

**COMPARATIVO DA TAXA GEOMÉTRICA DE ARMADURA ENTRE LAJES
NERVURADAS PRÉ-FABRICADAS COM VIGOTAS TRELIÇADAS E LAJES
MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO**

**COMPARATIVE OF THE GEOMETRIC REINFORCEMENT RATE BETWEEN
PREFABRICATED NERVURED SLABS WITH STRIPED BEAMS AND SOLID
CONCRETE SLABS**

Igor Ferreira da Silva¹

Rafaela Freitas Santos²

Vinícius Slompo Pinto³

Bebedouro – SP, 2020

RESUMO

Com o objetivo de atender ao aumento da demanda do mercado e à necessidade de rapidez e economia em todas as etapas da obra, houve uma evolução dos processos construtivos, cita-se, como exemplo, as lajes pré-fabricadas. Este trabalho trata-se de um comparativo entre as taxas de armaduras das lajes maciças e as lajes treliçadas. Foi utilizado os critérios de dimensionamento da ABNT NBR 6118:2014 e analisado diferentes vãos, casos de vinculação e sobrecargas. Os resultados deste trabalho mostraram que para a maioria dos fatores analisados a laje treliçada é mais benéfica. Conclui-se que a laje treliçada necessita de menor taxa de armadura e que a classe do concreto proporciona redução das taxas de armaduras para alguns casos. Também se concluiu que, ao contrário das lajes treliçadas, as lajes maciças são mais vantajosas para casos em que não haja lajes adjacentes. Palavras-chave: Construção civil. Dimensionamento. Lajes pré-fabricadas. Vigotas pré-fabricadas.

ABSTRACT

In order to meet the increased market demand and the need for speed and economy in all stages of the work, there was an evolution in the construction processes, citing, as an example, the prefabricated slabs. This work is a comparison between the reinforcement rates of solid slabs and lattice slabs. The design criteria of ABNT NBR 6118: 2014 were used and several spans, linkage cases and overloads were analyzed. The results of this work induced that for the cause of the factors associated with lattice slab it is more beneficial. It is concluded that the lattice slab needs a lower reinforcement rate and that the concrete class offers a reduction in reinforcement rates for some cases. It was also concluded that, unlike lattice slabs, solid slabs are more advantageous in cases where there is no adjacent slab. Keywords: Construction. Design. Precast slabs. Precast joist.

¹ Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. Email: igor.ferreira.ec@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. Email: rafaah_freitas@hotmail.com

³ Professor Mestre no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. Email: vinicius.slompo.p@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil tem como principal objetivo a segurança, efeito do valor da vida humana. Mas, a história do desenvolvimento demonstra que muitas das grandes invenções resultaram também do intuito de reduzir custos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2013). Uma comprovação da busca por economia e diminuição de tempo de execução na construção civil, foi a criação dos elementos pré-fabricados.

As lajes são elementos planos, na maioria das vezes horizontais, que possuem duas dimensões maiores que a terceira, que é denominada espessura. As lajes são classificadas estruturalmente como elementos de superfície, ou placas (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2010).

Devido à grande diversidade de sistemas de lajes de concreto armado, nas quais cada uma possui características próprias de aplicação com vantagens e desvantagens, os profissionais da engenharia civil precisam escolher um determinado tipo e nem sempre a escolha adequa-se às condições específicas do empreendimento (GONÇALVES, 2017).

Segundo Carvalho (2012), os principais fatores que influenciam na escolha de uma laje é a imposição arquitetônica, o tamanho do vão a ser vencido, custos e a espessura da laje.

Nos projetos arquitetônicos mais arrojados, optar por lajes maciças resulta em espessuras elevadas, visto que os vãos das lajes são extensos. Isso torna a estrutura antieconômica, pois a maior parte de sua capacidade estrutural é destinada para combater as solicitações do seu peso-próprio (BUIATE; LIMA, 2005).

Por substituir a área de concreto tracionada por elementos de enchimento mais leves, as lajes nervuradas possuem menor peso próprio, portanto, ocasionam a diminuição de esforços, tanto nos elementos estruturais (vigas, lajes e pilares) como nas fundações, impactando diretamente na economia com custos da construção (MENEGON; VARGAS, 2019).

Este trabalho tem como objetivo realizar um comparativo entre as taxas geométricas de armadura em lajes maciças e lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas, frente aos diferentes tipos de vinculações, vãos efetivos e entre as classes de resistências à compressão do concreto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse tópico trata das características e especificações técnicas das lajes maciças de concreto armado e das lajes nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas.

2.1 Concreto armado

O concreto simples é constituído pela mistura, proporcionada convenientemente, de agregados (miúdos e graúdos), aglomerante hidráulico (cimento Portland) e água. Denomina-se aglomerante hidráulico aquele que endurece por reação com a água (PINHEIRO; GIONGO, 1986). O concreto tem como principais características: a versatilidade, durabilidade, economia, alta resistência à água e sua resistência a compressão, porém, sua capacidade de resistir a tração é pequena, da ordem de um décimo da resistência a compressão (FALCETTA, 2004).

Devido à baixa capacidade de resistir a tração, para aplicações estruturais, o concreto simples deve ser associado a materiais que possuam resistência à tração. Assim, utilizam-se armaduras, usualmente de aço (PINHEIRO; GIONGO, 1986).

O aço tem grande aplicação na construção civil devido às suas características, sendo elas: ductilidade; resistência a tração, flexão, torção e compressão; incombustibilidade e resistência a abrasão (PINHEIRO et al., 2010).

O concreto e o aço, quando unidos, geram o fenômeno da aderência. Este fenômeno ocorre devido as nervuras existentes nas barras de aço criarem pontos de apoio no concreto, fazendo com que se obtenha resistência ao escorregamento entre a barra e o concreto. Este fenômeno é fundamental pois, a transferência dos esforços depende que o conjunto trabalhe solidariamente, ou seja, que se tornem um único elemento (monolítico) (BASTOS, 2006).

