

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA
MARA DA PAIXÃO MONTEIRO
MICHELLE SILVA VENÂNCIO**

**ESTUDO DE FLECHAS EM LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS DE
CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO VÃO.**

**CARATINGA
2019**

**MARA DA PAIXÃO MONTEIRO
MICHELLE SILVA VENÂNCIO**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ESTUDO DE FLECHAS EM LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS DE
CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO VÃO.**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades DOCTUM de
Caratinga, como requisito parcial para
a obtenção de título de bacharel em
Engenharia Civil.**

**Área de concentração: Estruturas de
concreto Armado.**

Orientador: José Salvador Alves

Caratinga 2019



FACULDADE DOCTUM DE CARATINGA

FOLHA DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso intitulado: ESTUDO DE FLECHAS EM LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADS DE CONCRETO ARMADO EM FUNÇÃO DO VÃO, elaborado pelos alunos MARA DA PAIXÃO MONTEIRO E MICHELLE SILVA VENÂNCIO, foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Civil da Faculdade Doctum de Caratinga, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

Caratinga, ____ de _____ 2019

Prof. Orientador

Prof. Examinador 1

Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTO

Ser grato a Deus por tudo o que ele preparou em minha vida, ser grato a minha família Mãe e Filho que são quem segurou-me quando eu pensei em cair, por cada pessoa que Deus colocou no meu caminho. A minha irmã, amiga, parceira Michelle Silva Venâncio, por ter tido paciência, com meu gênio forte, com meu jeito perfeccionista, e as vezes rude, sem você eu não conseguiria.

A gratidão é um sentimento poderoso que é capaz de transformar a maneira com a qual uma pessoa enxerga sua própria vida. Ao aprender a ser grato por tudo o que possui e conquistou, é possível se sentir ainda mais motivado e confiante para buscar o que deseja , e por isso a minha gratidão especial a quem me inspira a buscar mais , prof. Jose Salvador , longe de mim escrever uma linha de mentiras , sou grata , tenho a maior satisfação de ter sido aluna , e mais ainda de ter sido orientada por ele , por ele toda a admiração do mundo, carinho e respeito, obrigado.

(Mara da Paixão Monteiro)

AGRADECIMENTO

(Michele Silva Venâncio)

EPÍGRAFE

“Eu faço da dificuldade a minha motivação.
A volta por cima vem na continuação”

Charlie Brown Jr

RESUMO

Vencer grandes vãos é muita das vezes uma necessidade estrutural ou uma questão estética proposta por arquitetos. Engenheiros civis tem como responsabilidade fazer com que esses grandes vão sejam alcançados e que ele não apresente deformações excessivas flechas, que prejudique ou provoque visualmente um desconforto aos usuários. Assim a fim de se saber o estado limite de serviço usa-se limitar as flechas, o objetivo é saber em que vão para lajes maciças e lajes nervuradas, o estado limite de serviço deixa de atender a NBR 6118:2014. Para o dimensionamento será utilizado o método de análise plástica por meio de serie, após o dimensionamento é feito uma análise com o maior vão alcançado sem deformação e o vão que apresentou deformação para ambas as lajes. As lajes maciças alcançaram um vão de 10 m para a altura de 21 cm, a mesma para uma altura econômica alcançou o vão de 7 m sendo esses os vão limite que apresentam flechas. Para lajes nervuradas o vão limite ficou em 12 m, para a cubeta ATEX 650, podendo se encontrar vãos maiores usando cubetas de dimensão maiores.

Palavras-chave: Lajes maciças. Lajes nervuradas. Estado limite de deformações. Flechas.

ABSTRACT

Overcoming large spans is often a structural need or an aesthetic issue proposed by architects. Civil engineers have a responsibility to ensure that these large gaps are achieved and that it does not present excessive deformation arrows, which adversely affects or visually causes discomfort to users. Thus, in order to know the limit state of service, it is necessary to limit the arrows, the objective is to know where they go to massive slabs and ribbed slabs, the service limit state no longer meets NBR 6118: 2014. For the sizing will be used the method of plastic analysis by means of series, after the sizing is done an analysis with the greater reached without deformation and the span that presented deformation for both slabs. The massive slabs reached a span of 10 m for the height of 21 cm, the same for an economic height reached the span of 7 m being the boundaries that have arrows. For ribbed slabs the boundary span was 12 m for the ATEX 650 cuvette, and larger spans could be found using larger cuvettes

Key words: Solid slabs. Ribbed slabs. Consumption of materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Digrama tensão e deformação do aço.....	6
Figura 2 –Configuração laje maçica	12
Figura 3 – Coeficiente Ψ_2 para pré dimensionamento	14
Figura 4 - Tabela de bares viciação e numero de bordas	14
Figura 5 – Condições de contorno	17
Figura 6 – Vão efetivo.....	18
Figura 7 – Compatibilização dos momentos fletores	20
Figura 8 – Laje nervurada cuba plastica.....	24
Figura 9 – Esquematização laje nervuradas.....	25
Figura 10 – Altura dispoivel para forma ATEX 650.....	26
Figura 9 – Detalhamento laje nervurada	26
Figura 11 – Detalhe de uma seção laje nervuradas	28
Figura 12 - Esquema geometrico da seção T retangular e seção retangular	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Pré dimensionamneto lajes maciças.....	40
Tabela 2 – Cargas atuantes laje	41
Tabela 3 - Momento Fletor	41
Tabela 4 –Reações de apoio	42
Tabela 5 -Momento de fissuração e classificação quanto ao estadio	42
Tabela 6 -Momento de inercia equivalente estadio II.....	43
Tabela 7 -Combinações de cargas	43
Tabela 8 -Estado limite de serviço – Flechas	44
Tabela 9 -Dimensionamneto lajes maciças	45
Tabela10 –Pré dimensionamneto lajes nervuradas	46
Tabela 11 –Dimensões das formas	47
Tabela 12 – Cargas atuantes laje	47
Tabela 13 - Momento Fletor	48
Tabela 14 –Momento maximo por nervura	48
Tabela 15 –Largura da mesa colaborante	49
Tabela 16 - Armadura longitudinal por nervura	49
Tabela 17 - Armadura longitudinal por nervura cna direção x	50
Tabela 18 - Armadura longitudinal por nervura na direção y	50
Tabela 19 - Verificação quanto ao estado limite de deformação excessiva.....	51
Tabela 20 -Momento de fissuração e classificação quanto ao estadio	51
Tabela 21 -Momento de inercia equivalente estadio II	52
Tabela 22 -Combinações de cargas	52
Tabela 23 -Momento de inercia equivalente Brason.....	53
Tabela 24 -Estado limite de serviço – Flechas	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental	7
Quadro 2 - Classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal	7
Quadro 3 – Peso especifico NBR 6120:1980	8
Quadro 4 – Valores minimos para cargas acidentais NBR 6120:1980	10
Quadro 5 – Coeficiente Ψ_3 para pré dimensionamento	13
Quadro 6 – Espessuras minima para lajes	15
Quadro 7 – Valores minimos para armaduras	22
Quadro 8 –Valores para ρ_{min} Conforme a NBR 6118:2014	22
Quadro 9 – Dimensoes minimas para nervuras e mesa	27
Quadro 10 – Limite espaçamento entre eixos	27
Quadro 11 – Limite deslocamentos	30
Quadro 11 – Coeficiente para tipo de seção	31
Quadro 12 – Ceficiente γ_f e fator de redução de combinação quase permanete ..	32
Quadro 13 –Coeficiente do tempo ξ NBR 6118:014.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnica
ELU	– Estado Limite Último
ELS	– Estados Limite de Serviço
ELS – DE	– Estado Limite de Serviço Deformações Excessivas
EPS	– Poliestireno Expandido
NBR	– Norma Brasileira Regulamentadora
PP	– Peso Próprio
RV	– Revestimento
FG	– Forro de gesso
CP	– Contra piso

LISTA DE SÍMBOLOS

A_{cs}	Área aço
b_w	Largura da nervura
b_f	Largura da mesa colaborante
d	Altura útil
E_{cs}	Módulo de deformação secante do concreto
f_{cd}	Resistência de cálculo à compressão do concreto
f_{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
f_{yk}	Resistência característica ao escoamento do aço
R_{cc}	Força resultante de compressão no concreto
R_{st}	Força resultante de tração na armadura
W	Módulo resistente da seção transversal bruta do concreto
w_k	Abertura característica de fissuras na superfície do concreto
x	Posição da linha neutra da seção da face mais comprimida
y	Região da Ação de Rcc a partir da face mais comprimida
γ_c	Coeficientes de ponderação da resistência do concreto
γ_s	Coeficientes de ponderação da resistência do aço
λ	Parâmetro - relação entre a profundidade y do diagrama retangular de compressão equivalente e a profundidade efetiva x da linha neutra
ρ_s	Taxa geométrica de armadura aderente passiva
σ_{si}	Tensão de tração no centro de gravidade da armadura no estágio II
ψ_1	Fator de redução de combinação frequente para ELS
ψ_2	Fator de redução de combinação quase permanente para ELS
ω_p	Taxa mecânica de armadura protendida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivo	3
1.2.1	Objetivo Geral	3
1.2.2	Objetivo Específico	3
1.3	Justificativa estrutura do trabalho	3
1.4	Estrutura do trabalho	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	5
2.1	Estruturas de concreto	5
2.2	Cargas atuantes	8
2.3	Lajes	11
2.3.1	Lajes Nervuradas.....	12
2.3.2	Lajes Nervuradas.....	23
2.4	Estado limite de Serviço	30
2.4.1	Flecha imediata.....	35
2.4.2	Calculo para flechas diferida no tempo	36
2.4.3	Flecha total	36
3	METODOLOGIA	37
3.1	Classificação da pesquisa	37
3.2	Procedimento a serem realizados	38
3.3	Metodo de analise dos resultaso	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	Dimensionamento lajes maciças	40
4.1.1	Analise dos resultados	44
4.2	Dimensionamento lajes nervuras	46
4.1.1.	Analise dos resultados	54
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS	56
	ANEXOS	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O concreto armado foi empregado a partir de 1850 durante a exposição de um barco feito de concreto armado em uma feira em Paris, assim sendo incrementado com pedra natural, madeira e argamassa, foi um feito de grande importância para a continuidade do uso do concreto armado na construção civil. Já o ferro e aço surge ainda no século XVIII como grande complemento para a resistência do concreto armado. No Brasil se noticia o surgimento do concreto armado em 1904 no Rio de Janeiro em Copacabana, onde foi utilizado em construções habitacionais, sob o comando do engenheiro Carlos Poma.

