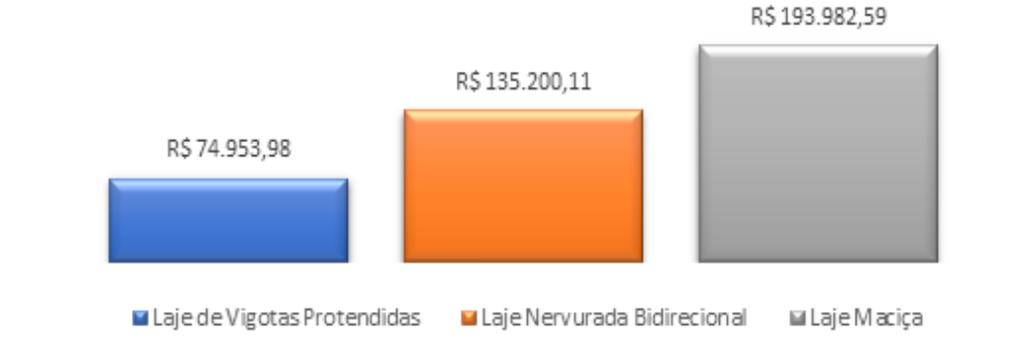
Em geral, as lajes pré-moldadas apresentaram maior viabilidade executiva, em relação as lajes moldadas *in loco*, pelo fato de não necessitarem de fôrmas para a confecção das lajes e dispensarem o uso de armação das lajes. Nota-se que os projetos com lajes pré-moldadas apresentaram menores consumos de concreto, impactando diretamente no custo total da obra. A laje maciça, como esperado, apresentou o maior custo devido a sua simplicidade executiva, consumindo maiores quantidades de concreto e aço, impactando diretamente nos demais elementos estruturais e conseqüentemente necessitando de uma estrutura mais robusta, se comparada às demais.

As Figuras 15 e 16 a seguir, apresentam a variação de custo dos demais orçamentos em relação ao orçamento da Laje Treliçada, ressaltando sua viabilidade econômica.

**Figura 15 - Comparativo Percentual - Laje Treliçada.**



**Fonte:** Elaborado pelos autores.

**Figura 16** – Comparativo em valores em Reais (R\$) - Laje Treliçada.

**Fonte:** Elaborado pelos autores.

### CONCLUSÃO

O presente artigo tratou da análise do desempenho, em termos de viabilidade econômica e de deslocamentos, de quatro sistemas diferentes de lajes de concreto armado, por meio do dimensionamento estrutural de um projeto modelo, especificamente uma edificação de múltiplos pavimentos destinada para salas de aulas, apontando o sistema estrutural mais econômico para esse tipo de edificação.

De um modo geral, os projetos estruturais com lajes pré-moldadas se mostraram com maior viabilidade econômica, com evidência à estrutura com laje treliçada e, por fim, as estruturas em lajes maciças (moldadas *in loco*). Considerando a realidade local do município de Nova Xavantina – MT, o sistema com laje treliçada é compatível com a mão de obra disponível, pois não requer qualificação específica para execução, além de ser uma técnica bastante conhecida pelos profissionais do setor construtivo. Isso pode ser generalizado para muitas regiões do país, sobretudo as mais centralizadas.

O dimensionamento estrutural de cada um dos projetos possibilitou a quantificação do consumo de material das lajes, além do levantamento de custos executivos. Diante disso, foi possível realizar o comparativo entre cada projeto estrutural e apontar o sistema mais viável economicamente.

O uso da ferramenta de cálculo estrutural AltoQi Eberick® possibilitou maior agilidade, realizando todas as análises, dimensionamentos e detalhamentos, de acordo com as normas vigentes. Além disso, outra grande vantagem foi o fornecimento do resumo de materiais de cada projeto estrutural.

As planilhas SINAPI, fornecidas pela Caixa Econômica Federal, permitiram a orçamentação de cada um dos projetos, levando em consideração os valores reais médios do mercado da construção civil, levando em consideração os coeficientes de produtividade e rendimento, tornando o orçamento ainda mais compatível com a realidade.