2.2 Lajes maciças de concreto armado

As lajes são elementos estruturais bidimensionais planos que sofrem cargas predominantemente normais ao seu plano. Em uma estrutura convencional, as lajes são responsáveis por transmitir as cargas do piso para seus apoios, que podem ser vigas ou pilares (BASTOS, 2015).

As lajes maciças são aquelas na qual toda a sua espessura é constituída por concreto armado, ou seja, são placas contendo em toda a sua seção: concreto, armaduras longitudinais de flexão e ocasionalmente armaduras transversais (BASTOS, 2015).

As lajes maciças possuem uma classificação referente à relação entre o maior e o menor vão, podendo ser classificadas como armadas em uma ou em duas direções. As lajes maciças armadas em somente uma direção são aquelas nas quais a relação entre seus vãos é maior ou igual a dois. As lajes maciças armadas em duas direções são aquelas na qual a relação entre seus vãos é menor que dois (CAMPOS FILHO, 2014).

Em ambos os casos há armaduras nas duas direções, porém, nas lajes armadas em duas direções, as duas armaduras são consideradas para resistir aos esforços. Já para a laje armada em uma direção, somente a armadura do menor vão resiste aos esforços, entretanto, há uma armadura no outro vão, denominada de armadura de distribuição (ARAÚJO, 2009).

A classificação das lajes, quanto a relação entre os lados, pode sofrer exceções de acordo com as vinculações das bordas. Se a laje for suportada por apenas duas bordas paralelas e as outras duas bordas forem livres ou quando possuir três bordas livres, deve-se considerar a laje como armada em uma direção (CAMPOS FILHO, 2014).

2.3 Lajes nervuradas pré-fabricadas

As lajes nervuradas pré-fabricadas são aquelas cujas nervuras são compostas por vigotas pré-moldadas. Estas vigotas suportam seu peso próprio e ações decorrentes da construção, sendo necessário apenas escoramentos intermediários (PEREIRA, 2017).

As lajes nervuradas pré-fabricadas são uma aprimoração das lajes maciças de concreto armado, pois, a região de concreto tracionado, que não colabora na resistências aos esforços principais, pode ser parcialmente removida, permitindo o preenchimento das nervuras com a utilização de formas removíveis ou elementos inertes mais leves que o concreto, o que favorece na diminuição do peso próprio da laje e conseqüentemente diminui o peso total da estrutura (AVILLA JUNIOR, 2009).

As lajes nervuradas pré-fabricadas podem ser classificadas em função dos

elementos pré-fabricados que as compõe, podendo ser (ABNT NBR 14859-1:2016):

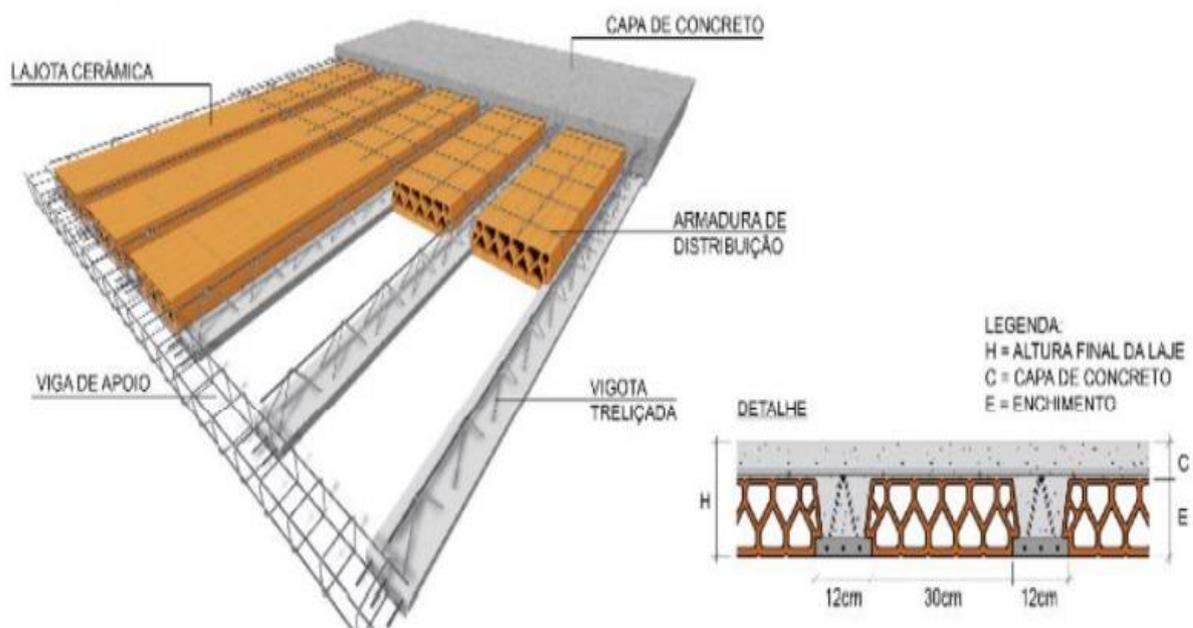
- a) Vigota com armadura simples (VC);
- b) Vigota com armadura protendida (VP);
- c) Vigota com armadura treliçada (VT);
- d) Minipainel treliçado (MPT);
- e) Painel treliçado (PT).

2.3.1 Lajes nervuradas formadas por vigotas treliçadas (VT)

Segundo Bastos (2015), as lajes nervuradas unidirecionais, formadas por vigotas treliçadas, são aquelas nas quais as nervuras têm uma forma de concreto com uma treliça espacial. Os vazios que se formam entre as nervuras são preenchidos por material inerte, isso faz com que não se necessite de formas na concretagem e há diminuição do peso próprio da laje.

Essas nervuras são unidas por uma capa de concreto na parte superior, que garante o comportamento monolítico da laje como um todo. Além da armadura das nervuras é necessário posicionar, na região de capeamento superior, uma armadura de distribuição. Em função das vinculações, também pode ser necessário armadura para resistir aos momentos negativos, que causam tração na borda superior da laje (BASTOS, 2015). A Figura 1 demonstra o arranjo das lajes treliçadas unidirecionais.

FIGURA 1 – Arranjo das lajes treliçadas unidirecionais.