Com tudo o concreto armado tornou-se um grande sucesso em diversos tipos de construções, sendo atualmente a composição formada por agregados miúdos e graúdos, cimento Portland, água, e aço, composição que dá modelagem a estrutura e garantem suas propriedades mecânicas.

Assim com a grande aceitação no mercado, cria-se em 1940 a NB-1 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas técnicas), para cálculo e execução de estruturas de concreto armado, sendo revisada em 1960 onde se considerava o estágio III para solicitações, resistência do concreto, utilizando normas europeia como referência. Já em 1980 registra-se no Inmetro a NBR (Norma Brasileira regulamentadora) 6118, mais tarde em 2003 uma nova reformulação já com 221 páginas com importantes mudanças é protocolada, sendo a NBR 6118:2014 a última versão, a utilizada atualmente para dimensionamento com todas ressalvas em seu conteúdo garantindo segurança total aos elementos de concreto armado.

Com a constante evolução da construção civil em busca de um melhor desempenho das estruturas de concreto armado, engenheiros civis se dedicam cada vez mais, para que as construções estejam em harmonia com os projetos arquitetônicos que têm a necessidade funcional e estética de vencer grandes vãos e suportar cargas elevadas. Diante dessa necessidade surge a preocupação acerca da deformação ao longo do tempo, que estruturas de concreto armado irá sofrer, assim a necessidade de se analisar o estado limite de deformação. Análise essa necessária

para garantir que a estrutura não apresente flechas de deformação que provoca desconforto ao usuário e que se não limitada pode levar a ruína da estrutura.

O estudo foi realizado em lajes, elemento que recebe grande parte das cargas atuantes em uma estrutura, onde será analisado flechas estados-limite de deformação total, que são fundamentais para o conforto dos usuários. A fim de se evitar flechas usa-se limitar esta, que varia em função da rigidez do elemento, do carregamento aplicado e do vão. O estado limite de serviço é o parâmetro geral para tal avaliação em lajes.

A laje é de extrema importância quanto ao aspecto econômico e seu desempenho, sendo um dos principais fatores analisados na hora da escolha do tipo de laje a se empregar na construção, uma vez que se espera o menor custo e maior desempenho.

Sendo assim a escolha das lajes maciças e lajes nervuradas para o estudo se deu a partir de suas características principais, onde as lajes maciças possuem uma alta rigidez devido a existência de muitas vigas que formam os pórticos, sendo essa particularidade a que a torna tão usual. Já as lajes nervuradas por possuir uma maior inércia em relação as lajes maciças e seu peso próprio relativamente menor, possibilita o aumento dos vãos entre as vigas de apoio, sendo possível obter pavimentos com poucas vigas devido sua capacidade de vencer grandes vãos (SPHOR, 2008).

A metodologia usada, é a disposta por Carvalho (2016), que usa o processo de resolução de placas elásticas por meio de serie, ela permite fazer o dimensionamento com auxílio de tabelas resolvidas por Bares, ainda com o auxílio da ABNT NBR 6118:2014, NBR 6120:1980 e etc.

A comparação de resultados está disposta de forma clara e objetiva, em tabelas. Os resultados alcançados são satisfatórios a pesquisa respondendo os questionamentos iniciais, e o objetivo geral proposto pelo trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O estudo de flechas em lajes maciças e lajes nervuradas de concreto armado em função do vão, se dá a partir do seguinte questionamento: em função da flecha, lajes maciças e nervuradas apresentam vãos limites diferentes e qual seria esse limite em ambos os casos?

O objetivo do trabalho é avaliar os limites de vão para o estado limite de serviço ELS, e analisar o estado limite de deformação ELS-DE para flechas admissíveis de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as flechas imediata, e total para diversos vãos entre apoios para lajes maciças.
- Determinar as flechas imediata, e total para diversos vãos entre apoios para lajes nervuradas.
- Avaliar os limites de vãos para cada tipo de laje de acordo com as flechas admissíveis conforme a NBR 6118:2014.

O trabalho se limita ao vão onde o estado de limite de deformação deixa de ser atendido conforme a norma ABNT NBR 6118:2014, ainda para lajes nervuradas é utilizado formas de cubetas plásticas da empresa ATEX 700.

Segundo Silva (2017), o vão econômico para lajes maciças fica em torno de 3,5 m a 5 m, e assim para ambas as lajes o dimensionamento se inicia para o vão de 3,00 m para as duas direções tanto L_x quanto L_y .

1.3 Justificativa

Quando se levanta a questão de grandes vãos, a deformação é um dos maiores problemas a se atentar. O dimensionamento durante a fase de projeto, tem por finalidade obter valores aproximados para a deformação real que estrutura irá sofrer, durante a sua utilização em condições normais. Buscando a segurança da estrutura, a rigidez do elemento deve ser suficiente para que o mesmo não sofra deformações excessiva por cargas de serviço.

O trabalho, justifica-se, pois, flechas excessivas em elementos estruturais ao longo do tempo, podem provocar fissuras em paredes de alvenaria, afeta as esquadrias de janelas e portas, pode causar vibrações excessivas, esses danos são prejudiciais a estrutura e aos seus usuários. Sendo assim esse estudo é de grande importância para o engenheiro de estruturas, uma vez que se sabendo-se o vão limite para as tipologias de lajes em estudo conforme sua utilização aproveita-se o maior vão da estrutura, auxiliando na escolha do tipo de laje, perante a problemática de se vencer grandes vãos.

Apesar de haver vários estudos acerca das lajes maciças e lajes nervuradas, não se observou um estudo de flechas em função do vão limite em que elas atendem ao estado de limite de serviço de flecha, sendo assim esse estudo visa essa responder a essa questão.

1.4 Estrutura do trabalho

No capítulo 1, apresenta-se a introdução trazendo uma visão geral dos assuntos a serem abordados no estudo.

O capítulo 2 contém a fundamentação teórica, com releitura de artigos, monografias, normatizações, livros, que trazem conceitos acerca do tema bem como o estudo

O capítulo 3, traz a metodologia, com a estrutura para a realização do dimensionamento, os métodos utilizados.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtido através do estudo, em forma de tabelas, para análise dos resultados.

O capítulo 5 apresenta um discursão acerca do resultado, com colocação dos pontos principais analisados. Já o capítulo 6 apresenta, a conclusão, onde é exposto se o resultado alcançado foi satisfatório, e sua importância.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

São considerados estruturas de concreto armado basicamente lajes, vigas, pilares e fundação de uma edificação. As lajes têm grande importância no recebimento das cargas atuantes onde essa é distribuída até sua fundação. As lajes possuem diversas tipologias sendo sua escolha e feita a partir da necessidade da estrutura e sua utilização, seu dimensionamento é amparado pela ABNT NBR 6118:2014 sendo necessária para averiguação de estabilidade do elemento. A verificação do estado limite de serviço-deformação é exigido para a garantia de utilização em condições de serviços e vida útil.

Os itens a seguir trazem todas as referências acerca do tema em estudo, parâmetros gerais de estruturas de concreto, cargas atuantes, conceito de lajes, fundamentação de lajes maciças, lajes nervuradas e estado limite de serviço (ELS).

2.1 Estruturas de concreto

A estruturas de concreto armado são elementos compostos basicamente por concreto e o aço, onde o concreto tem como parâmetro principal a resistência a compressão característica denominada pelo f_{ck} , e o aço responsável pela resistência a tração, assegurando uma estabilidade da estrutura (BORGES,2010).Apesenta como vantagens economia, facilidade na moldagem e montagem, tendo mão de obra farta, apresentando como desvantagens o peso próprio elevado, isolamento térmico e acústico de grau baixo, e fissuração nas zonas tracionada da peça, sendo essa fissuração controlada por armaduras de tração (PORTO, 2015).

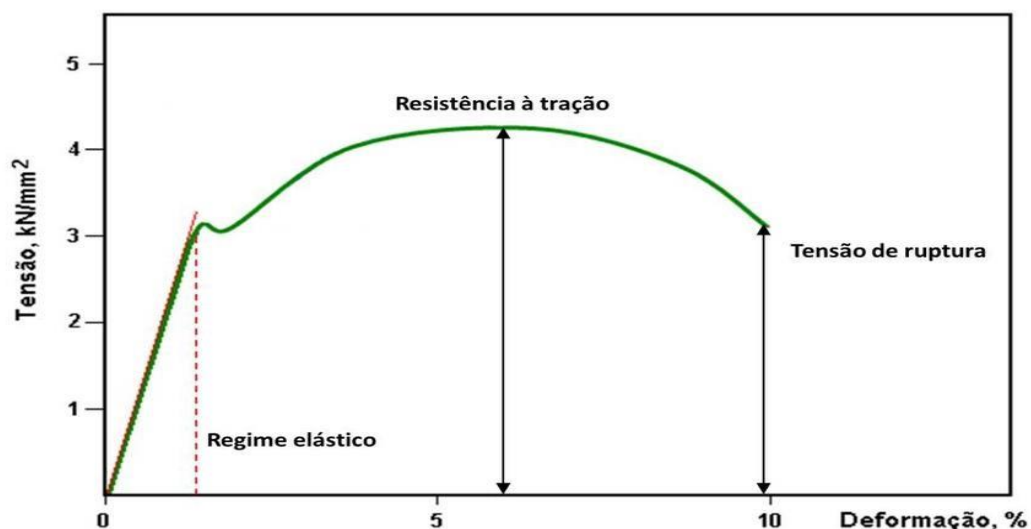
O concreto é composto por cimento ou aglomerante , sendo o cimento PORTLAND o mais usual , o mesmo é fabricado conforme prescrições da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), onde agregados graúdos e miúdos fazem a resistência mecânica do composto , retração e densidade , que varia em função da necessidade do concreto, graúdos sendo britas e agregados miúdos areia , pó de pedra ou pó de brita, a água entra com a finalidade de hidratar os compostos e torna-se fácil de manusear no processo de concretagem, sendo parte importante para o processo de endurecimento (BORGES,2010).

Conforme o estudo de Bastos (2015, p 11), quando se iguala a tensão com a resistência a tração do concreto surge fissuras onde se faz necessário a armadura de tração.

Num tirante de concreto armado, por exemplo, se a tensão de tração aplicada pelo carregamento externo é pequena e inferior à resistência do concreto à tração (f_{ct}), não aparecem fissuras na superfície do tirante. Porém, se o carregamento for aumentado e a tensão de tração atuante igualar a resistência do concreto à tração, surge neste instante a primeira fissura. Quando o concreto fissura ele passa a não resistir mais às tensões de tração, vindo daí a necessidade de uma armadura resistente.

