

COMPARATIVO DA TAXA MECÂNICA DE ARMADURA POSITIVA DE AÇO ENTRE LAJES MACIÇAS E NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO

COMPARATIVE OF THE MECHANICAL RATE OF POSITIVE REINFORCEMENT IN STEEL BETWEEN SOLID SLABS AND NERVE

Axel Lima Martins¹

Daniel Gasparini Cardoso do Rego Vieira²

Vinicius Slompo Pinto³

Bebedouro – SP, 2020

RESUMO

Devido às exigências arquitetônicas que buscam grandes vãos, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o comparativo da taxa mecânica de armadura positiva a ser empregada em lajes maciças e nervuradas, utilizando os critérios de dimensionamento da ABNT NBR 6118:2014. É apresentado, após o cálculo e as mudanças dos parâmetros adotados, gráficos com comparativos e tabelas em porcentagem que apresentam a economia da taxa mecânica positiva de aço gerada em cada tipo de laje. A partir dos resultados deste trabalho, mostra-se a viabilidade do uso de lajes nervuradas em todas as variações realizadas, exceto quando a mesma se encontra como uma seção T verdadeira.

Palavra-chave: Lajes Maciças. Lajes Nervuradas. Concreto Armado. Dimensionamento.

ABSTRACT

Due to the architectural requirements that seek large spans, the present work aims to present the comparison of the positive mechanical reinforcement rate to be used in solid and ribbed slabs, using the design criteria of ABNT NBR 6118: 2014. After calculating and changing the adopted parameters, graphs with comparatives and percentage tables are presented that present the economy of the positive mechanical rate of steel generated in each type of slab. From the results of this work, the feasibility of using ribbed slabs in all the variations made is shown, except when it is found as a true T section.

Keyword: Solid Slabs. Ribbed Slabs. Reinforced Concrete. Sizing.

1 INTRODUÇÃO

¹ Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: axelmartinslima@hotmail.com.

² Graduando em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: daniielg9@gmail.com

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

Na construção civil, o concreto armado é responsável por proporcionar estruturas com boa estabilidade, rigidez e durabilidade. Além dessas características, o concreto armado possui diversos meios para sua aplicação nas estruturas (CORRÊA; CARVALHO, 2016).

A laje é um dos elementos que compõem o sistema estrutural das edificações em concreto armado ou alvenaria estrutural, são peças planas ou curvadas com espessura inferior às suas outras dimensões. Nesse sistema, as lajes têm como carregamentos o peso próprio da estrutura, o peso do revestimento, além de cargas acidentais e cargas permanentes. As lajes são responsáveis por transmitir os carregamentos absorvidos para as vigas, para os pilares e fundações, caso o sistema construtivo for em concreto armado (FILHO, 2014).

As lajes maciças possuem sua estrutura composta por concreto, armaduras longitudinais e transversais. Quando submetidas à flexão simples, os materiais concreto e aço têm suas propriedades mecânicas solicitadas, com o concreto resistindo à compressão e o aço à tração (BASTOS, 2015).

As lajes nervuradas moldadas *in loco* apresentam armaduras longitudinais entre as fôrmas, constituindo um sistema de viga-faixa, além de uma malha de aço acima dessas armaduras. A construção desse tipo de laje pode seguir, basicamente, o método semelhante às lajes pré-fabricadas, que se assemelham no uso de preenchimentos que geram vazios na parte inferior da laje (PINHEIRO; RAZENTE, 2003).

Devido ao custo que a combinação aço-concreto acarreta, estudos comparativos são realizados para buscar economia e melhor eficiência dos materiais empregados que resistem aos esforços solicitantes (SILVA, 2002).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um comparativo da taxa mecânica de armadura positiva de aço entre lajes maciças e lajes nervuradas, ambas de concreto armado utilizando as diretrizes da ABNT NBR 6118:2014. Foi realizada a variação dos vãos das lajes, do concreto utilizado, tipos de vinculações das lajes, aplicação de sobrecarga na estrutura, e a análise das incompatibilidades de cálculo quando a estrutura não se comporta mais como uma seção T falsa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

O concreto é aplicado em diversas etapas da construção civil, os materiais constituintes são encontrados no mercado nacional com facilidade. Ele possui características positivas, como: custo relativamente baixo se comparado a outras estruturas, além de ser resistente a choques e vibrações. Os materiais constituintes utilizados em sua mistura são: (BASTOS, 2006):

- a) Cimento Portland;
- b) Agregado miúdo;
- c) Agregado graúdo;
- d) Água.

Além dos componentes básicos, podem ser adicionados aditivos e adições, que modificam e/ou melhoram as propriedades físicas, químicas e mecânicas (ABNT NBR 11768:2011).

O concreto é um elemento com alta resistência a compressão e baixa resistência a tração. Diante disso, no cálculo das tensões, é apenas considerado a área comprimida das seções de concreto armado, visto que se presume nulo os esforços a tração no concreto (BASTOS, 2019).

2.2 Aço

A importância do aço na construção civil, se deve ao fato de que, em concordância com o concreto, suas propriedades físicas e mecânicas trabalham em conjunto na estrutura. Além de serem empregados juntos, separadamente o aço desenvolve bem suas funções quando solicitado a compressão e a tração (PINHEIRO et al., 2010).

Para garantir maior aderência entre o concreto e o aço, a categoria CA-50 e CA-60 possuem ranhuras ao longo da sua estrutura (ABNT NBR 7480:2007). Podem ser encontrados, no mercado, 3 categorias de aços utilizados no concreto armado, são eles:

- a) AÇO CA-25;
- b) AÇO CA-50;
- c) AÇO CA-60.

O aço é responsável por resistir aos esforços de tração no concreto armado, além de possuir como característica mecânica a ductilidade, ou seja, capacidade do material se deformar sem se romper (FERRAZ, 2005).

2.3 Estados Limites e Linha Neutra

Quando uma estrutura de concreto armado, não satisfaz condições previstas de uso, ou não pode ser mais utilizada, significa que foi atingido seu estado limite. Para efeito de cálculo, se dimensiona as estruturas de concreto armado em dois estados limites, o estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS) (ABNT NBR 6118:2014).