Fonte: Cintra, Vieira e Praxedes (2018).

2.3.2 Treliças utilizadas nas lajes constituídas por vigotas treliçadas

Nas treliças utilizam-se fios de aço CA-60. Elas são constituídas por um fio de aço no topo (nomeado de banzo superior), dois fios de aço paralelos na base (nomeados de banzo inferior), e dois fios de aço diagonais, com espaçamento de 20 centímetros entre eles (ARCELORMITTAL, 2017).

As treliças são identificadas de acordo com a abreviatura de armadura treliçadas (TR), sua altura em centímetros e o diâmetro em milímetros dos aços que as compõe na seguinte ordem: banzo superior, diagonais e banzo inferior. Por exemplo, uma armadura treliçada composta por aço CA 60, com 12 cm de altura, banzo superior com aço de 6,0 milímetros, diagonal com aço de 4,2 milímetros e banzo inferior com aço de 5,0 milímetros, é designada TR 12645 (ABNT NBR 14859-3:2016).

2.3.3 Elementos de enchimento

Segundo Cintra, Vieira e Praxedes (2018), elementos de enchimento são componentes fabricados com diversos tipos de materiais inertes, podendo ser vazados ou maciços, intercalados entre as nervuras das pré-lajes (termo utilizado para designar as vigotas treliçadas antes de sua concretagem) com a função de reduzir o volume de concreto e conseqüentemente diminuir o peso próprio da laje. Nos cálculos de rigidez e resistência da laje, os elementos de enchimento não devem ser considerados como colaborantes.

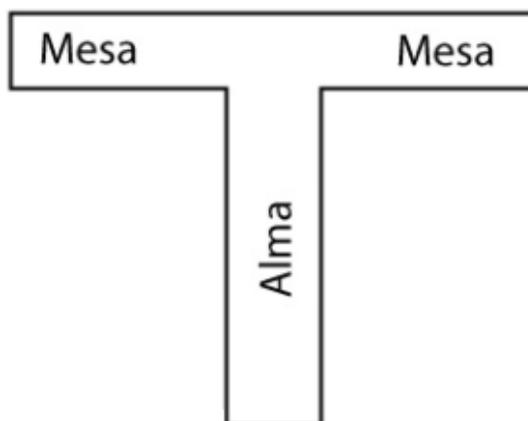
Para os elementos de enchimento a serem utilizados na execução de lajes treliçadas, em qualquer tipo de edificação, a ABNT NBR 14859-2:2016 especifica que devem ser seguidas as ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 9062:2017, sendo os mais utilizados lajotas cerâmicas (LC) e lajotas de poliestireno expandido (LEPS).

2.3.4 Linha neutra

As lajes nervuradas devem ser consideradas como vigas de seção "T", posicionadas lado a lado para fins de dimensionamento. Nas vigas de seção "T", a parte horizontal superior é denominada de mesa, composta por duas abas e a parte vertical da viga é nomeada de alma ou nervura (ABNT NBR 6118:2014). A Figura 2

demonstra o esquema da viga de seção “T”.

FIGURA 2 – Esquema da viga de seção “T”.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o dimensionamento de uma viga “T” deve-se saber se a linha neutra está na alma ou na mesa. A linha neutra é o lugar geométrico da seção onde a tensão normal é nula, ou seja, é o ponto que separa a zona tracionada da zona comprimida. Se a linha neutra estiver na mesa, o cálculo é realizado do mesmo modo que para uma viga de seção retangular, visto que a região de concreto comprimido se mantém regular. Porém, se a linha neutra estiver na alma, a seção de concreto comprimido assume uma forma “T” e o cálculo precisa ser adaptado para levar essa geometria em consideração (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2017).

2.4 Vinculações das lajes

Para calcular as deformações e os esforços solicitantes nas lajes, é necessário determinar o tipo de vinculação com seus apoios, podendo ser borda engastada, borda livre ou borda simplesmente apoiada (LEITE, 2017).

As bordas livres são caracterizadas pela ausência de apoios (vigas) o que faz com haja deslocamentos verticais. Nos demais tipos de vinculação não é permitido os deslocamentos verticais (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2010).

As bordas simplesmente apoiadas ocorrem onde não se permite ou não existe a continuidade da laje com outras lajes adjacentes. Como as vigas de concreto de dimensões mais recorrentes possuem pequena rigidez a torção, esse tipo de borda faz com que a viga gire e deforme-se, acompanhando as pequenas rotações que ocorrem na laje, garantindo a consideração teórica do apoio simples (BASTOS, 2015).

As bordas engastadas podem ser classificadas entre dois tipos de engastamento: o engastamento perfeito e o engastamento elástico.

O engastamento perfeito ocorre, por exemplo, nas marquises engastadas em alvenarias ou vigas de concreto. Já o engastamento elástico ocorre em lajes contínuas, que são apoiadas sobre paredes ou vigas, ou seja, devido a continuidade da laje, são gerados momento de engastamento nos apoios intermediários, cuja análise e compatibilização devem ser feitas (BASTOS, 2015).

Em lajes contínuas que tenham uma diferença considerável entre as espessuras, deve-se limitar a consideração de borda engastada apenas para a laje que possua a menor espessura e admitir como simplesmente apoiada a laje de maior espessura (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2010).

As lajes nervuradas, assim como as maciças, podem ter suas bordas engastadas, livres ou simplesmente apoiadas. Entretanto, Bocchi Junior (1995), recomenda que, para as lajes nervuradas, deve-se evitar engastes e balanços, pois, nestes casos, geram-se esforços de tração na parte superior (local onde encontra-se a mesa de concreto) e esforços de compressão na parte inferior (local onde a área de concreto é substituída pelo elemento inerte).

Para Pinheiro e Razente (2003), quando balanços e engastes não puderem ser dispensados, duas providências podem ser tomadas, sendo elas:

- a) Limitar o momento fletor para que não ultrapasse à resistência que a nervura resiste à compressão;
- b) Utilizar região maciça de dimensão adequada no apoio engastado.

A figura 3 demonstra a representação gráfica dos tipos de vinculação.