O aço segue parâmetros do fabricante exigidos pela ABNT , classificados quanto sua categoria , tipo de superfície aderente , massa específica , modulo de elasticidade ,onde no ensaio de tração do aço obtém se a deformação , ou variação que se nota no gráfico de tensão- deformação (Figura 1) , sugere a norma a utilização do valor paro a tensão de ruptura de cálculo (f_{yd}) , sendo utilizado o coeficiente de segurança igual a 1,15 (BORGES,2010).

Figura 1 – Digrama tensão e deformação do aço



Fonte: Alves (2015)

A durabilidade do elemento de concreto armado está ligada à sua destinação, essa durabilidade pode ser afetada pela agressividade ambiental que está relacionada a ações físicas e químicas, que acontecem sobre as estruturas de concreto, a NBR 6118:2014 estabelece no quadro 1 a relação de agressividade ambiental (BORGES ,2010).

Quadro 1 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral quanto ao tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1,2}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹ Industrial ^{1, 2}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{1,3}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: Adaptado NBR:6118/2014

Segundo Pinheiro (2010), é necessário um cobrimento nominal mínimo da armadura para que ela não sofra as ações físicas e químicas, impedindo assim a oxidação do aço e que a região tracionada perca sua resistência, esse cobrimento definido no quadro 2. é definido por sua classe de agressividade e tipo de estrutura e elemento:

Quadro 2 – Classe de agressividade e cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (CAA)			
		I	II	III	IV ²
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilas Elementos estruturais em contato com o solo	25	30	40	50
		30		40	50

Fonte: Adaptado NBR:6118/2014

2.2 Cargas atuantes

As cargas atuantes nas lajes podem ser classificadas como cargas permanentes e acidentais, sendo a laje a responsável por distribuir uniformemente esse carregamento, para vigas, pilares e fundação. São consideradas permanentes o peso próprio da laje, paredes, revestimentos e piso, já cargas acidentais são as que irão atuar a partir da sua utilização, moveis, carros, pessoas e etc.

A respeito das cargas sobre as lajes, de acordo com Adão (2010), para efeito de cálculo estrutural, temos que considerar todas as cargas sobre as lajes como uniformemente distribuídas.

De acordo com Araújo (2014), as cargas permanentes têm valores constantes e sofre pouca variação no decorrer do tempo, já as cargas acidentais sofrem variações constantes durante a vida da construção o que faz com que o dimensionamento conforme a destinação seja de extrema importância.

Os valores característicos das cargas permanentes e acidentais podem ser obtidos a partir da NBR 6120:1980 de cargas para cálculo de estruturas de edifícios, que traz as especificações para cargas permanentes e cargas acidentais.

Em seu texto a NBR 6120:1980 fornece valores dos pesos específicos dos materiais de construção empregados conforme quadro 3 a seguir:

Quadro 3- Peso específico de matérias ABNT NBR 6120:1980

Quadro de peso específico de materiais de construção		
	Matérias	Peso específico aparente kN/m ³
1.Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e Calcário	28

Continuação...

Matérias		Peso específico aparente kN/m ³
3. Revestimentos e Concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12.5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
4. materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folha	21
	Vidro plano	26

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6120:1980

Cargas atuantes permanentes (g) são definidas através do quadro 3, disposto na NBR 6120:1980.

Peso próprio da laje

$$PP = \gamma_{conc} * h \quad (1)$$

Onde:

γ_{conc} = peso específico de 25 kN /m³ conforme a NBR 6118:2014.

h = altura da laje (m)

Peso revestimento sendo de piso e forro

$$P_{rev} = \gamma_{rev} * e \quad (2)$$

Onde:

γ_{rev} = Quadro 1 disponível na NBR 6120:1980

e = espessura do revestimento (m)

A Norma fixa valores das cargas acidentais (q), para destinação da estrutura, sendo considerados os valores mínimos para cargas verticais quadro 4 no qual a estrutura será submetida (NBR 6120:1980).

Quadro 4– Valores mínimos das cargas verticais

Valores mínimos das cargas verticais		
	Local	Carga unid.: kN/m ²
Arquibancada		4
bancos	Escritórios e banheiro Salas de diretoria e de gerência	2 1,5
Bibliotecas	Sala de leitura Sala para depósito de livros Sala com estantes de livros a ser determinada em cada caso ou 2,5 kN/m ² por metro de altura observado, porém o valor mínimo de	2,5 4 6
Casas de máquinas	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
Cinemas	Plateia com assentos fixos Estúdio e plateia com assentos móveis Banheiro	3 4 2
Clube	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos Clubes Sala de assembleia com assentos móveis Salão de danças e salão de esportes 5 Sala de bilhar e banheiro	3 4 5 2
Edifícios residenciais	Dormitórios sala, copa, cozinha e banheiro Despensa, área de serviço e lavanderia 2	1,5 2
Escola	Anfiteatro com assentos fixos Corredor e sala de aula 3 Outras salas	3 2
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
Galeria de artes	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo	3
Garagens e estacionamento	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo.	3
Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia Sala de raio X e banheiro Corredor	2 3
Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo	3
Lavanderias	Incluindo equipamentos	3
lojas		4

Continuação....

	Local	Carga kN/m ²
Restaurantes		3
Teatro	Palco Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas	5 -
Terraço	Sem acesso ao público Com acesso ao público Inacessível a pessoas Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica	2 3 0,5 -
Vestíbulo	Vestíbulo Sem acesso ao público Com acesso ao público	1,5 3

Fonte: Adaptado ABNT NBR 6120:1980

2.3 Lajes

As placas são elementos bidimensionais, ou seja, cuja espessura é bem menor que as outras duas dimensões (comprimento e largura). Quando feitas de concreto, essas placas são denominadas lajes. Ainda, sobre o conceito das lajes, segundo Araujo (2014):

São os elementos estruturais que têm a função básica de receber as cargas de utilização das edificações, aplicadas nos pisos, e transmiti-las às vigas. As vigas transmitem as cargas aos pilares e, a partir destes, o carregamento é transferido para as fundações. Apesar de haver outras possibilidades de concepção, este é o modelo estrutural básico das edificações.

Para efeito de cálculo, despreza-se o engaste entre lajes e vigas, mesmo esses elementos podendo ser concretadas juntos. O engaste também é desprezado quando a laje se deforma ao receber os carregamentos, pois as vigas não conseguem impedir as deformações causadas pelo carregamento na laje, essas deformações limitadas para não causar transtornos futuro, onde as deformações de fissuração podem levar ao colapso do elemento (BASTOS 2015).

As lajes são dimensionadas na flexão como vigas, desprezando-se, porém, o dimensionamento para o cisalhamento (Adão,2010, p.65). Deve-se considerar os esforços de torção para lajes em balanço onde o equilíbrio se dá entre a compatibilização dos esforços.

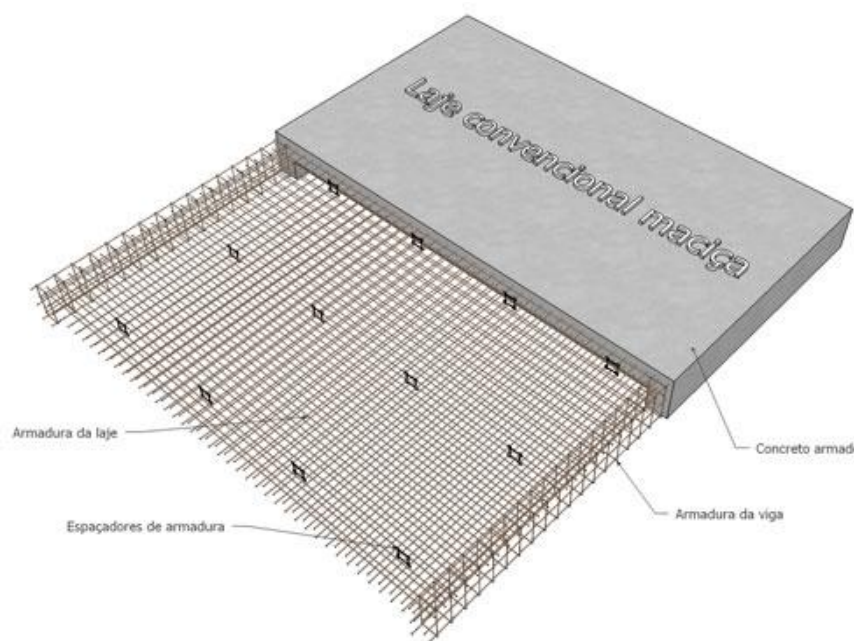
Sendo as placas submetidas a verificação do estado do limite último, onde se observa o comportamento das estruturas em função da ruptura, podendo ser usualmente considerado como placas de regime elásticos, os esforços solicitantes nas lajes (PORTO, 2015).

As lajes também servem para distribuir as ações horizontais entre os elementos estruturais de contraventamento, além de funcionarem como mesas de compressão das vigas T.

2.3.1 Lajes maciças

As lajes tradicionais de concreto armado são comumente chamadas maciças, essas enquanto os vãos das construções eram relativamente pequenos, o elemento era solicitado apenas em cargas distribuídas, e as lajes maciças tinham seu desempenho funcional atendido sem problemas , a figura 2 mostra a configuração de uma laje maciça , quando a suas armaduras e capa de concreto (SPOHR,2008).

Figura 2- Configuração laje maciças



Fonte: Vasconcelos (2012)

Conforme Pinheiro (2010), as principais vantagens em usar lajes maciças, farta mão de obra, sua execução simples e rápida, também cita que a lajes maciças apresenta pouca deformação e os esforços são pouco solicitados em relação a outras

lajes. Como desvantagem a laje maciças possui um alto consumo de concreto o que a torna mais pesada, além de necessário a utilização de muitas formas que eleva o preço da obra.

Segundo Carvalho (2012) as solicitações de projetos cada dia mais detalhados e amplo torna alguns métodos inadequados, as lajes maciças em construções que necessita de grandes vãos, resulta em espessuras maiores, tornando-se antieconômica, uma vez que parte significativa da capacidade estrutural desse elemento, tende a combater solicitações devidas ao peso próprio.

Nos ensinamentos de Sphor (2008) lajes maciças não se tornam usuais em grandes vãos, sendo economicamente indicada em vão entre 3,5 e 5 metros. Lajes maciças chegam a consumir aproximadamente 2/3 do volume total de concreto de uma estrutura.

O pré-dimensionamento de lajes é necessário para definição da altura útil da laje, altura estimada relacionando os vão teóricos, tipo vinculação das bordas, condições de contorno, requisitos importantes para cálculos de reações de apoio e momento fletores.

Carvalho (2016) cita que a NBR6118:2014 não faz recomendações quanto a altura útil a se adotar, por isso para vigas de seção retangular “T”, pode se seguir como indicação a seguinte condição indicada na equação 3:

$$d \geq \frac{l_x}{\Psi_2 * \Psi_3} \quad (3)$$

Onde:

l_x é o menor vão da laje

Ψ_2 coeficiente relacionado as condições de vinculações e valor de λ figura 3.