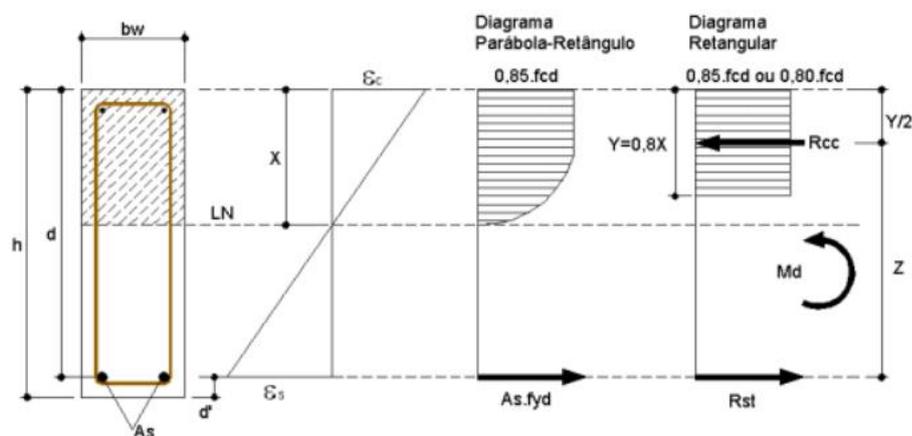
O ELU é a capacidade máxima que uma estrutura consegue suportar, mantendo a integridade da edificação e segurança aos usuários. Deve-se interditar a edificação, em partes ou no todo caso haja sinais patológicos que demonstrem que a estrutura está em estado de ruína, ou seja, quando a segurança e estabilidade da edificação são comprometidas (PINHEIRO et al., 2016).

Já o ELS, corresponde às condições precárias de serviço. Essas condições prejudicam a vida útil e o conforto que a estrutura deve fornecer (CAMACHO, 2005).

A linha neutra é encontrada nas seções de concreto armado, onde as tensões solicitantes de compressão e tração são nulas. É medida da borda mais comprimida até o seu centro de gravidade. Em peças submetidas à flexão simples, como lajes e vigas, busca-se realizar os dimensionamentos visando uma ruptura dúctil, e a posição da linha neutra é fundamental (ARAÚJO, 2009).

A figura 1, demonstra um corte em uma seção retangular de concreto armado:

FIGURA 1 – Seção retangular de concreto armado



Em que:

- h – Altura da seção;
- b_w – Largura da seção;
- d – Altura útil da seção, distância do centro da armadura inferior até a borda mais comprimida;
- A_s – Área de aço da armadura tracionada.
- LN – Linha neutra.

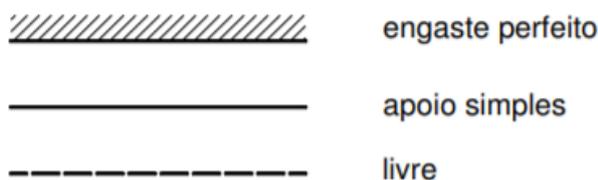
2.4 Lajes

As lajes são elementos que constituem os pisos em estruturas correntes de concreto armado. As lajes são solicitadas a esforços normais ao seu plano, e podem ser encontradas em forma de placa, plana ou curvada (FILHO, 2014).

Os tipos de lajes são definidos conforme suas vinculações, apoios e sistema construtivo. Os diferentes tipos de lajes possuem características e propriedades específicas para aplicação de acordo com o projeto arquitetônico, local da obra, cronograma e mão de obra e ramificam-se em lajes maciças, lajes nervuradas, lajes lisas e lajes cogumelo (ABNT NBR 6118:2014).

Para o cálculo de dimensionamento das lajes, é necessário analisar a vinculação adotada da laje, para determinar se há absorção parcial do momento fletor no apoio ou não. As vinculações podem ser divididas em bordas apoiadas, livre ou engastadas, como mostra a figura 2 (FILHO, 2014).

FIGURA 2 – Tipos de vinculações



Fonte: BASTOS, 2015, p. 6.

De forma que:

- Engaste perfeito: é quando a borda da laje tem continuidade com outra laje na mesma borda e/ou quando é feito o engastamento por meio de técnicas construtivas *in loco* no próprio apoio.
- Apoio Simples: é quando a borda da laje é considerada apenas apoiada, sem lajes adjacentes.

- Livre: Utilizado para lajes em balanço, quando a laje não possui apoio em determinada borda.

Outro fator importante das lajes, é a direção da sua armadura principal. É possível determinar a direção da armadura conforme a equação 1, que demonstra a relação (λ) entre o menor vão teórico (l_x) e o maior vão teórico (l_y) (BASTOS, 2015).

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad (1)$$

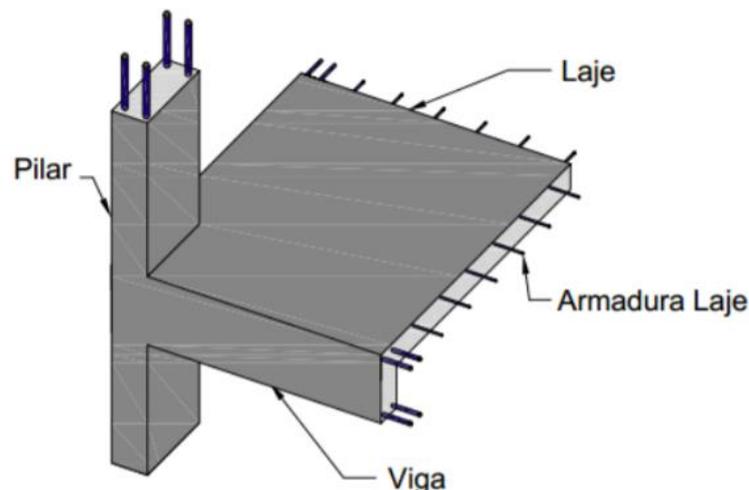
A ABNT NBR 6118:2014 determina que se $\lambda \geq 2$, sua armadura principal será inserida em apenas uma direção, mas se $\lambda < 2$, a laje deve possuir armaduras de aço em ambas as direções.