FIGURA 3 – Representação gráfica dos tipos de vinculação

Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
-----	—————	///////

Fonte: Pinheiro; Muzardo e Santos (2010).

Na figura 4 são apresentados os casos de vinculação com bordas engastadas e simplesmente apoiadas.

FIGURA 4 – Casos de vinculação

Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada	
3		4A		4B	
Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas	
5A		5B		6	
Uma borda maior apoiada		Uma borda menor apoiada		Quatro bordas engastadas	

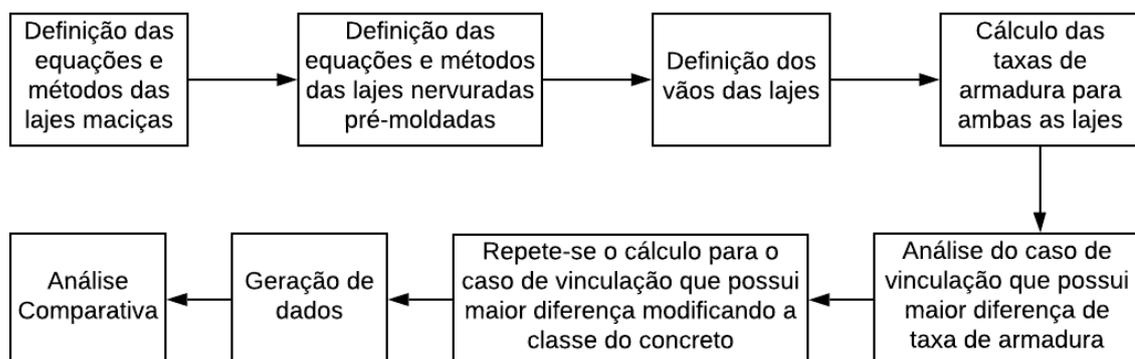
Fonte: Pinheiro; Muzardo e Santos (2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia desenvolvida demonstra os procedimentos utilizados para o dimensionamento das lajes maciças e das lajes treliçadas sujeitas à flexão simples.

O estudo baseia-se em uma pesquisa descritiva quantitativa, ou seja, além de reunir informações bibliográficas, foi realizada uma análise comparativa entre os dois tipos de lajes, tendo como foco principal as taxas de armaduras. O fluxograma apresentado na figura 5 demonstra o processo geral utilizado para obtenção dos resultados.

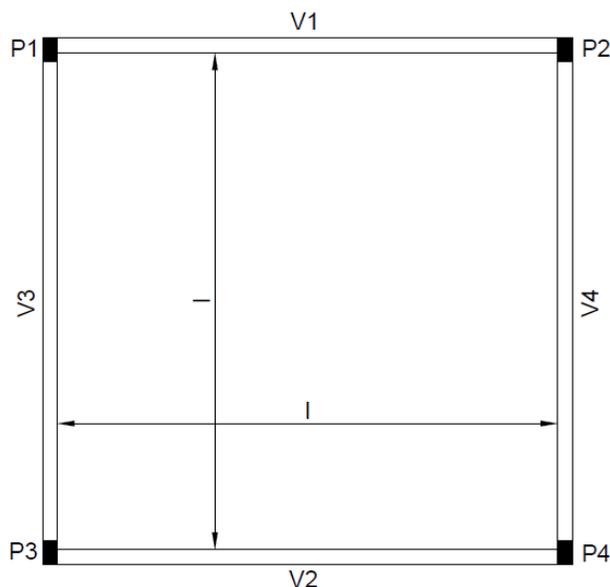
FIGURA 5 – Processo geral utilizado para obtenção dos resultados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para realizar a comparação entre a taxa geométrica de armadura, foi elaborado uma planta de fôrmas, denominada de laje genérica. A figura 6 apresenta a planta de fôrmas da laje genérica que foi utilizada.

FIGURA 6 – Planta de fôrmas da laje genérica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Baseando-se em projetos arquitetônicos consultados no departamento de obras da prefeitura de Guaíra-SP, foram adotados quatro vãos usuais para as fôrmas de lajes de construções de pequeno e médio porte, sendo 10x5m, 7x4m, 5x5m, 4x3m e 3x1,5m.

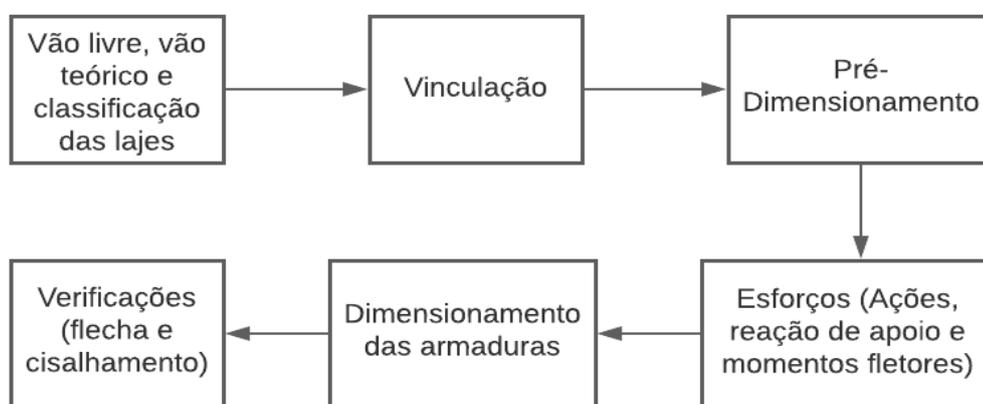
Como parâmetros de variação, também foi considerado os casos de vinculações em que não houvesse a necessidade de armaduras negativas nas lajes nervuradas, ou seja, os casos que possuem duas bordas paralelas simplesmente apoiadas, sendo os casos de vinculação tipo 1, tipo 2A, tipo 2B, Tipo 4A e tipo 4B.