Ψ_3 coeficiente relacionado ao tipo de aço quadro 6.

Quadro 5 – Coeficiente Ψ_3 para pré-dimensionamento

Aço	Vigas e lajes nervuradas	Lajes maciças
CA25	25	35
CA32	22	33
CA40	20	30

Continuação...

Aço	Vigas e lajes nervuradas	Lajes maciças
CA50	17	25
CA60	15	20

Fonte: Adaptado Carvalho (2016)

Figura 3– Coeficiente Ψ_2 para pré dimensionamento

TIPO	1	2A	2B	3	4A	4B	5A	5B	6	TIPO
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Ψ_2 PARA LAJES ARMADAS EM CRUZ									$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
1,00	1,50	1,70	1,70	1,80	1,90	1,90	2,00	2,00	2,20	1,00
1,05	1,48	1,67	1,68	1,78	1,86	1,89	1,97	1,98	2,17	1,05
1,10	1,46	1,64	1,67	1,76	1,83	1,88	1,94	1,97	2,15	1,10
1,15	1,44	1,61	1,65	1,74	1,79	1,87	1,91	1,95	2,12	1,15
1,20	1,42	1,58	1,64	1,72	1,76	1,86	1,88	1,94	2,10	1,20
1,25	1,40	1,55	1,62	1,70	1,72	1,85	1,85	1,92	2,07	1,25
1,30	1,38	1,52	1,61	1,68	1,69	1,84	1,82	1,91	2,05	1,30
1,35	1,36	1,49	1,59	1,66	1,65	1,83	1,79	1,89	2,02	1,35
1,40	1,34	1,46	1,58	1,64	1,62	1,82	1,76	1,88	2,00	1,40
1,45	1,32	1,43	1,56	1,62	1,58	1,81	1,73	1,86	1,97	1,45
1,50	1,30	1,40	1,55	1,60	1,55	1,80	1,70	1,85	1,95	1,50
1,55	1,28	1,37	1,53	1,58	1,51	1,79	1,67	1,83	1,92	1,55
1,60	1,26	1,34	1,52	1,56	1,48	1,78	1,64	1,82	1,90	1,60
1,65	1,24	1,31	1,50	1,54	1,44	1,77	1,61	1,80	1,87	1,65
1,70	1,22	1,28	1,49	1,52	1,41	1,76	1,58	1,79	1,85	1,70
1,75	1,20	1,25	1,47	1,50	1,37	1,75	1,55	1,77	1,82	1,75
1,80	1,18	1,22	1,46	1,48	1,34	1,74	1,52	1,76	1,80	1,80
1,85	1,16	1,19	1,44	1,46	1,30	1,73	1,49	1,74	1,77	1,85
1,90	1,14	1,16	1,43	1,44	1,27	1,72	1,46	1,73	1,75	1,90
1,95	1,12	1,13	1,41	1,42	1,23	1,71	1,43	1,71	1,72	1,95
$\geq 2,00$	1,10	1,10	1,40	1,40	1,20	1,70	1,40	1,70	1,70	$\geq 2,00$

Fonte: Bares (1972)

Segundo Pinheiro (2010) a altura útil (d) de uma laje para lajes retangulares, e engastadas pode ser feito através da expressão 4:

$$d = (2,5 - 0,1 n)l */100 \quad (4)$$

Onde

n é o número de bordas engastadas;

l^* é o maior valor entre l_x e l_y

Para a altura estimada da laje usa-se, somar a altura útil, cobrimento nominal, e diâmetro da barra longitudinal, objetivando-se em uma altura que atenda as condições imposta pela NBR 6118:2014 de espaçamento das barras de aço, cobrimento da armadura sendo determinada pela expressão 5 a seguir:

$$h = d + c + \frac{\varnothing}{2} \quad (5)$$

Onde:

d é a altura útil.

c é cobrimento nominal conforme quadro 2.

\varnothing é diâmetro da barra

Segundo a ABNT NBR 6118/2014 estabelece que nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura, como indicado no quadro 6, para que haja um cobrimento da armadura, proporcionando segurança e conforto aos usuários para situações de choques e vibração que provocam ruídos.










Quadro 6- Espessuras mínimas para lajes

7 cm para cobertura não em balanço;
8 cm para lajes de piso não em balanço;
10 cm para lajes em balanço;
10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30kN
12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN
15 cm para lajes com protensão apoiadas em viga, com o mínimo de 42 lajes de piso bi apoiadas e 50 para lajes de piso contínuas
16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora capitel

Fonte: Adaptado NBR 6118:2014

A NBR 6118:2014 onde se define o tipo de vinculação em que a laje se enquadra, assim sabe-se o número de bordas engastadas sendo definido através de adaptação da tabela de Bares figura 4.

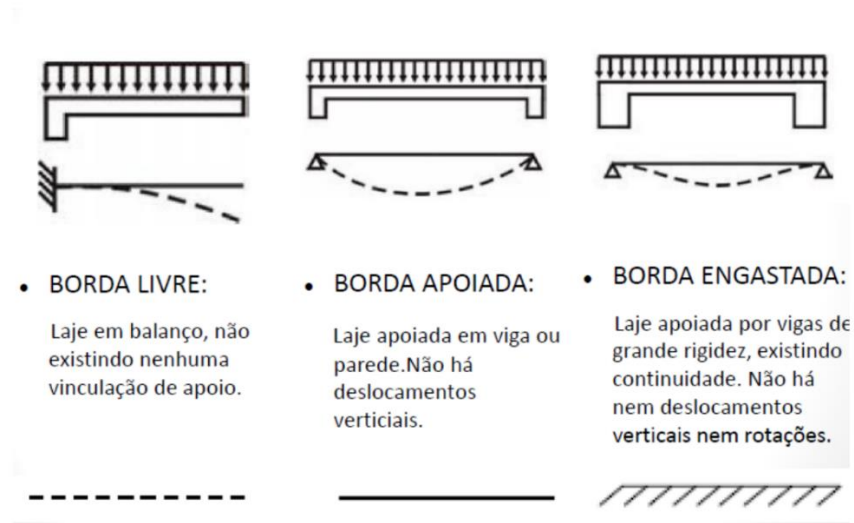
Figura 4- Tabela de Bares vinculação e número de bordas engastados

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: Libânio (2003)

As lajes maciças têm uma maior rigidez e liberdade de modelagem, podendo ser apoiada, tendo uma, duas ou três bordas livres e ainda borda engastada, sendo essas condições relacionadas a condição de deslocamento que ocorre na laje conforme figura 5 (CARVALHO, 2012).

Figura 5- Condições de contorno



Fonte: Bastos (2015)

As lajes maciças são classificadas de diversas formas, geometria da placa, vinculação e direção etc. Sendo a classificação quanto a direção a mais relevante, essas direções estão relacionadas a posição das armaduras. Segundo SPHOR (2008) a laje armada em uma direção tem relação entre seus lados, onde o lado menor, tem de ser superior a dois.

Para as lajes armadas em duas direções, usa-se duas armaduras para resistir aos momentos fletores. Já as armadas em uma direção, a armadura principal é colocada no menor vão para resistir ao momento fletor, ignorando-se a outra direção.

A classificação da laje quanto a sua direção se armada em duas direções ou em uma direção:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad (6)$$

$\lambda \leq 2 =$ laje armada em duas direções

$\lambda \geq 2 =$ laje armada em uma direção

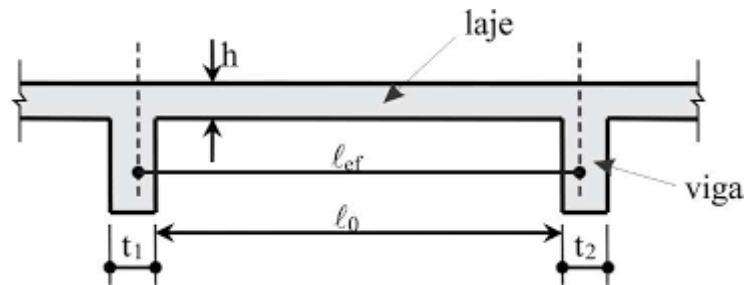
Onde;

$l_y =$ maior vão da laje

$l_x =$ menor vão da laje

Os vão efetivos segundo a NBR 6118:2014 considera os apoios suficientemente rígidos, o comprimento do vão efetivo será, o vão livre + metade da espessura do apoio conforme a figura 6, dados pela expressão:

Figura 6- vão efetivos



Fonte: Bastos (2015)

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (7)$$

Onde:

$$a_1 \leq \frac{t_1}{2} \text{ ou } 0,3 h \quad \text{e} \quad a_2 \leq \frac{t_2}{2} \text{ ou } 0,3 h \quad (8)$$

A NBR 6118:2014 permite o cálculo das reações de apoio de lajes quando carregamento é transferido vigas. Conforme Carvalho (2016) a tabelas de lajes de Bares também podem ser utilizadas para o cálculo, essa tem como base no processo de áreas, a partir do tipo de apoio e a relação $\lambda = l_y/l_x$ onde se usa os coeficientes K_x Anexo A.

De acordo com Pinheiro (2010 p.11):

As reações assim obtidas são consideradas uniformemente distribuídas nas vigas de apoio, o que representa uma simplificação de cálculo. Na verdade, as reações têm uma distribuição não uniforme, em geral com valores máximos na parte central das bordas, diminuindo nas extremidades. Porém, a dissociabilidade das vigas de apoio pode modificar a distribuição dessas reações.

$$q_x = \frac{k_x p \cdot l_x}{10} \quad \text{para direção } x \quad (9)$$

$$q_x = \frac{k_x p * l_x}{10} \quad \text{para direção y}$$

$$q_x = \frac{k'_x p * l_x}{10} \quad \text{para bordas engastadas} \quad (10)$$

Onde:

P = carga total uniformemente distribuída

l_x, l_y = menor e maior vão da laje

k_x, k'_x = reações de apoio na direção do vão, l_x anexo A.

k_y, k'_y = reações de apoio na direção do vão, l_y anexo A.

' = índice para borda engastada.

As lajes maciças quando armadas em duas direções, os momentos fletores, são solicitados nas duas direções, já quando é armada apenas em uma direção os momentos fletor e solicitados penas na direção predominante.

Conforme Araújo (2014) Os momentos fletores nos vãos e nos apoios são respectivamente momentos positivos e negativo, onde se considera o apoio interno das lajes perfeitamente engastada.