2.4.1 Lajes Maciças x Lajes Nervuradas

As lajes maciças são compostas por concreto e aço e utilizadas em edifícios, residências, pontes, reservatórios e escadas. Essas lajes têm como características a facilidade na montagem e desmontagem de escoras e fôrmas, um ágil processo de execução, além de permitir pavimentos com baixo pé-direito (BASTOS, 2015).

A figura 3 demonstra os componentes de uma laje maciça:

FIGURA 3 – Componentes de uma laje maciça



Fonte: SPHOR, 2008, p.30.

O quadro 1, apresenta as vantagens e desvantagens do uso de lajes maciças em empreendimentos da construção civil.

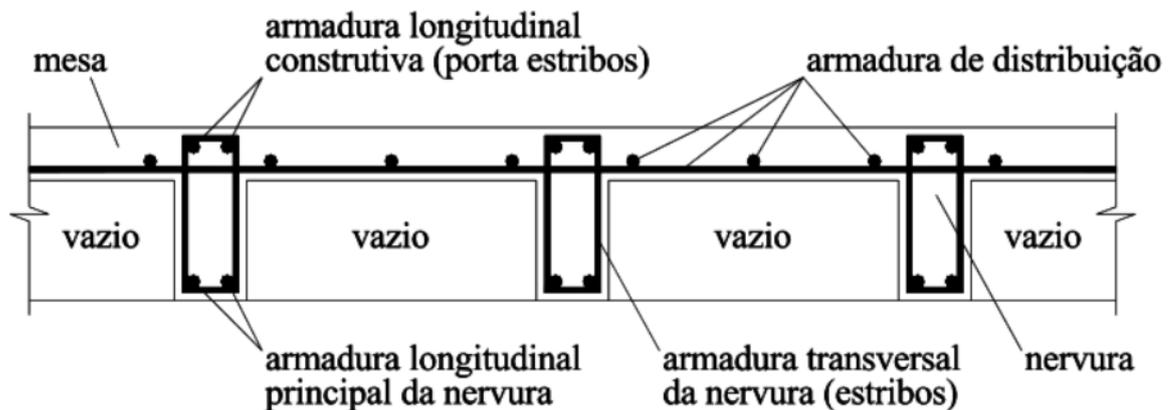
QUADRO 1 – Vantagens e Desvantagens: Lajes Maciças

Vantagens	Desvantagens
Facilidade no lançamento e adensamento do concreto	Alto consumo de madeira para fôrmas e escoramentos
Possibilita telas soldadas, reduzindo tempo de amarração das armaduras	
Segurança na execução da concretagem	Aplicação de concreto em toda a estrutura, mesmo onde não há função estrutural do concreto
Não necessita de local protegido para depósito de material inerte.	

Fonte: Adaptado de NAPPI, 1993, p.18.

A laje nervurada é composta por uma mesa de compressão (parte horizontal da seção T), nervura (parte vertical, também conhecida como alma) e material inerte. São aquelas cuja sua zona tracionada para momentos positivos é encontrada nas nervuras e, por sua vez, entre elas, é alocado material inerte que forma um vazio na estrutura para economia de concreto (BASTOS, 2015).

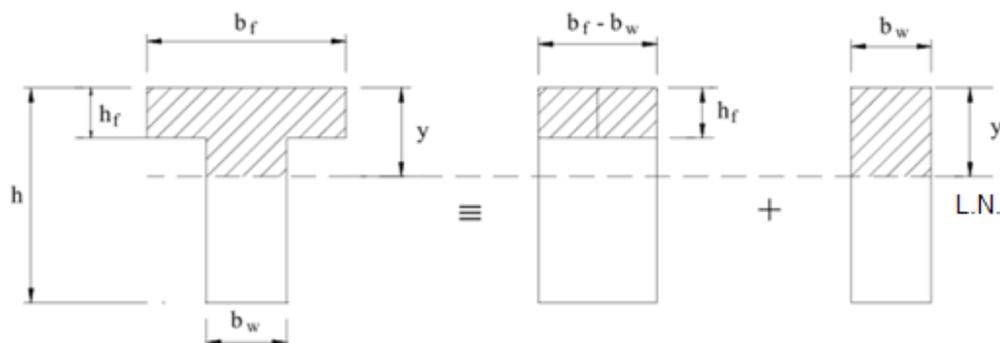
FIGURA 4 – Seção transversal de uma laje nervurada



Fonte: SILVA, 2005, p. 81.

Para efeito de dimensionamento, a posição da linha neutra é essencial, visto que em lajes nervuradas, podem haver comportamentos diferentes de dimensionamento de acordo com sua posição. Quando a linha neutra se encontra na mesa de compressão, deve-se dimensionar a seção “T” como uma viga de seção retangular, porém, quando a linha neutra se encontra na nervura, há um aumento de seção comprimida, o que muda o método de cálculo, que é denominado de seção “T” verdadeira (STRAMANDINOLI, 2003).

FIGURA 5 – Estrutura de uma Seção “T” verdadeira



Fonte: Adaptado de PINHEIRO et al., 2004.

A ABNT NBR 6118:2014, item 13.2.4.2 dita as espessuras mínimas da mesa de compressão das lajes nervuradas. Quando não há cruzamento entre eletrodutos na mesa de compressão e, o diâmetro dos eletrodutos for inferior a 10 mm, a mesa deve possuir no mínimo 5 cm de espessura, porém com eletrodutos de diâmetro maior que 10 mm, a espessura mínima deve ser de:

$$h = 4 \text{ cm} + \phi \quad (1)$$

As nervuras não devem ter espessura inferior a 5 cm, além de que, quando sua dimensão for inferior a 8 cm, não deve ser dimensionada armadura de compressão na nervura (ABNT NBR 6118:2014).