Para a composição das cargas permanentes foi considerado piso de porcelanato com peso específico de 23 kN/m³ e espessura de 1 centímetro; contra-piso de argamassa de cal, cimento e areia com espessura de 1,5 centímetros e peso específico de 19 kN/m³ e argamassa de regularização de cimento e areia na parte inferior da laje com espessura de 1 centímetro e peso específico de 21 kN/m³. Para o cálculo do peso próprio das lajes maciças e nervuradas foi considerado peso específico do concreto armado de 25 kN/m³. Também foi considerado um peso específico de 18 kN/m³ para as lajotas cerâmicas utilizadas entre as nervuras. Todos os pesos específicos foram retirados da ABNT NBR 6120:2019.

Para as cargas variáveis foi considerado que as lajes são utilizadas para dois casos. O primeiro caso é para uso de dormitórios, salas, copas, cozinhas e sanitários em edifício residencial, obtendo-se o valor de 1,5 kN/m² da ABNT NBR 6120:2019. O segundo caso é para uso de bibliotecas com estantes com até 2,2 metros de altura, obtendo-se o valor de 6,0 kN/m² da ABNT NBR 6120:2019.

O fluxograma apresentado na figura 7 demonstra as etapas do processo de dimensionamento à flexão simples das lajes maciças de concreto armado segundo ABNT NBR 6118:2014 e Pinheiro, Muzardo e Santos (2010).

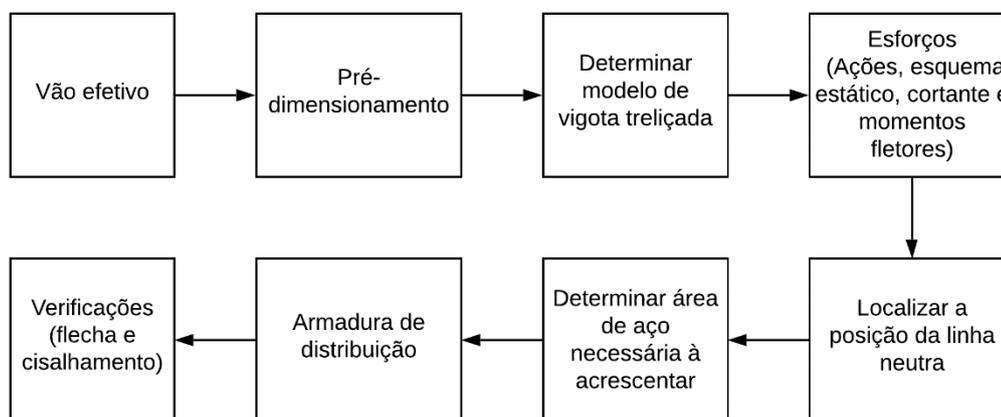
FIGURA 7 – Processo de dimensionamento das lajes maciças.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O fluxograma apresentado na figura 8 demonstra as etapas do processo de dimensionamento à flexão simples das lajes nervuradas pré-fabricadas segundo ABNT NBR 6118:2014 e Bastos (2015).

FIGURA 8 – Processo de dimensionamento das lajes nervuradas pré-fabricadas unidirecionais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

De posse das taxas de armadura obtidas com os dimensionamentos, gerou-se gráficos e tabelas com o auxílio do *Microsoft Excel 2016*.

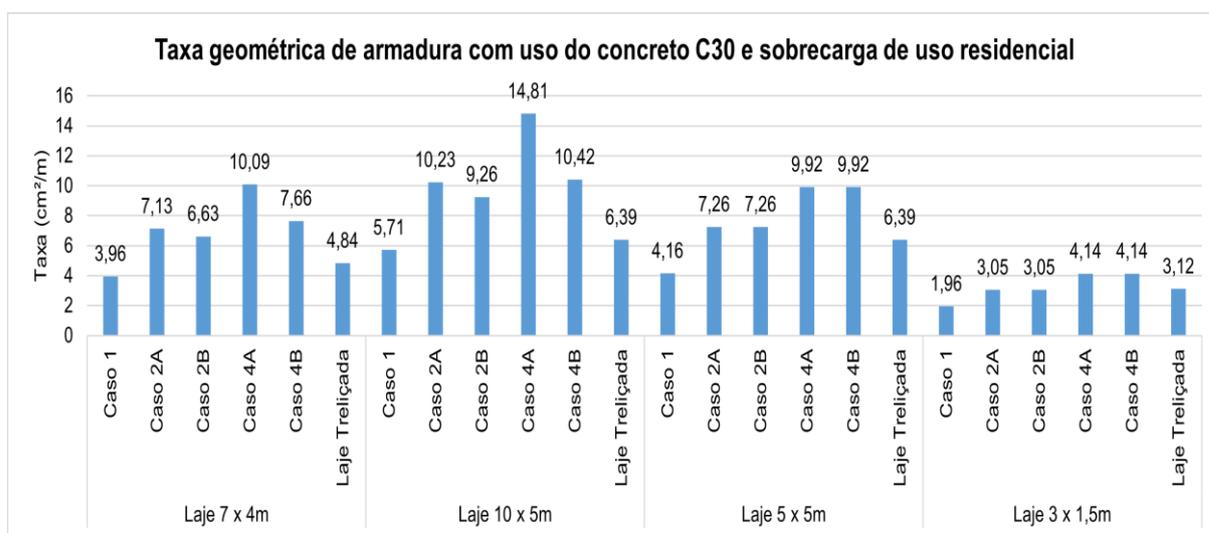
4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados das taxas de armaduras obtidas com os dimensionamentos das lajes.

4.1 Lajes de uso residencial

A figura 9 apresenta o gráfico das taxas de armaduras obtidas com os dimensionamentos das lajes com concreto C30 e sobrecarga de uso residencial.

FIGURA 9 – Taxa geométrica de armadura com uso do concreto C30 e sobrecarga de uso residencial



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados indicam que, para qualquer vão de laje, a taxa de armadura da laje treliçada é inferior à laje maciça, exceto para os casos de vinculação 1. Essa exceção ocorreu devido ao fato que, para esse caso de vinculação, a laje maciça necessita somente de armadura positiva nos dois sentidos. Já para a armadura treliçada, por ser unidirecional, além da armadura positiva, necessitou-se do acréscimo de uma armadura de distribuição, fazendo com que a taxa geométrica total fosse superior às lajes maciças.