Determinação dos momentos fletores, conforme a direção em que a laje será armada, com o uso de coeficiente μ da tabela de Bares anexo B.

$$m_x = \mu_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad \text{para direção x} \quad (11)$$

$$m_y = \mu_y * \frac{p * l_x^2}{100} \quad \text{para direção y}$$

$$m'_x = \mu'_x * \frac{p * l_x^2}{100} \quad \text{para engaste} \quad (12)$$

$$m'_y = \mu'_y * \frac{p * l_x^2}{100}$$

Onde:

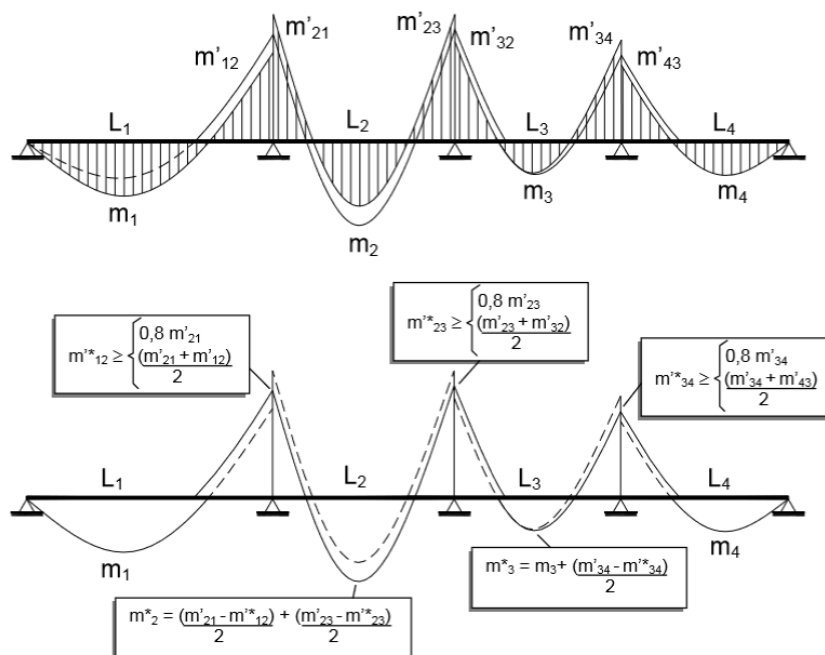
μ_x, μ_y = coeficiente para cálculo de momentos fletores em lajes retangulares para direções x, y anexo B.

μ'_x, μ'_y = coeficiente para cálculo de momentos fletores em lajes retangulares com bordas engastadas anexo B.

Segundo Pinheiro (2010) em pavimento, em geral, as lajes adjacentes diferem nas condições de apoio, nos vãos teóricos ou nos carregamentos, resultando no apoio comum quando ocorre tem-se dois valores diferentes para o momento negativo.

Usa-se como critério para compatibilizar momentos negativo conforme figura 6, adotar o maior valor, entre a média dois outros dois, e 80 % do maior.

Figura 7 - Compatibilização de momentos fletores



Fonte: Pinheiro (2010)

Após a compatibilização dos momentos faz-se o dimensionamento das armaduras, onde é feito da mesma forma que para vigas conforme NBR 6118:2014. De acordo com a mesma devem-se detalhar as armaduras das lajes de forma a garantir que o posicionamento desejado seja mantido durante a concretagem.

Para o dimensionamento da armadura, usa-se os momentos de cálculo, que atuam como momentos nas lajes, que são majorados pelo coeficiente de segurança $\gamma = 1,4$ (PINHEIRO,2010).

A determinação do momento fletor de cálculo (m_d) kN.cm/m se dá a partir:

$$m_d = \gamma_f * m_k \quad (13)$$

Onde:

$$\gamma_f = 1,4$$

m_k = momentos máximos compatibilizado m_x, m_y .

Cálculo do valor do coeficiente (k_c) anexo C usado para obtenção do valor de k_s .

$$k_c = \frac{b_w * d^2}{m_d} \quad (14)$$

Após obter-se o valor de k_c , juntamente com as informações do aço e concreto, adquire-se então o valor de k_s por meio de tabela anexo C para flexão simples retangular conforme NBR 6118:2014.

Assim então se calcula a armadura, responsável por conter os esforços de tração da laje, deve-se posicionar a armadura na parte inferior da lajes, e para conter os momentos se coloca a armadura negativa na parte superior o cálculo da área de armadura necessária (A_s) (BORGES,2010).

$$A_s = \frac{k_s * m_d}{d} \quad (15)$$

Sabendo a área de aço A_s , necessária através de tabelas anexo D se escolhe o diâmetro das barras de aço. Os valores mínimos das armaduras positivas são reduzidos em relação aos elementos lineares 50% e para lajes em balanço as

positivas a 67%. Sendo assim através de tabela se escolhe o diâmetro das barras e seus respectivos espaçamentos.

As armaduras devem respeitar os valores mínimos, como determina a NBR 6118:2014, armadura destinada a lajes uma direção e negativas das lajes, conforme o quadro 7 a seguir indicam:

Quadro 7-Valores mínimos para as armaduras

Armaduras negativas	$\rho_s \geq \rho_{min}$
Armaduras positivas de lajes armadas em duas direções	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{min}$
Armadura positiva (principal) de lajes armadas em uma direção	$\rho_s \geq \rho_{min}$
Armadura positiva (secundária) de lajes armadas em uma direção	$\rho_s \geq 20\% \text{ da armadura principal}$ $\rho_s \geq 0,50 \rho_{min}$ $\rho_s \geq 0,90 \frac{cm^2}{m}$

Fonte :Adaptado ABNT NBR 6118:2014

Segundo Pinheiro (2010), o valor para ρ_{min} pode ser determinado pela expressão 18, com o auxílio do quadro 8 para se avaliar o valor mínimo para armaduras.

$$\rho_{min} = \omega_{min} \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (16)$$

Onde:

ω_{min} é a taxa de armadura longitudinal.

f_{cd} resistência de cálculo do concreto

f_{cd} resistência de cálculo do aço

Quadro 8 - valores para ρ_{min} conforme determinado em norma.

f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50
ω_{min}	$\rho_{min} = (\%)$						

Continuação...

f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50
0,035	0,150	0,150	0,173	0,201	0,203	0,259	0,288

Os valores de $\min \rho_{min}$ estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{min} deve ser recalculado com base no valor de ω_{min} dado.

Fonte :adaptado ABNT NBR 6118:2014

Para o dimensionamento de armaduras, deve ser observadas algumas orientações conforme A NBR 6118:2014:

Qualquer barra da armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a $h/8$.

As barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a $2h$ ou 20 cm, prevalecendo o menor desses dois valores na região dos maiores momentos fletores.

A armadura secundária de flexão deve corresponder à porcentagem de armadura igual ou superior a 20% da porcentagem da armadura principal, mantendo-se, ainda, um espaçamento entre barras de no máximo 33 cm.

2.3.2 Lajes nervuradas

A norma NBR 6118:2014 define lajes nervuradas como: “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

Assim as nervuras ficam aparente podendo ser revestidas com forro gesso, madeira, entre outros. Para que superfície da laje fique plana pode -se optar por preenchê-la com matéria inerte leve de baixo peso específico (ARAUJO, 2010).

Ainda segundo Araújo (2014) lajes nervuradas:

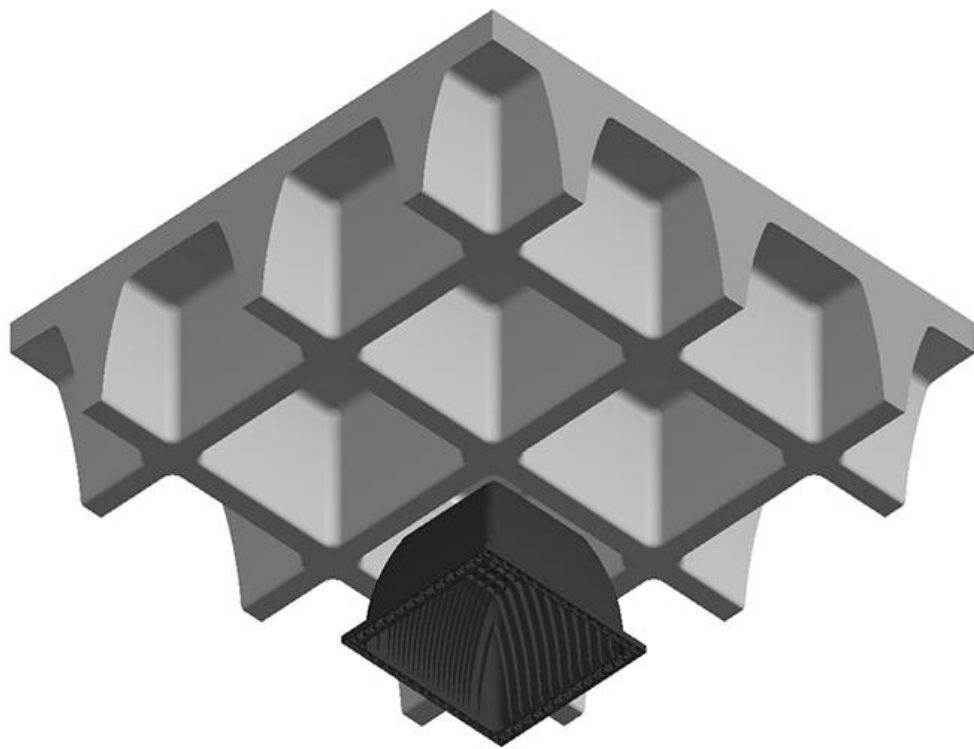
São empregadas para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8m, sendo constituídas por nervuras, onde são colocadas as armaduras longitudinais de tração. Dessa maneira consegue-se uma redução do peso próprio da laje, já que se elimina uma parte do concreto que ficaria na zona tracionada, caso fosse adotada a solução em laje maciça.

As lajes nervuradas pré-moldadas são essas na qual parte da laje, em geral parte da nervura, é realizada fora do local definido de construção. Nesse tipo de laje, é comum o emprego de vigotas unidirecionais pré-fabricadas com armadura em treliça ou tipo trilho (em concreto armado ou pretendido), com componentes leves de

enchimento sem função estrutural (blocos cerâmicos, de concreto celular, eps, cubetas plásticas etc.), cooperados pelo concreto moldado no local. (SILVA, 2005)

As lajes moldadas in loco é executada diretamente na obra , seu processo de montagem requer desde o início o uso de formas , escoramentos , posicionamento correto das barras de aço e o material de enchimento como já visto , para enchimentos com cubas plásticas e de metais , se faz necessário o uso de desmoldantes para facilitar na hora da retirada das formas, que sendo plásticas ou metais podem ser reutilizadas.