Os preenchimentos utilizados como material inerte nas lajes nervuradas, variam conforme indicação do projetista. No mercado, são encontrados placas de EPS, formas de polipropileno, além da lajota cerâmica que é utilizada em lajes pré-fabricadas (SILVA, 2002).

FIGURA 6 – Materiais utilizados para gerar vazio em lajes nervuradas



Fonte: Elaborado pelo autor

O quadro 2, apresenta as vantagens e desvantagens do uso de lajes nervuradas em empreendimentos da construção civil.

QUADRO 2 – Vantagens e Desvantagens: Lajes Nervuradas

Vantagens	Desvantagens
Viabilidade para vencer maiores vãos	Exige cuidados na concretagem, pois o concreto deve preencher as nervuras por completo
Maior flexibilidade no posicionamento das paredes e pilares	
Baixo consumo de concreto	Local apropriado para estocar material inerte
Estrutura com menor peso próprio	Maior altura total da laje
Menor consumo de aço	Mão de obra especializada

Fonte: Adaptado de NAPPI, 1993, p.18.

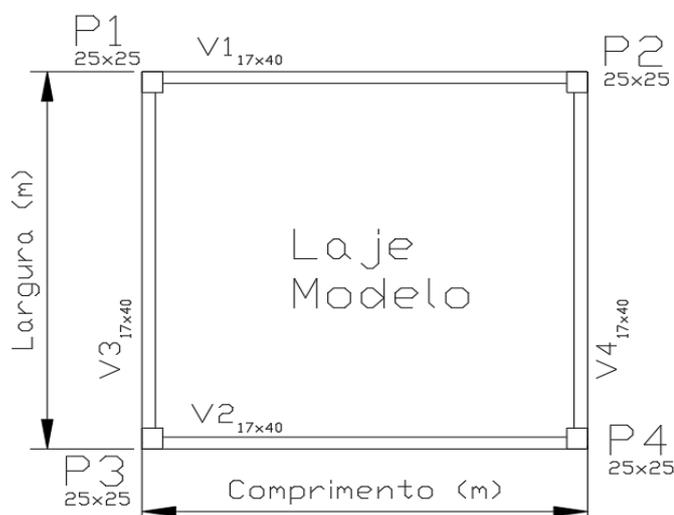
3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho tem como base, o dimensionamento da taxa mecânica de armadura positiva de aço das lajes maciças e nervuradas. Diante disso, é realizado uma marcha de cálculo específico para cada uma delas, seguindo parâmetros e critérios de cálculo apontados pela ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto — Procedimento), caracterizando-se como um trabalho que detém uma abordagem quantitativa de dados. Ao final, o comparativo fornece dados em formas de gráficos e tabelas.

3.1 Cenário proposto

O cenário proposto para o comparativo dos dimensionamentos está representado na figura 7 abaixo.

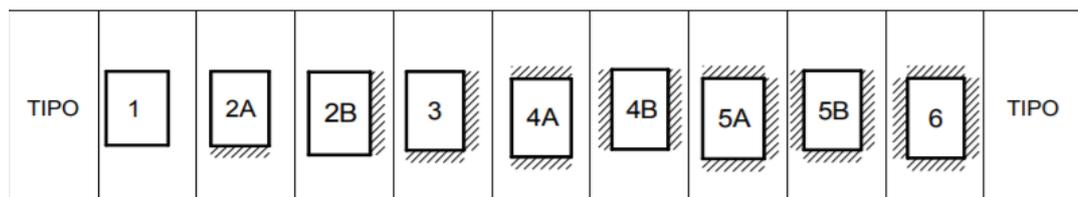
FIGURA 7 – Cenário proposto para o comparativo dos dimensionamentos (sem escala)



Fonte: Elaborado pelo autor.

- a) A laje modelo foi utilizada para os dimensionamentos como laje maciça e laje nervurada, variando sua largura e comprimento.
- b) Foram impostas 4 dimensões diferentes para a laje modelo, em que largura x comprimento adotadas para a análise foram, respectivamente:
- Laje modelo 1 – (5m x 5m);
 - Laje modelo 2 – (10m x 10m);
 - Laje modelo 3 – (15mx15m);
 - Laje modelo 4 – (15m x 7m).
- c) Foi realizado o cálculo considerando todas as vinculações de borda demonstrado pela figura 8. Não foi realizado o cálculo de armaduras negativas, visto que não há lajes adjacentes da laje modelo.

FIGURA 8 – Tipos de vinculações para dimensionamento de lajes



Fonte: Adaptado de PINHEIRO et al., 2010.

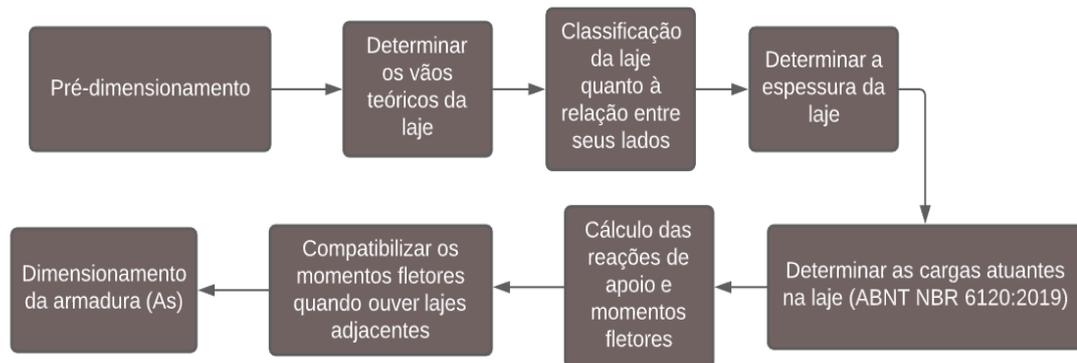
- d) As cargas aplicadas na laje modelo foram:
- O peso do piso + revestimento: 1 KN/m²;
 - O tipo de edificação é residencial, com o local sendo um dormitório, com valor de carga de 1,5 KN/m² (ABNT NBR 6120:2019);
 - Peso específico do concreto armado: 25 KN/m³
- e) Foram adotados 3 valores de resistência característica do concreto (f_{ck}) para o cálculo, são eles:
- 20 MPa;
 - 25 MPa;
 - 35 MPa;
- f) Os métodos de cálculo foram realizados no software *Microsoft Excel 2007*. Foram gerados tabelas e gráficos para ambos os dimensionamentos.