A diminuição da taxa de armadura da laje treliçada para os casos de vinculação 2A, 2B, 4A e 4B ocorre devido ao seu dimensionamento considerar a nervura como

uma viga biapoiada, fazendo com que não haja momentos fletores negativos nas bordas e conseqüentemente não necessite de armaduras negativas nos apoios.

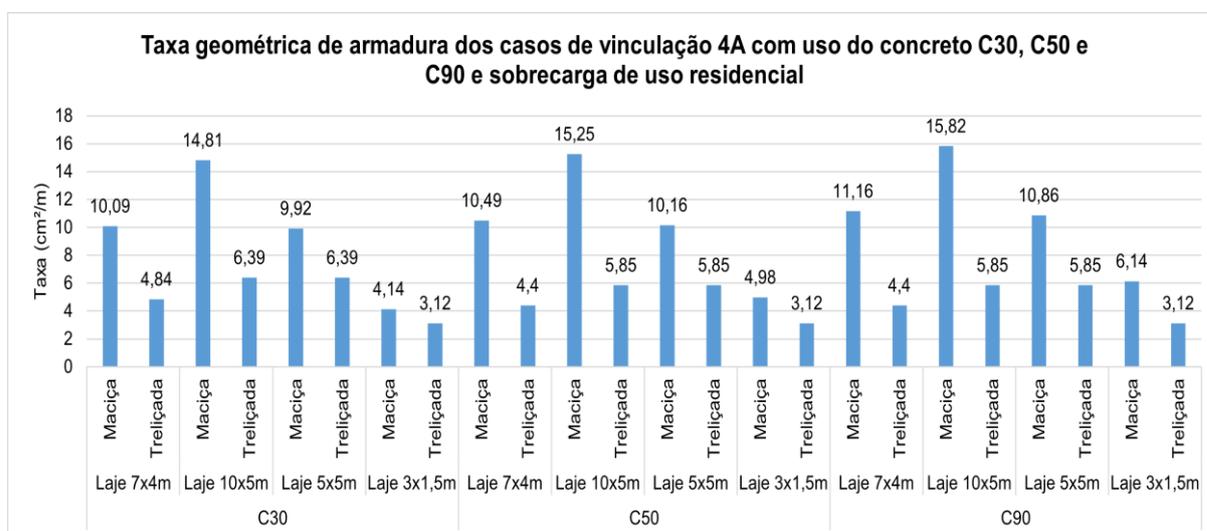
Pode-se perceber que, ao posicionar as vigotas em vãos iguais (5 metros de vão nas lajes 10x5m e 5x5m), as taxas de armadura das lajes treliçadas mantiveram-se constantes. Isso ocorre devido ao cálculo das lajes treliçadas ser feito considerando as nervuras como vigas unidirecionais responsáveis por suportar uma área de influência, fazendo com que as armaduras sejam iguais para uma mesma carga, independente do vão perpendicular ao sentido da vigota.

Os resultados também indicam que, para qualquer vão, o caso de vinculação 4A é o que possui maior diferença nas taxas geométricas das lajes pré-fabricadas para as lajes maciças.

Esta alta variação da taxa de armadura no caso 4A ocorre porque, neste caso, existem duas bordas engastadas perpendiculares ao sentido do maior vão das lajes maciças fazendo com que haja maior esforços de momentos fletores negativos e conseqüentemente maior taxa de armadura negativa nessas bordas.

Como no caso de vinculação 4A obteve-se maior diferença nas taxas de armadura, foi analisado a influência da resistência do concreto nas lajes maciças e pré-fabricadas, alterando a resistência de C30 para C50 e depois para o C90. A figura 10 apresenta o gráfico das taxas geométricas de armadura para os casos de vinculação 4A com uso do concreto C30, C50 e C90 para sobrecarga de uso residencial.

FIGURA 10 – Taxa geométrica de armadura dos casos de vinculação 4A com uso do concreto C30, C50 e C90 para sobrecarga de uso residencial



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados indicam que para as lajes maciças, ao aumentar a classe de resistência do concreto de C30 para C50 e C90, houve aumento da taxa de armadura. Entretanto, para as lajes treliçadas, o aumento da classe de resistência do concreto de C30 para C50 e C90 fez com que houvesse uma diminuição de 9,10% na laje 7x4m e 8,45% nas lajes 10x5m e 5x5m. Para a laje 3x1,5m não houve diminuição da taxa de armadura da laje treliçada, visto que somente a armadura da treliça é suficiente para suportar a carga da laje, sendo a mesma, impossível de reduzir.

A diminuição da taxa geométrica para as lajes treliçadas ocorreu devido ao fato de que, ao considerar os concretos de classe C50 e C90, pode-se diminuir 1cm de sua capa superior fazendo com que seu peso-próprio diminuísse e conseqüentemente necessitasse de menos armadura. Comparando a taxa de armadura das lajes treliçadas, entre os concretos C50 e C90, não houve alterações, devido ao fato de que a laje já estava com a espessura mínima de capa de concreto especificada pela ABNT NBR 6118:2014, tornando impossível a diminuição da espessura da laje.