O uso das tabelas de dimensionamento da empresa Lajes Tamoyo, permitiu a escolha das vigotas ideais para o projeto estrutural, compatíveis com os vãos e sobrecargas. Além disso, o orçamento fornecido pela empresa, em sua unidade de venda em Primavera do Leste - MT, possibilitou a quantificação de todas as vigotas e elementos de enchimento.

Sendo assim, partindo de uma situação hipotética, por meio dos dimensionamentos e orçamentos, foi possível apontar o sistema de lajes treliçadas como o mais viável economicamente. No entanto, o sistema que concede os menores deslocamentos para as lajes é o de lajes maciças, o qual também gera a melhor situação de estabilidade para a edificação tendo-se como base o parâmetro Gama-Z.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Lajes Tamoyo, pelo fornecimento das planilhas de dimensionamento de vigotas

e orçamento, os quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALTOQI. **Como o Eberick aplica as cargas de vento?**. 2019. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115004593633-Como-o-Eberick-aplica-as-cargas-de-vento->. Acesso em: 19 de mar. 2020.
- ALTOQI. **Comparativo entre vinculações de vigas**. 5 de mar. de 2020. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/115001285093-Comparativo-entre-vincula%C3%A7%C3%B5es-de-vigas>. Acesso em: 19 de mar. de 2020.
- ALVES, M. R. **Manual de ambientes didáticos para graduação**. São Carlos: Suprema, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 256 f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. 2019. Rio de Janeiro, 2019. 66 f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. 1988. Rio de Janeiro, 1988. 66 f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. 2004. Rio de Janeiro, 2004. 105 f.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V. **Introdução a Engenharia – Conceitos, Ferramentas e Comportamentos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006. 270f.
- CARVALHO, M. C. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. 2012. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. D. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado Segundo a NBR 6118: 2014**. 4. ed. São Carlos: EdufSCar, 2014. v. 1, 424 f.
- COCIAN, L. F. E. **Introdução à Engenharia**. Porto Alegre: Bookman, 2017. 296 f.
- CUNHA, M. O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. 2012. 145 f. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012.
- KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, 1998. 43 f.
- LUCA, M. A. S.; ROMANEL, F. B.; SANCHES, G. H. M.; GONÇALVES, H. S.; PEREIRA, V. A. G.; MOISES, I. C.; OLIVEIRA, J. M. B. A Engenharia no contexto Social: Evolução e Desenvolvimento. **Gestão, Tecnologia e Inovação – Revista eletrônica dos Cursos de Engenharia**, v. 2, n. 1, p. 1-11, 2018.

MACEDO, G. M.; SAPUNARU, R. A. Uma breve história da engenharia e seu ensino no Brasil e no mundo: foco Minas Gerais. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 10, n. 1, p. 39-52, 2016.

MADUREIRA E. L.; ÁVILA, J.I.S.L. Simulação numérica do desempenho mecânico de vigas parede. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 6, p. 737-756, 2012.

NAPPI, S.C.B., **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuradas**. 1993. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

PADMARAJIAH, S.K., RAMASWAMY, A. A finite element assessment of flexural strength of prestressed concrete beams with fiber reinforcement. **Cement & Concrete Composites**, v.24, p.229-241, 2002.

PRADO, E. P. **Influência da heterogeneidade do material na simulação computacional de elementos de concreto**. 2004. 270 f. Tese de Doutorado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SÃO PAULO (Município). Decreto nº 57.776, de 7 de julho de 2017. Regulamenta os procedimentos administrativos e executivos e fixa as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção, utilização e fiscalização de obras, edificações, equipamentos, obras complementares, terraços e mobiliários, dentro dos limites dos imóveis em que se situam. **Câmara Municipal de São Paulo**, São Paulo, SP.

SOUZA, C. G. S.; LOPES, R. C. **Estudo comparativo entre laje maciça convencional e lajes nervuradas**. 2016. 134 f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

SOUZA, R. A.; ARAUJO, M. J. S. The Progressive Failure of Fifteen Balconies and the Engineering Techniques for their Reconstruction. **Engineering Failure Analysis**, v. 18, p. 895-906, 2011.

SPOHR, V. H. **Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

STRAMANDINOLI, R. **O escritório de projetos estruturais e suas peculiaridades buscando subsídios para o futuro negócio**. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.