Após todas as análises, foi aplicada uma sobrecarga de 9kN/m² na estrutura da laje modelo 3, devido ser a laje com maior vão livre além da análise se dimensionada com concreto de alta resistência. A sobrecarga se deve para análise do comportamento da seção, buscando uma seção com maior área de compressão para análise dos efeitos do aumento da resistência característica do concreto.

3.2 Dimensionamento de uma laje maciça

A figura 9, demonstra o fluxograma que apresenta o método utilizado para se dimensionar uma laje maciça.

FIGURA 9 – Dimensionamento de lajes maciças



Fonte: Elaborado pelo autor.

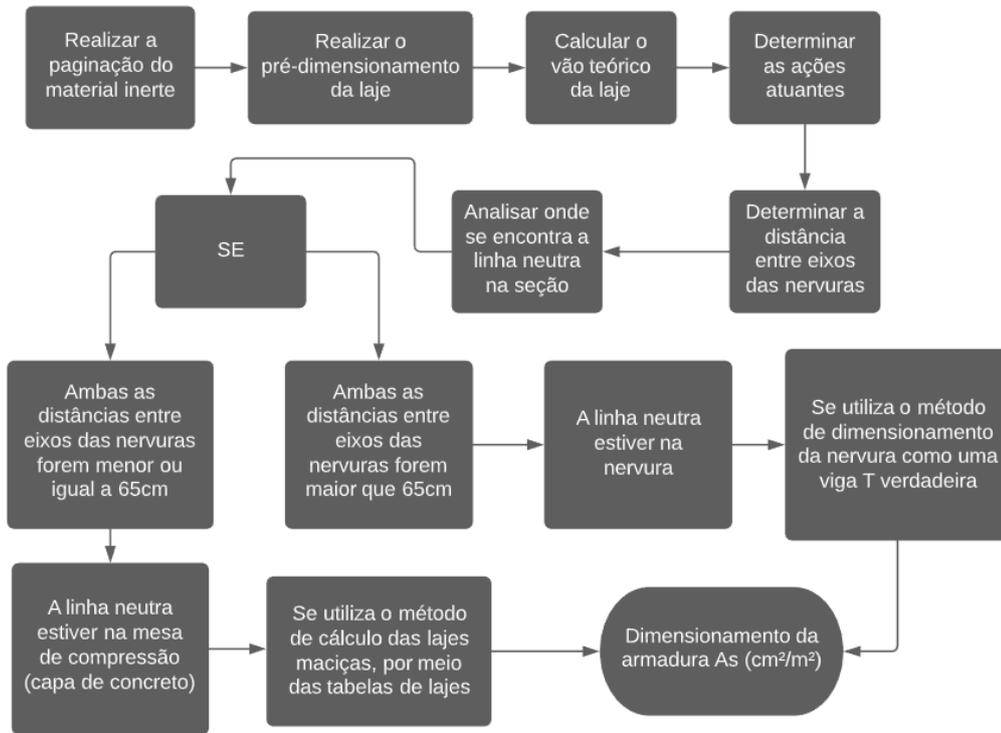
3.3 Dimensionamento de uma laje nervurada

As lajes nervuradas são conhecidas por formarem um conjunto de seções T na laje, com base nisso, a ABNT NBR 6118:2014 especifica as seguintes condições de cálculo:

- Para lajes com distância entre eixos de nervura menor ou igual a 65cm, se dispensa a verificação da flexão na mesa, portanto se considera os critérios de laje maciça;
- Para lajes com distância entre eixos de nervura entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão na mesa, e as nervuras verificadas ao cisalhamento como vigas;
- Para lajes nervuradas com distância entre eixos maior que 110 cm, a mesa de compressão deve ser dimensionada como uma laje maciça, apoiada em grelhas de vigas.

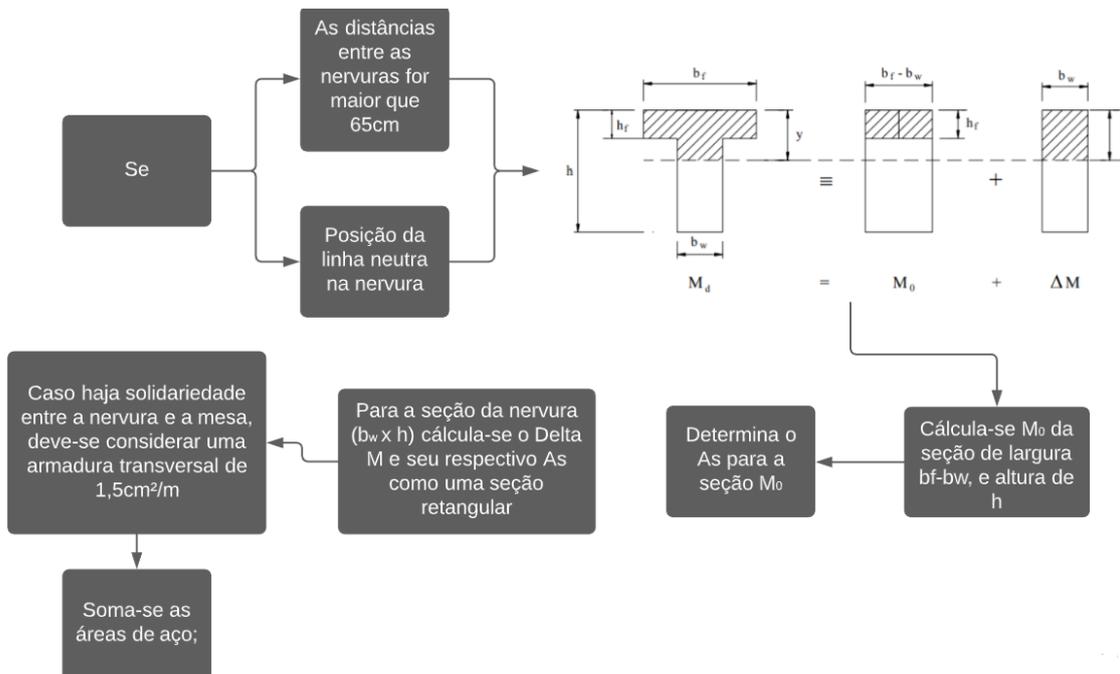
A figura 10, demonstra o fluxograma que apresenta o método utilizado para se dimensionar uma laje nervurada. Caso a seção da laje nervurada for uma seção viga T verdadeira, a figura 11 demonstra as etapas de cálculo.