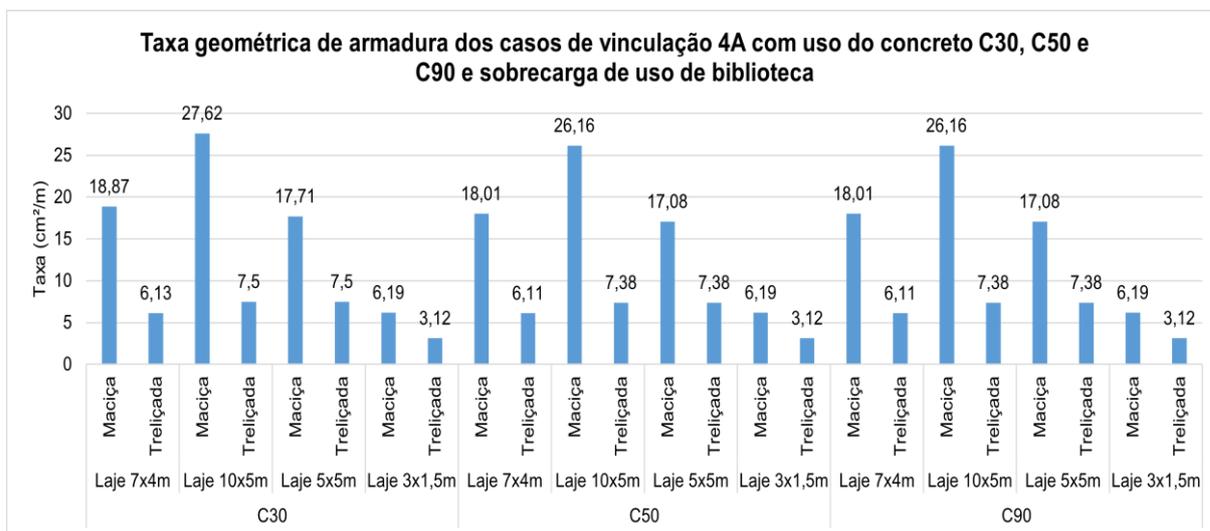
Já o acréscimo de taxa de armadura nas lajes maciças ocorreu devido ao fato de que, ao aumentar a resistência do concreto para C50 e C90, as taxas de armaduras mínimas também aumentaram em relação ao concreto C30. O aumento da armadura mínima se deve ao fato de que os concretos de alta resistência são mais frágeis, necessitando de uma ductilidade maior para que não haja ruptura frágil. Em função da sobrecarga de uso residencial ser pequena, obteve-se que a armadura calculada foi inferior à armadura mínima para os concretos de classe C50 e C90, sendo assim, foi necessário considerar a armadura da laje como armadura mínima dos concretos de classe C50 e C90.

4.2 Lajes de uso para biblioteca

Para analisar a influência da resistência do concreto nas taxas de armaduras, já que no caso anterior obteve-se armaduras mínimas, dimensionou-se as lajes maciças e treliçadas considerando o caso de vinculação que possui maior diferença das taxas de armaduras (caso 4A) e a sobrecarga de uso de bibliotecas com estantes com até 2,20 metros de altura, obtendo-se uma sobrecarga de 6,00 kN/m².

A figura 11 apresenta o gráfico das taxas geométricas de armadura para os casos de vinculação 4A com uso do concreto C30, C50 e C90 para sobrecarga de uso de biblioteca.

FIGURA 11 – Taxa geométrica de armadura dos casos de vinculação 4A com uso do concreto C30, C50 e C90 para sobrecarga de uso de biblioteca



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados indicam que, utilizando uma sobrecarga de uso de biblioteca, para as lajes maciças, ao aumentar a classe de resistência do concreto de C30 para C50 e C90, houve diminuição da taxa de armadura de 0,86 cm²/m (4,56%) na laje 7x4m, 1,46 cm²/m (5,29%) na laje 10x5m e 0,63 cm²/m (3,56%) na laje 5x5m. Para a laje 3x1,5m não houve diminuição da taxa de armadura da laje maciça, pois, para ambas as classes de concreto, necessitou-se somente da armadura mínima para resistir aos esforços.

A diminuição da taxa de armadura nas lajes maciças, ao aumentar a classe de resistência do concreto de C30 para C50 e C90, ocorreu devido ao fato de que, como a espessura da laje manteve-se a mesma, o aumento da resistência do concreto fez com que houvesse a diminuição da linha neutra e conseqüentemente a diminuição da taxa de armadura.

Comparando os concretos C50 e C90, para as lajes maciças, não houve diminuição da taxa de armadura. Isso ocorreu devido ao fato de que, ao aumentar a resistência do concreto de C50 para C90 não houve diminuição significativa na posição da linha neutra, fazendo com que a taxa de armadura se mantivesse igual.

Para as lajes treliçadas, utilizando sobrecarga de uso de biblioteca, ao aumentar a classe de resistência do concreto de C30 para C50 e C90, obteve-se a diminuição da taxa de armadura de 0,02 cm²/m (0,33%) na laje 7x4m e 0,12 cm²/m

(1,60%) nas lajes 10x5m e 5x5m. Para a laje 3x1,5m não houve diminuição da taxa de armadura da laje treliçada, visto que somente a armadura da treliça é suficiente para suportar a carga da laje, sendo a mesma, impossível de reduzir.

Assim como nas lajes treliçadas com sobrecarga de uso residencial, a diminuição da taxa geométrica para as lajes treliçadas com sobrecarga de uso de biblioteca ocorreu devido ao fato de que, ao considerar os concretos de classe C50 e C90, pode-se diminuir 1cm de sua capa superior fazendo com que seu peso-próprio diminuísse e conseqüentemente necessitasse de menos armadura. Comparando a taxa de armadura das lajes treliçadas entre os concretos C50 e C90 não houve alterações, ao considerar concreto C90 seria possível diminuir sua seção, porém, ao diminuir a seção, a laje sofreria deformação excessiva superior ao permitido pela ABNT NBR 6118:2014 (devido a sobrecarga ser maior), portanto, a seção para os concretos C50 e C90 mantiveram-se iguais e conseqüentemente necessitaram-se da mesma taxa de armadura.

5 CONCLUSÃO

Ao aumentar o vão das lajes, ambas os sistemas de lajes analisados aumentam sua taxa de armadura, entretanto, as lajes treliçadas apresentam menor acréscimo da taxa de armadura. Isto ocorre devido a substituição da parte do concreto tracionado por um material inerte mais leve, fazendo com que o peso próprio da laje treliçada seja menor do que da laje maciça.

O uso da laje maciça necessita de menor taxa de armadura do que a laje treliçada no caso de vinculação tipo 1, portanto, percebe-se que para os casos em que não exista lajes adjacentes é apropriado utilizar lajes maciças. Entretanto, devido ao fato das lajes treliçadas serem consideradas biapoiadas e não necessitarem de armaduras negativas, identificou-se que as lajes treliçadas são mais eficientes para as situações em que existam lajes adjacentes.