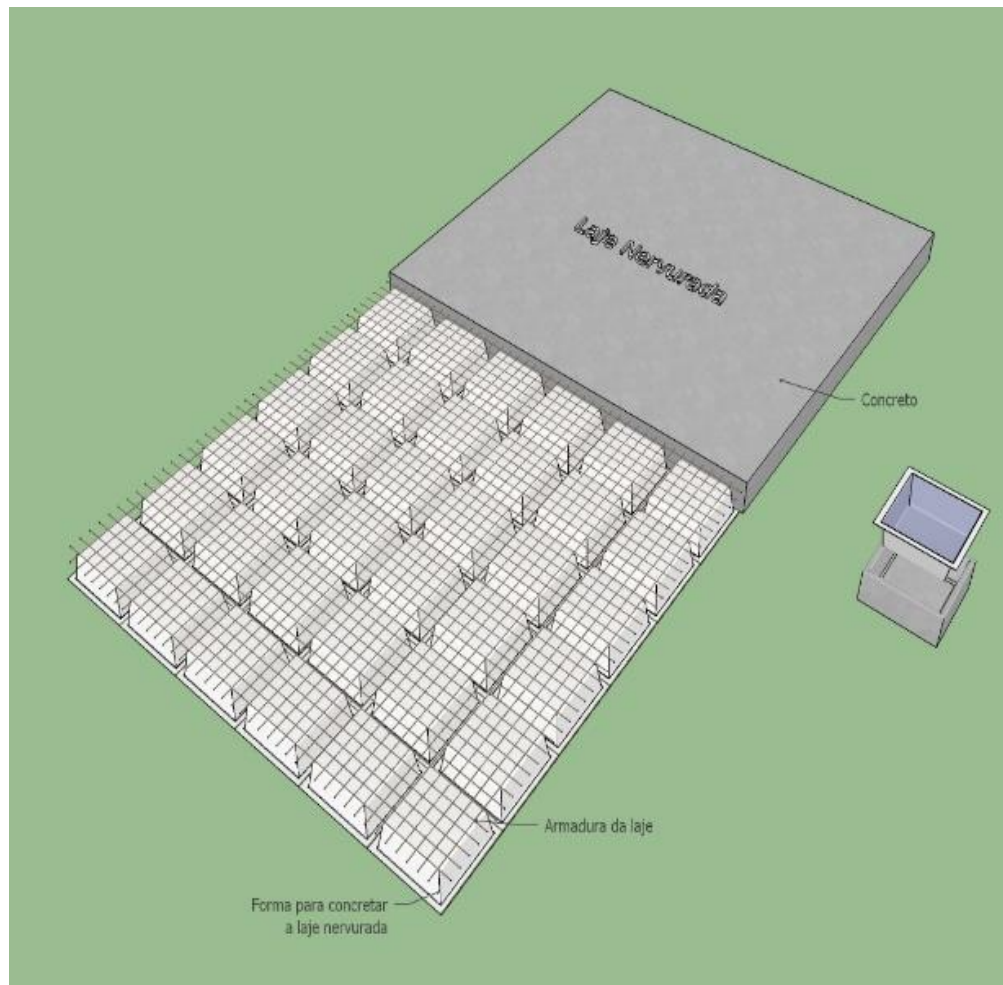
Figura 8 – Laje nervurada cuba plástica



Fonte: ATEX (2019)

Com as barras posicionadas entre as nervuras e a mesa superior, a laje nervurada recebe uma camada de concreto para finalizar a estrutura da laje conforme ilustração na figura 9 (Carvalho 2009).

Figura 9- Esquemática da laje nervurada



Fonte: ATEX (2019)

A empresa ATEX é no Brasil, uma grande pioneira na venda e aluguel de cubetas plásticas, a empresa disponibiliza em seu site diversas formas para lajes nervradas de concreto armado, com alturas variáveis das formas e valor para mesa diferentes, a figura 6 dispõe as dimensões da forma ATEX 650, onde se encontra as diversas alturas para as formas utilizadas nesse trabalho, mais a empresa ainda disponibiliza outras tabelas em seu site.

Figura10- Alturas disponíveis para a forma Atex 650

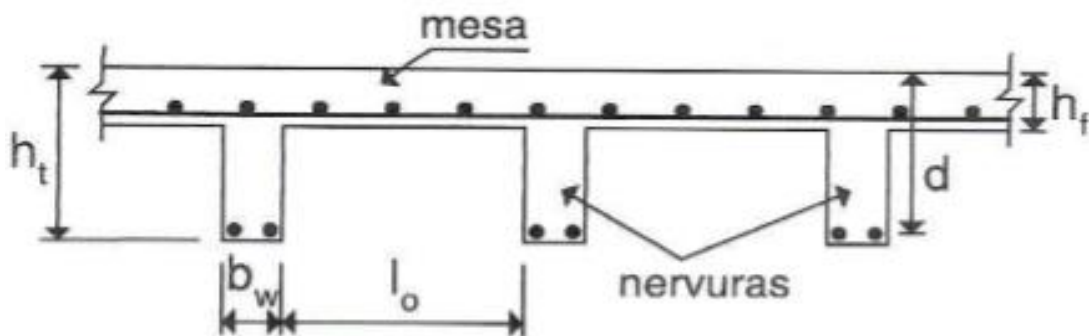
Atex 650

ALTURA DA FORMA	ESPESSURA DA LÂMINA	ALTURA TOTAL	LARGURA DA NERVURA			ÁREA DA SEÇÃO	DISTÂNCIA DO C.G. à		INÉRCIA		VOLUME DO VAZIO		PESO PRÓPRIO	VOLUME DE CONCRETO
			INFERIOR	SUPERIOR	MÉDIA		FACE SUPERIOR	FACE INFERIOR	INÉRCIA PI NERV.	ALTURA EQUIVALENTE	m ³	m ³ /m ²		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm	m ³	m ³ /m ²	kN /m ²	m ³ /m ²
18,0	5,0	23,0	7,0	9,2	8,1	471	5,9	17,1	16974	14,6	0,058	0,138	2,30	0,092
	7,5	25,5				633	6,6	18,9	23295	16,3			2,93	0,117
	10,0	28,0				796	7,5	20,5	31332	18,0			3,55	0,142
21,0	5,0	26,0	7,0	9,8	8,4	501	6,9	19,1	24728	16,6	0,067	0,159	2,53	0,101
	7,5	28,5				664	7,4	21,1	32901	18,3			3,15	0,126
	10,0	31,0				826	8,2	22,8	42711	19,9			3,78	0,151
26,0	5,0	31,0	7,0	11,6	9,3	567	8,7	22,3	42880	19,9	0,081	0,191	2,98	0,119
	7,5	33,5				729	9,0	24,6	55354	21,7			3,60	0,144
	10,0	36,0				892	9,6	26,4	69257	23,4			4,23	0,169
30,0	5,0	35,0	7,0	13,0	10,0	625	10,2	24,8	62438	22,6	0,091	0,215	3,38	0,135
	7,5	37,5				788	10,3	27,2	79372	24,5			4,00	0,160
	10,0	40,0				950	10,8	29,2	97493	26,2			4,63	0,185
35,0	5,0	40,0	7,0	15,0	11,0	710	12,2	27,8	94580	25,9	0,102	0,241	3,95	0,158
	7,5	42,5				873	12,2	30,3	118568	28,0			4,58	0,183
	10,0	45,0				1035	12,6	32,4	143400	29,8			5,20	0,208
40,0	5,0	45,0	7,0	17,4	12,2	813	14,3	30,7	137193	29,4	0,112	0,264	4,65	0,186
	7,5	47,5				976	14,2	33,3	170025	31,5			5,28	0,211
	10,0	50,0				1138	14,5	35,5	203401	33,5			5,90	0,236
21,0	5,0	26,0	5,0	9,0	7,0	472	6,2	19,8	20508	15,6	0,071	0,167	2,32	0,093
	7,5	28,5				635	6,8	21,7	27369	17,2			2,94	0,118
	10,0	31,0				797	7,7	23,3	35878	18,8			3,57	0,143
d1	ds	D	bi	bs	br	A	rs	ri	I	heq	V/V	CONCRETO 25kN/m ³		

Fonte:ATEX (2019)

Segundo Carvalho (2009) as lajes nervuradas, mais usuais são aquelas em que a nervura é inferior e a mesa esta localizadas na parte superior, as formas possuem em sua geometria uma mesa responsável pela tração e uma nervura que atua a compressão onde são posicionadas as armaduras figura 11.

Figura 11– Detalhamento laje nervuradas



Fonte: Araújo (2014)

As lajes nervuradas, de acordo PORTO (2015), possuem grandes vantagens são vistas como uma opção para os casos nos quais se deseja reduzir cargas na estrutura, essa redução possibilitada vencer grandes vãos , fazendo com que os pilares ficam mais afastados, aproveitando se melhor o espaço da edificação , economiza concreto e ainda vencer maiores vãos que ficam entre 7m a 15m .

O isolamento térmico e acústico da laje nervurada é mais uma vantagem, seguindo a facilidade de montagem que gera uma redução de formas e escoramentos durante a execução (PINHEIRO ,2003).

Para lajes nervuradas será usado método de Teoria das Placas, para o dimensionamento deve-se ficar atento aos limites mínimos estipulados pela NBR 6118:2014 quadro 10, para as espessuras mínimas da mesa e das nervuras fica como critério.

Quadro 9- Dimensões mínimas para a mesa e nervura

A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm.
O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro Φ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de 4 cm + Φ , ou 4 cm + 2 Φ no caso de haver cruzamento destas tubulações.
A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm.
Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão

Fonte: adaptado NBR 6118:2014

Deve obedecer também aos limites estipulados para o espaçamento das nervuras quadro 8, que estão dispostos na NBR 6118:2014:

Quadro 10 - Limites espaçamentos entre eixos de nervuras

Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;
Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm
Para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura”.

Fonte: adaptado NBR 6118:2014

A respeito da vinculação, segundo Pinheiro (2003), deve evitar lajes em balanços e engatadas para lajes nervuradas, essas ocorrências geram na área onde se tem menos concreto, ou seja, na área inferior o esforço de compressão. Havendo a necessidade de limitar o momento fletor nas nervuras ou usar uma mesa de concreto na parte inferior.