FIGURA 10 – Fluxograma de dimensionamento das lajes nervuradas



Fonte: Elaborado pelo autor.

FIGURA 11 – Fluxograma de dimensionamento para lajes nervuradas com seção T verdadeira



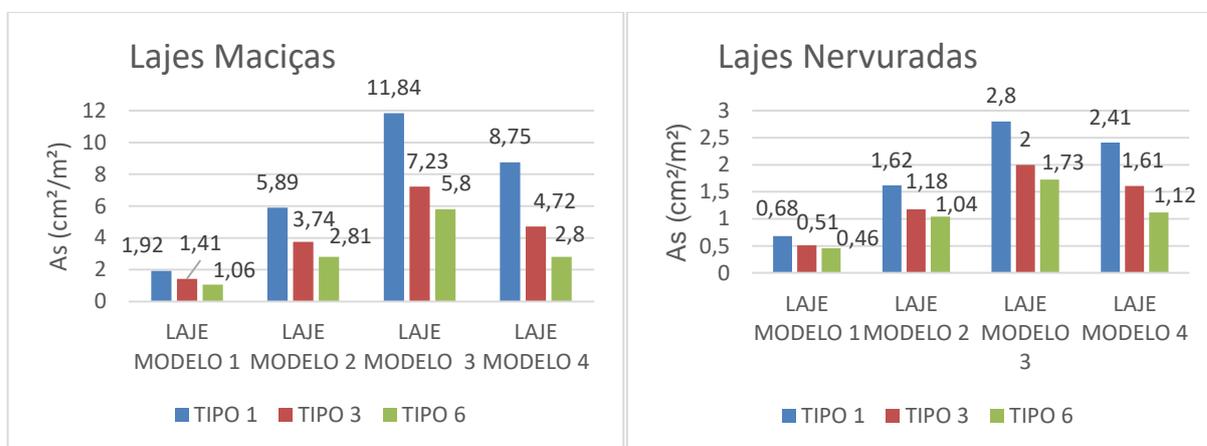
Fonte: Elaborado pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No dimensionamento das lajes modelos como lajes maciças e nervuradas, foram divididas as análises em 4 etapas:

4.1 Vinculações

GRÁFICO 1 – Análise da taxa mecânica de aço positiva consumidas pelas lajes modelos como lajes maciças e nervuradas por meio da influência dos tipos de vinculações



Fonte: Elaborado pelo autor.

TABELA 1 – Economia em porcentagem da taxa mecânica de aço positiva quanto à influência das vinculações no dimensionamento das lajes

VINCULAÇÕES	LAJE MODELO 1	LAJE MODELO 2	LAJE MODELO 3	LAJE MODELO 4
	As (cm²/m²)	As (cm²/m²)	As (cm²/m²)	As (cm²/m²)
TIPO 1	1,92	5,89	11,84	8,75
TIPO 3	1,41	3,74	7,23	4,72
TIPO 6	1,06	2,81	5,8	2,8
Economia em %	-45,01%	-52,25%	-50,97%	-67,97%

Fonte: Elaborado pelo autor.

As vinculações foram alternadas e calculadas do tipo 1, em que se considera as quatro bordas livres, ao tipo 6 em que se considera as quatro bordas totalmente engastadas. No gráfico 1, é possível notar que, ao se alternar as vinculações, a taxa mecânica de aço diminui conforme são consideradas mais bordas engastadas.

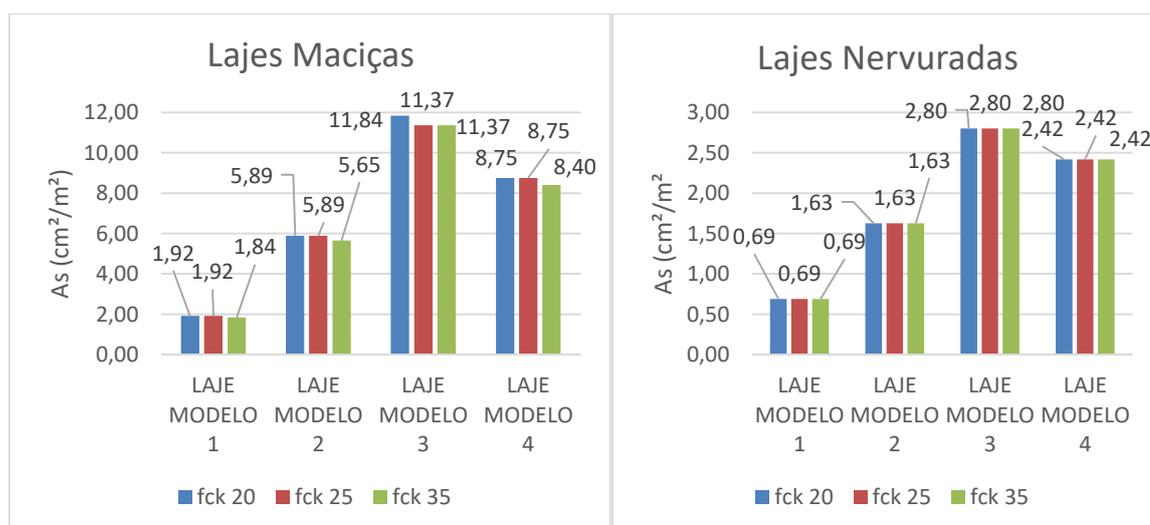
Para laje modelo 1 por exemplo, dimensionada como laje maciça, tem-se uma área de aço positiva de 1,92 cm²/m² quando se considera o tipo de vinculação 1, porém a mesma laje modelo, com as quatro bordas engastadas (tipo 6), consome uma taxa de aço positiva de 1,06 cm²/m², uma média de 45% em economia de aço. Para as lajes modelo 2, 3 e 4 foram obtidas uma média em economia de aço de 50%, 50% e 65% respectivamente, como apresentado na tabela 1.