As nervuras são consideradas como vigas unidirecionais biapoiadas responsáveis por resistir a uma área de influência, sendo assim, para uma mesma carga e mesmo vão, as taxas de armaduras serão as mesmas, independentemente do tamanho do vão perpendicular as vigotas, portanto, conclui-se que a direção da vigota influencia diretamente sobre a taxa de armadura necessária e os resultados mostraram que para

os vãos de até 5 metros, as lajes treliçadas são mais eficazes que as lajes maciças (exceto para o caso de vinculação 1).

O caso de vinculação 4A é o que possui maior diferença entre as taxas de armaduras, devido ao fato de que, para os casos 4A, nas lajes maciças, existem duas bordas engastadas perpendiculares ao sentido do maior vão, fazendo com que os momentos fletores negativos sejam maiores e conseqüentemente necessitem de maior taxa de armadura do que as lajes treliçadas.

Nas lajes maciças de uso residencial, ao considerar concretos de classe C50 e C90, há aumento da taxa de armadura em relação ao concreto C30, portanto, o uso de concreto de alta resistência em lajes maciças de uso residencial não traz benefícios na redução da taxa de armadura. Já para as lajes treliçadas de uso residencial, ao considerar concretos C50 e C90, há redução da taxa de armadura, portanto, o aumento da classe de resistência do concreto beneficia a redução da taxa de armadura nas lajes treliçadas de uso residencial.

Nas lajes maciças de uso biblioteca, o aumento da classe de resistência do concreto beneficia na redução da taxa de armadura, portanto, o uso de concretos de alta resistência proporciona uma redução da taxa de armadura. Para as lajes treliçadas de uso de biblioteca, também há redução da taxa de armadura, portanto, para lajes treliçadas com sobrecarga elevadas, a classe do concreto beneficia na taxa de armadura, entretanto, o benefício é inferior se comparado as lajes treliçadas de uso residencial.

Pode-se perceber que em todos os casos o aumento da classe de resistência do concreto proporcionou redução da taxa de armadura (exceto nas lajes maciças de uso residencial), entretanto, deve-se realizar um estudo para analisar a relação da redução de custos ao reduzir a taxa de armadura e aumentar a classe de resistência do concreto.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de um comparativo com outros sistemas de lajes, como por exemplo, as lajes pré-moldadas protendidas. Também recomenda-se realizar um comparativo extrapolando os vãos e os carregamentos para analisar a eficiência entre as lajes maciças e as lajes treliçadas.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. **Treliças Nervuradas**. Belo Horizonte: Arcelormittal, 2017. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro: Abnt, 2014.

_____. **NBR 6120**: Ações para cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: Abnt, 2019.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: Abnt, 2017.

_____. **NBR 14859-1**: Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.

_____. **NBR 14859-2**: Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2016.

_____. **NBR 14859-3**: Lajes pré-fabricadas de concreto - Parte 3: Armaduras treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2017.

ARAÚJO, José Milton de. Método simplificado para cálculo de lajes maciças apoiadas em vigas flexíveis: validação por meio da análise não linear. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, v. 1, n. 14, p. 71-81, out. 2009.

AVILLA JUNIOR, Jovair. **Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: Unesp, 2006. 92 p.

_____, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Bauru: Unesp, 2015. 115 p.

BOCCHI JUNIOR, Carlos Fernando. **Lajes nervuradas de concreto armado: projeto e execução**. 1995. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BUIATE, Marcelo; LIMA, Maria Cristina Vidigal de. **Análise do comportamento de lajes nervuradas formadas por vigotas treliçadas e sua interação com as vigas de borda**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2005. 15 p.

CAMPOS FILHO, Américo. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014. 45 p.

CARVALHO, Mailson Castelão de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. 2012. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Carlos: Editora da UFSCar, 2017.

CINTRA, Dérik Oliveira; VIEIRA, Jealisson Junior; PRAXEDES, Leandro Borges. **Cálculo da armadura adicional de lajes treliçadas unidirecionais: uma análise comparativa entre o cálculo manual e o software gerdau..** 2018. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Municipal de Franca, Franca, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Inovação ajuda empresas a ganhar mercado, reduzir custos e conservar o meio ambiente**. 2013. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/inovacao-ajuda-empresas-a-ganhar-mercado-reduzir-custos-e-conservar-o-meio-ambiente/>. Acesso em: 07 abr. 2020.

FALCETTA, Filipe Antônio Marques. **O uso do concreto na construção civil**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004. 10 p.

GONÇALVES, Stefane de Paiva. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças de concreto armado e lajes nervuradas de EPS**. 2017. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Cemasc, Maceió, 2017.

LEITE, Gabriela Borim. **Estudo dos critérios de parametrização do modelo de grelha para o cálculo de lajes maciças de concreto armado**. 2017. 59 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

MENEGON, Franci; VARGAS, Alexandre. **Análise experimental comparativa entre lajes com vigota treliçada e comum**. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2019. 14 p.

PEREIRA, Rafaela Larissa Rodrigues. **Análise comparativa entre lajes maciças convencionais e lajes nervuradas**. 2017. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2017.

PINHEIRO, Libânio Miranda; SANTOS, Andreilton de Paula; MUZARDO, Cassiane Daniele; SANTOS, Sandro de Paula. Aços para armaduras. In: PINHEIRO, Libânio Miranda; SANTOS, Andreilton de Paula; MUZARDO, Cassiane Daniele; SANTOS, Sandro de Paula. **Estruturas de concreto**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Estruturas de São Carlos, 2010. 29 p.

PINHEIRO, Libânio Miranda; MUZARDO, Cassiane Daniele; SANTOS, Sandro de Paula. **Lajes maciças**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Estruturas de São Carlos, 2010. 29 p.

PINHEIRO, Libânio Miranda.; RAZENTE, Julio Antônio. **Estruturas de Concreto - Capítulo 17**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2003. 18 p.

PINHEIRO, Libânio Miranda; GIONGO, José Samuel. **Concreto Armado: propriedades dos materiais**. São Carlos: Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, 1986. 85 p.