Conforme ensina Bomjardim (2015):

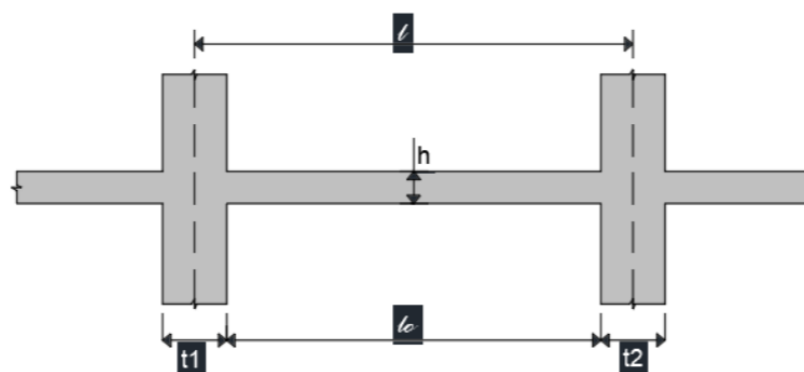
As lajes nervuradas, assim como as maciças, podem ser armadas em uma ou duas direções (armadas em cruz), o que é definido pelas suas nervuras, que podem ocorrer em uma ou nas duas direções. Quando armadas em uma direção são analisadas na direção das nervuras, já quando armadas nas duas direções são calculadas como lajes maciças convencionais.

Segundo Rizzatti (2017) usa-se como parâmetros para a direção da armadura as mesmas que para lajes maciças, a relação l_y por l_x , se armada em uma ou duas direções.

Conforme Pinheiro (2003) o vão efetivo de lajes nervuradas não só utiliza os pilares como parte do cálculo como também a relação entre as nervuras que pode ser obtido através da expressão 17:

$$l_{ef} = l_0 + t_1 + t_2 \quad (17)$$

Figura 12- Detalhes da seção de uma laje nervura



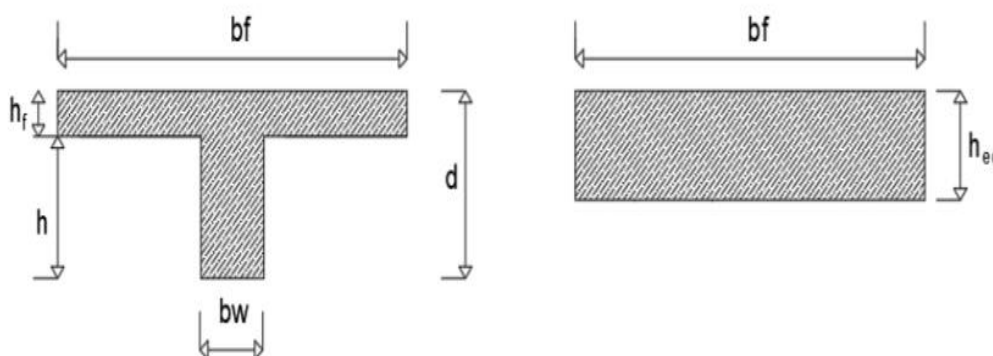
Fonte: Rizzatti (2017)

Segundo Rizzatti (2017) o cálculo para lajes bidirecionais nervuradas para encontrar a espessura equivalente de uma laje maciça igual ao de lajes nervuradas, usa-se métodos de igualdade dos momentos de inercia e a igualdade da rigidez média para se chegar à espessura.

Ainda, segundo Rizzatti (2017) para determinação do momento fletor as equações são diferentes em relação a sua direção. Esta diferença se deve ao fato de nas lajes bidirecionais, temos os momentos sendo transferidos para as duas direções da laje, diferentemente do sistema unidirecional, e assim, é necessário saber o quanto de momento é transferido para cada direção, usa-se então o cálculo de momento fletor do item 2.2.

Para a igualdade do momento de inercia, deve-se encontrar a altura equivalente de uma laje maciça fictícia da seção T ou a mesma pode vir pré-definida por empresas para lajes moldadas in loco, para uma laje retangular esquema fica como visto na figura abaixo:

Figura 13– Esquema geométrico da seção T e seção retangular



Fonte :SILVA (2005)

A determinação do carregamento segue conforme disposto no item 2.2 desse texto, utilizando toda a área da seção “T” as cargas atuantes nas lajes nervuradas são determinadas pela ABNT NBR 6120:1980 sendo essas os itens a seguir, peso próprio; revestimento de forro e piso; paredes, divisórias e ainda carga acidental.

Para uma igualdade do momento de inercia Segundo a NBR 6118:2014 quando armadas em apenas uma direção, são analisadas na direção das nervuras (menor vão); onde se despreza a rigidez transversal e a rigidez a torção já quando armadas em cruz ou duas direções, são calculadas como lajes maciças, para efeito dos esforços solicitantes.

Para o dimensionamento das armaduras máximas e mínimas, usa de os critérios da ABNT NBR 6118:2014 já citados no item 2.2.3, para cobrimento mínimo e

armadura mínima. O cobrimento mínimo é determinado através de quadro 1 e quadro 2 e tem relação com a classe de agressividade.

Segundo Pinheiro (2003) para a mesa comprimida a área da seção a considerar, nos casos de seções T, é a somatória da área da alma mais a mesa colaborante. Já para mesa tracionada o mesmo autor diz que quando não houver laje dupla, considerar a laje retangular como a resistente.

Segundo Silva (2005) as armaduras máximas asseguram condições de ductilidade e respeito o campo de validade dos que deram origem as prescrições do funcionamento do aço. Ainda segundo Silva (2005) as armaduras de tração A_s e compressão A_s' devem ser somadas. não ultrapassando a 4 % da área de concreto A_c .

$$A_s + A_s' \leq 4\% A_c \quad (17)$$

2.4 Estado limite de serviços

A fim de se evitar danos a elementos da construção, pisos e alvenarias, usa-se limitar as flechas nas estruturas de concreto armados, para que não ocorram prejuízos, psicológicos e financeiros tanto como o desempenho da estrutura.

A ABNT NBR 6118:2014, estabelece de deslocamentos limites, em função do vão “L” da laje e características e destinação da obra. Observa-se que os limites indicados, fazem referência a cargas totais, parciais, e outros elementos que provocam parcialmente flechas após a execução ou instalações de elementos como forro, paredes, pisos etc. (HERMES, 2010).

Quadro11 - Limite de deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade e sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	l/250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	l/350

Fonte: Adaptado NBR 6118 :2014

Sendo assim o limite serviço de flechas é de extrema importância para o bom desempenho da estrutura, podendo se observar possíveis problemas nas lajes de imediato ou ao longo do tempo, onde a limitação de flechas impede patologias ocorridas por grandes carregamentos no elemento estrutural.

A partir da verificação se analisa, possíveis fissuras conforme o carregamento que pode ser observado ao longo da vida útil da estrutura, ou durante a construção. O momento de inercia a ser considerado depende do valor do momento fletor atuante. Quando ele não ultrapassar o momento de fissuração, considera-se que a seção não está trabalhando no Estádio I e, portanto, sem fissuras, e conseqüentemente, o momento de inercia será o da seção bruta.

Já o momento de fissuração conforme prescrito na NBR 6118:2014 é determinado através da expressão:

$$m_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t} \quad (18)$$

$m_a \leq m_r$ estadio I calcula – se o momento de inercia na seção bruta

$m_a \geq m_r$ estadio II considera – se o calculo da rigidez equivalente

Onde:

α = coeficiente quadro 12.

f_{ct} = resistência a tração do concreto = $0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$ para concretos de classe C50

y_t = distância do centro de gravidade até a fibra mais tracionada

Verificação do estado limite de deformação excessiva ELS-DE:

Quadro 12 – coeficiente para seções

$\alpha = 1,2$	Para seções em forma de “T” ou “T” duplo
$\alpha = 1,3$	Para seção I ou T invertido
$\alpha = 1,5$	Para seção retangular

Fonte: Carvalho 2016

Na verificação do estado limite de serviços, a NBR 6118:2014 aceita que as flechas no estado I seja avaliada de forma elástica e linear para concreto armado, usa-se momento de inercia da seção bruta.

$$I_c = b * h^3 / 12 \quad (19)$$

Onde:

b = é igual 100 cm

h = altura da laje

Conforme Pinheiro (2003) o valor do modulo de elasticidade poder ser obtido através de fórmula, se não foram feitos os ensaios.

$$E_{ci} = \alpha_e . 5600 . \sqrt{f_{ck}} \quad (20)$$

Onde se adota:

f_{ck} resistência do concreto

$\alpha_e = 0,7$ para arenito.

$\alpha_e = 0,9$ para calcário.

$\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaisse.

$\alpha_e = 1,0$ para basalto e diabásio.

Para cálculo do modulo da elasticidade da secante (E_{cs}) e necessário multiplicar pode equação.

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 . f_{ck} / 80 \leq 1,0 \quad (21)$$

considera-se o cálculo da rigidez equivalente:

Logo:

$$E_{cs} = \alpha_i * E_{ci} \quad (22)$$

Para Flório (2004), para seção “T” encontra o centro de gravidade da seção determinada pela equação que relaciona a características geométricas no estádio I sem considerar a armadura.

$$y_{eg} = \frac{(bf * hf) * ((h - hf) + hf/2) + (bw * (h - hf)) * \frac{h-hf}{2}}{bf * hf + (bw * (h-hf))} \quad (23)$$

Para lajes nervuradas o momento de inercia da seção bruta, leva-se em conta as características geométricas no estádio I conforme equação

$$I_c = \frac{bf * hf^3}{12} + bf * hfg * (y_{eg} - h)^2 + \frac{bw * h^3}{12} + bw * h * hfg^2 \quad (24)$$

A expressão para o cálculo da linha neutra x_{II} no estádio II:

$$x_{II}^2 + 2 * \frac{\alpha e}{bf} [As(x_{II} - d) + (A's(x_{II} - d'))] = 0 \quad (25)$$

Onde:

$(A's(x_{II} - d'))$ para momentos negativos.

αe = coeficiente de homogeneização da seção relação modo de elasticidade do concreto e do aço.

$\alpha e = \frac{Es}{Ec}$ onde o módulo de elasticidade com aço é igual a 210000.

Após obter a posição da linha neutra, calcula-se o momento de inércia do estádio II:

$$I_c = \frac{b * x_{II}^3}{3} + \alpha e * As (d - x_{II}) \quad (26)$$

Conforme Bastos (2015) as combinações de carga devem ser definidas para cálculo do momento fletor M_a , considerando as ações de serviços dispostas no quadro 10 utilizando o fator de redução de combinação quase permanente Ψ_2 .

$$F_{d,ser} = F_{gk} + \Psi_{2j} * F_{qk} \quad (27)$$

Ψ_2 = fator de redução combinações quase permanentes ELS cargas Acidentais

Quadro

F_{gk} = somatório de cargas permanentes

F_{qk} = carga acidental

Quadro 13- Coeficiente de γ_{f2} e fator de redução de combinações quase permanentes

Ações	γ_{f2}		
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Locais com predominância de peso fixos por longos períodos, ou elevadas concentrações de pessoas, como é caso de edifício comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos	0,7	0,6	0,4

Fonte: Adaptado NBR 6118:2014

Quando maior o solicitante considerasse estágio II , assim considerado nesse estágio a rigidez equivalente:

$$(EI)_{EQ=E_{cs}} \left\{ \left(\frac{MR}{Ma} \right)^3 \times I_{c+} \left[1 - \left(\frac{MR}{Ma} \right)^3 \right] \times I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c \quad (28)$$

Onde:

$(EI)_{EQ}$ = produto de rigidez a flexão no estágio II;

E_{cs} = modulo de elasticidade secante do cimento.