Para laje modelo 1, dimensionada como uma laje nervurada, a área de aço por metro quadrado consumida foi de 0,68 cm²/m² com as quatro bordas livres (vinculação tipo 1), enquanto a mesma laje modelo com as bordas engastadas consumiu 0,46 cm²/m², uma economia de 32%. Para as lajes modelo 2, 3 e 4 houve, em média, economia de aço de 35%, 38% e 53% respectivamente.

A economia gerada pelas vinculações se deve ao fato de que parte do momento fletor positivo é absorvido pelos apoios, conforme se considera mais bordas engastadas, ou seja, há uma diminuição da área de aço positiva nas lajes, porém há um aumento na taxa de aço negativa nos apoios.

4.2 Classe do concreto

GRÁFICO 2 – Análise da taxa mecânica de aço positiva consumidas pelas lajes modelos como lajes maciças e nervuradas para os concretos C20, C25 e C35



Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico 2, apresenta o valor calculado da taxa mecânica de aço positiva das lajes modelos e a influência do aumento da resistência do concreto nas lajes. Foi

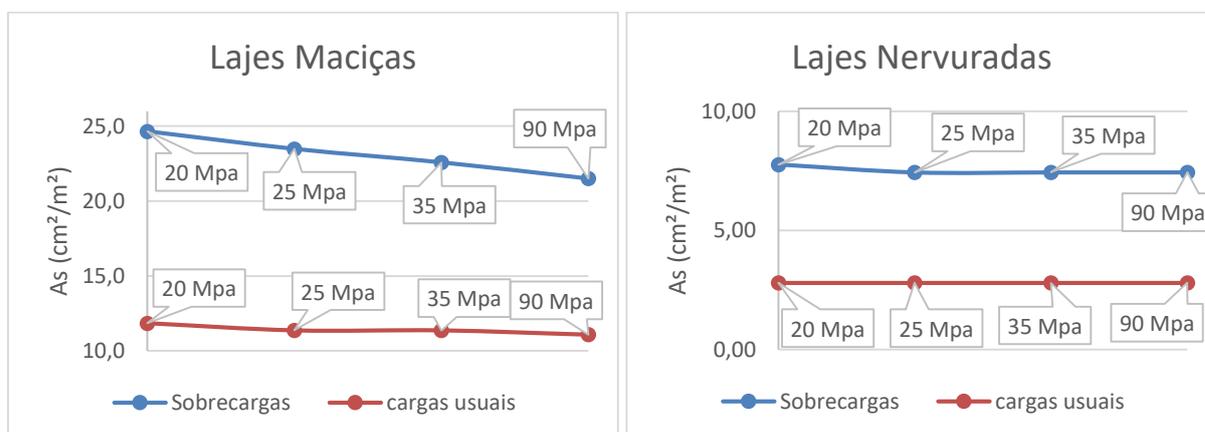
considerado o tipo de vinculação 1, no qual todas as bordas são apoiadas, o que influi em maior momento fletor positivo para análise dos resultados.

Devido as propriedades mecânicas do concreto serem desempenhadas apenas em seções comprimidas, a influência do mesmo nas lajes depende do quão comprimida a seção se encontra. Porém, quanto maior o vão a se vencer, para uma laje bi-apoiada, mais seção tracionada deve ter. Nessas áreas, o concreto serve apenas para ligação estrutural da mesa de compressão com a nervura.

Para tornar uma seção mais comprimida, pode-se aumentar as cargas aplicadas na laje, que faz com que a linha neutra fique mais abaixo na seção e aumente a seção comprimida. No tópico 4.3, é realizado o dimensionamento com sobrecargas nas lajes, além de analisar o uso de concretos de alta resistência nas seções mais comprimidas.

4.3 Sobrecarga e Concreto de alta resistência

GRÁFICO 3 – Análise da influência do concreto de alta resistência C90 e sobrecarga aplicada no dimensionamento, das lajes maciças e lajes nervuradas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 3, é apresentado as áreas de aço (A_s), para o dimensionamento das lajes modelos utilizando concretos com resistência à compressão crescente (20, 25, 35 e 90 MPa) com e sem a sobrecarga aplicada. Nota-se que a linha de tendência traçada, entre a área de aço consumida com o uso do concreto de classe C20 para o uso do concreto classe C90 tem uma tendência de queda para as lajes maciças, ou seja, uma economia com o uso de concretos de alta resistência.

Também nota-se que, com maior carga aplicada nas lajes, gera-se maior compressão na laje. Isso significa que, para a influência de um concreto de alta resistência buscando a economia de aço, deve-se buscar uma seção muito comprimida, o que nem sempre representa as das lajes bi-apoiadas, que possuem cargas reduzidas nos edifícios usuais.

No gráfico 3, como as lajes nervuradas possuem a maior parte da sua seção tracionada, o aumento da resistência à compressão do concreto não teve influência. É necessário aplicar uma sobrecarga muito maior, para que a região comprimida aumente e o concreto possa atuar positivamente.

4.4 Incompatibilidade de cálculo (Seção T verdadeira)

Na tabela 2 é apresentada a análise de uma laje nervurada dimensionada como uma seção de viga T falsa. Após acréscimo de carga e/ou a diminuição de sua altura total, a seção passou a se comportar como uma seção T verdadeira, e portanto foi realizado o dimensionamento.

TABELA 2 – Taxa de armadura de aço positiva em uma seção T falsa e uma seção T verdadeira

Laje Nervurada	As (cm ² /m ²)
Seção T falsa	2,8
Seção T verdadeira	17,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

A taxa mecânica de aço positiva (cm²/m²), quando uma laje é dimensionada como seção T verdadeira, aumenta cerca de 6 vezes se comparada a uma seção de T falsa. Por isso, o projetista deve sempre se atentar com a posição da linha neutra ao dimensionar uma laje nervurada.

Isso se deve às mudanças de cálculos no dimensionamento, com a linha neutra na nervura, a seção possui uma nova área de compressão que quando se considera uma seção retangular não é considerada.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos e conceitos estudados, é possível verificar a eficiência das lajes nervuradas sobre as lajes maciças em alguns aspectos.

Quando há o aumento do vão teórico, ambas as estruturas aumentam sua taxa mecânica de armadura devido ao aumento de carga permanente e variável. Com base nesse raciocínio, as lajes nervuradas de concreto armado (LNC) consomem menos área de aço que as lajes maciças de concreto armado (LMC) devido a presença de material inerte entre as nervuras, o que diminui o peso próprio da estrutura, colaborando de forma positiva na diminuição das cargas permanentes.

Quando se analisa as vinculações, ambas possuem efeito positivo na economia de aço, já que há transferência de momentos positivos da laje para os apoios.

Quando se analisa o impacto do aumento da resistência característica a compressão do concreto (f_{ck}) verifica-se que há maior influência em seções muito comprimidas. No caso das lajes, sujeitas a flexão simples, essa influência está diretamente ligada se a peça em questão estar submetida a grandes tensões de compressão. Como foi apresentado nos resultados, a influência do f_{ck} nas lajes nervuradas é de 0% visto que é uma seção quase inteira tracionada.

Quando se analisa as sobrecargas, nota-se que é necessário carregamento elevado para modificar o comportamento de uma LNC de seção viga T falsa para viga T verdadeira, portanto é necessário analisar as exigências de projeto, para se viabilizar o dimensionamento como uma seção T verdadeira. Para evitar, ou mesmo se, após o cálculo, a linha neutra se encontrar na nervura, o projetista pode optar pelo aumento da altura útil da seção (d), por alterar o tipo de vinculação da laje para diminuir seu momento fletor positivo, diminuir o vão da laje nervurada em análise, ou mesmo aumentar o b_f , que é a largura entre eixos da nervura.

Por fim, a tabela 3 abaixo demonstra a economia em armadura de aço positiva (A_s) ao se optar por uma mudança de sistema construtivo, ou seja, de LMC para LNC.

TABELA 3 – Economia de área de aço positiva A_s

LMC → LNC	LAJE 1	LAJE 2	LAJE 3	LAJE 4
% de Economia	70	70	70	80

Fonte: Elaborado pelo autor.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120:2019. **Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480:2007. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11768:2011. **Aditivos químicos para concretos de Cimento Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ARAÚJO, J. M. **Dimensionamento à flexão simples de seções transversais de concreto armado com ênfase na ductilidade**. Teoria e Prática na Engenharia Civil. Rio Grande, p. 1-13. Não é um mês valido! 2009.

BASTOS, P. S. S. Estruturas de Concreto I. In: BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru. Departamento de Engenharia Civil, 2006.

BASTOS, P. S. S. Estruturas de Concreto I. In: BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru. Departamento de Engenharia Civil, 2019.

BASTOS, P. S. S. Estruturas de Concreto I. In: BASTOS, P. S. S. **Lajes de concreto**. Bauru. Departamento de Engenharia Civil, 2015.

CAMACHO, J. S. **Concreto Armado: Estados Limites de Utilização**. 2005. 48 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005.

CORRÊA, G. H. B.; CARVALHO, J. D. N. **Análise comparativa do dimensionamento de lajes maciças de concreto armado com armadura em aço convencional (vergalhão) e telas soldadas**. Revista UningÁ, Maringá, v. 28, n. 2, p. 1-9, 22 set. 2016. Semanal.

COELHO, J. A., BANKI, A. L. **Critérios de cálculo: Impacto econômico da NBR 6118:2007 no dimensionamento de pilares de concreto armado**. Informativo da Comunidade AltoQi, n 32. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/263/643/pt-br/impacto-econ%C3%B4mico-da-nbr-61182007-no-dimensionamento-de-pilares-de-concreto-armado.html>, 2020.

FERRAZ, Henrique. O Aço na Construção Civil. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, v. 22, n. 1, p. 1-16, 06 mar. 2005. Trimestral.

FILHO, A. C. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre, 2014.

NAPPI, Sérgio Castello Branco. **Análise comparativa entre lajes maciças, com vigotes pré-moldados e nervuras**. 1993. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

PINHEIRO L. M. et. al. Capítulo 2. In: PINHEIRO, L. M. **Estruturas de Concreto**. São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas, 2010.

PINHEIRO L. M. et. al. Capítulo 5. In: PINHEIRO, L. M. **Flexão Simples na ruína: Equações**. São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas, 2016.

PINHEIRO L. M. et. al. Capítulo 9. In: PINHEIRO, L. M. **Flexão Simples na ruína: Seção T**. São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas, 2004.

PINHEIRO L. M., RAZENTE J. A. Capítulo 17. In: PINHEIRO, L. M., RAZENTE J. A. **Estruturas de Concreto**. São Carlos. Departamento de Engenharia de Estruturas, 2003.

SILVA, A. R. **ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO ARMADO**. 2002. 211 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SILVA, M. A. F. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO**. 2005. 242 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SPHOR, V. H. **ANÁLISE COMPARATIVA: SISTEMAS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E ESTRUTURAS DE LAJES NERVURADAS**. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

STRAMANDINOLI, Juliana Sá Brito et al. **Contribuições à análise de lajes nervuradas por analogia de grelha**. 2003.