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto:

$$I_c = b * h^3 / 12$$

I_{II} = momento de inércia da seção fissurada de concreto no estágio II, calculado com:

$$\alpha e = \frac{E_s}{E_{cs}}$$

Mr = momento de fissuração do elemento estrutural, cujo valor deve ser reduzido à metade no caso de utilização de barras lisas;

M_a = momento fletor na seção crítica do vão considerado, ou seja, o momento máximo no vão para vigas bi apoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações considerada nessa avaliação.

Para a verificação das flechas considera-se as fissuras são provocadas durante a vida útil, onde a rigidez do estágio ocorrerá sempre, com o decorrer do tempo, e diminuição da aplicação da carga na estrutura, as fissuras tendem a se fechar conforme a dilatação do concreto.

A avaliação da flecha em lajes e vigas é feita de maneira aproximada, onde, segundo o item 17.3.2.1 da NBR 6118:2014 estabelece:

O modelo de comportamento da estrutura pode admitir o concreto e o aço como materiais de comportamento elástico e linear, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas determinadas no estágio I, desde que os esforços não superem aqueles que dão início à fissuração, e no estágio II, em caso contrário. Deve ser utilizado no cálculo o valor do módulo de elasticidade secante E_{cs} definido na Seção 8, sendo obrigatória a consideração do efeito da fluência.

2.4.1 Flecha Imediata

A flecha imediata logo após ocorre na aplicação do carregamento que não leve em conta o efeito de fluência, pode se avaliar a flecha em lajes como vigas (CARVALHO,2016). Sendo assim a flecha imediata se dá a partir da equação 29 a seguir onde se relaciona o coeficiente α anexo E, para cálculo de flechas elásticas em lajes retangulares:

$$a_i = \frac{\alpha * P * l_x}{100 * h^3 * E_c I} \quad (29)$$

Ou para estágio II utiliza-se a rigidez equivalente.

$$a_i = \frac{b * \alpha * P * l_x}{12 * 100 * E_{cs} * (E_i)_{eq}}$$

Onde:

α e dado relacionado ao tipo de vinculação e fator λ anexo E.

l_x é o menor vão da laje

Ecs módulo de elasticidade da secante

h altura da laje

2.4.2 Flecha Diferida no Tempo

O cálculo é feito levando em conta o tempo onde a NBR 6118:2014 dispõe de tabela com coeficiente ξ tempo, em que a estrutura recebera carregamento, onde sua deformação será lenta e fluência. A NBR 6118:2014 estabelece que a flecha diferida pode ser calculada multiplicando flecha imediata pelo valor αf encontrado na expressão a seguir:

$$\alpha f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \rho'} \quad (27)$$

Onde:

$\rho' = \frac{A's}{b*d}$ quando houver armadura dupla se não =0.

$A's$ = área da armadura comprimida, se existir;

b = largura da seção transversal;

d = altura útil;

ξ = coeficiente função do tempo, que pode ser obtido diretamente na tabela 11.

Quadro 14 - Coeficiente do tempo ξ

Tempo(t) meses	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	≥ 70
Coeficiente ξ (t)	0	0,54	0,68	0,84	0,95	1,04	1,12	1,12	1,64	1,89	2

Fonte: Adaptado NBR 6118:2014

Flecha total se dá a partir da multiplicação da flecha imediata ai por $\alpha f + 1$.

$$at = ai * (1 + \alpha f)$$

Assim temos todos os paramentos para ao dimensionamento da laje maciças e lajes nervuradas e verificação do estado limite de serviço flecha.

3 METODOLOGIA

O presente estudo busca encontrar o vão limite para as lajes maciças e lajes nervuradas, sendo necessário a investigação do maior vão em que o estado de limite de serviço, atenda o limite de deslocamento estipulado pela norma. Assim torna-se necessário dentro desse processo estabelecer os procedimentos metodológicos adequados para cumprimento dos objetivos conforme exigido pela NBR 6118:2014.

3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa é do tipo exploratória, já que durante sua elaboração foi necessário a análise das lajes maciças e lajes nervuradas de vão a vão. Mesmo sendo a comparação da economia, funcionalidades das lajes em estudo muito exploradas, a pesquisa acerca do deslocamento pode contribuir para o preenchimento de lacunas dos estudos anteriores e ainda abrir caminho para futuras pesquisa ligadas ao vão limite para as tipologias de lajes.

Assim, a finalidade desta pesquisa alinha-se com a definição de Gil (2008, p. 27) onde pesquisas exploratórias, são aquelas que “têm como finalidade principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, sendo uma maneira de formular problemas e hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.”

Conforme Malhotra (2001, p. 105), utiliza-se a pesquisa exploratória quando há necessidade de “definir o problema com maior precisão, identificar cursos relevantes de ação ou obter dados adicionais antes que se possa desenvolver uma abordagem.” Tendo por problema de pesquisa a investigação dos vãos limites de lajes maciças e nervuradas, em função da flecha, percebe-se que a pesquisa que mais se adapta a este fim, é a exploratória.

Assim a partir releitura de autores de títulos de projetos estruturais, livros com referência a concreto armado, pesquisas científicas, monografias, normatizações da Associação Brasileira de Norma Técnica (ABNT), Norma Brasileira (NBR), que se relaciona com estruturas de concreto, Estado limite de deformações, e lajes.

3.2 Procedimentos a serem realizados

O estudo será elaborado através do método de estudo de caso, uma vez que a pesquisa se dedica a estudar o alcance do vão em que não seja prejudicado o desempenho funcional da laje. O entendimento de Gil (2008) é caracterizado como o estudo profundo e exaustivos de um ou de poucos objetos, de maneira a se permitir o seu conhecimento amplo e detalhado. De acordo com Severino (2013, p. 121) a coleta de dados e sua análise se dão da mesma forma que nas pesquisas de campo, em geral. O caso deve ser significativo e bem representativo, de modo a ser apto a se fundamentar uma generalização para situações análogas, autorizando interferências.

O capítulo 4 traz o dimensionamento das lajes maciça e nervuradas, dimensionamento do estado de limite de serviço, sendo esses aparados pela ABNT NBR 6118:2014. Seguido a metodologia usada por Carvalho (2016).

- Análise por placas elásticas delgado por meio de serie
- Tabelas Bares para classificação quanto ao tipo, e coeficientes para determinação do momento fletor máximos e reação de apoio em lajes retangulares com cargas uniformes.
- Especificações recomendadas pela NBR 6118:2014 para cálculo de estruturas de concreto armado

Será utilizado a ABNT NBR 6120/1980, normalização que trata do levantamento de cargas em estruturas, sedo utilizado os itens apropriados para cálculo de carga, tais como peso específico dos materiais a serem utilizados no projeto, cargas permanentes e cargas acidentais.

O dimensionamento para a obtenção dos resultados se dará a partir das seguintes descrições da laje.

- A destinação da estrutura a uma galeria de loja para carga acidental
- Laje quadrada simplesmente apoiadas
- Vãos iniciais de dimensões 3mx3m para lajes maciças e lajes nervuradas
- Cubeta Atex 650 para laje nervurada
- Aço CA-50.

- concreto C-25.
- contra piso de 2 cm argamassa e areia, e revestimento de porcelanato, forro de gesso 2 cm.
- Para efeito de cálculo será desprezado o peso das cubetas plásticas, uma vez que elas são retiradas após o tempo de cura.
- O elemento foi calculado como placa, assim alvenaria, vigas, pilares, foram desprezados no cálculo.

3.3 Método de análise dos resultados

Tendo como fundamento os critérios levantados, e os devidos cálculos executados, será feito tabelas para análise dos resultados, buscando resposta ao questionamento inicial. Será realizada a comparação entre os dois sistemas estruturais, correlacionando as flechas para essas lajes e seus respectivos vãos, sendo o maior vão alcançado sem que a flecha passe do seu limite estipulado o dado de maior relevância para o trabalho, ainda será realizado o dimensionamento para a altura de 15 cm para lajes maciças onde segundo autores citados no texto desse trabalho admitem ser uma altura econômica.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Dimensionamento lajes maciças

Para lajes maciças, o pré-dimensionamento, traz os parâmetros base para a realização dos cálculos de flechas no tabela, sendo o valor de l_x e l_y respectivos ao vão entre apoio, é determinado a altura útil (d) e altura total estimada (h), usando os parâmetros geométricos λ de acordo com vinculação e direção da laje utilizando tabela de Bares para o dimensionamento de momentos fletores e reações, Assim o pré-dimensionamento tabela 1, respeita o limite mínimo da altura estipulado pela norma, de 8 cm de altura para lajes de piso não em balanço, cobrimento de 2,5 cm, e ϕ 1,00 mm.

Tabela 1 - Pré-dimensionamento lajes maciças

PRÉ-DIMENSIONAMENTO								
Laje	$L_x = L_y$ (cm)	λ	n	$L^* = 0,7 * l_y$ (cm)	L^* (cm)	$d = \frac{(2,5 + 0,1 * N)L^*}{100}$ (cm)	$h = (d + c + \frac{\phi}{2})$ cm	
							H real (cm)	h adot (cm)
L1	300	1	0	210	210	5,25	8,25	9
L2	400	1	0	280	280	7,00	8,25	10
L3	500	1	0	350	350	8,75	11,75	12
L4	600	1	0	420	420	10,5	13,50	14
L5	700	1	0	490	490	12,25	15,25	16
L6	800	1	0	560	630	14,00	17,00	17
L7	900	1	0	630	630	15,75	18,75	19
L8	1000	1	0	700	700	17,5	20,5	21

Fonte: Autoras (2019)

O cálculo do carregamento no tabela foi estipulado conforme descrição da laje, apoiado pelos quadros 3 e 4 com seus respectivos valores de peso específico de materiais e carga acidental retirados da NBR 6120:1980, para peso próprio da laje (PP) γ_c de 25 Kn/m², contra piso de (CP) 0,02 m, revestimento de piso 0,85, revestimento de forro de gesso (FG) 0,02 m, assim obtendo o carregamento permanente total (g) e carregamento acidental (q) para salas de escritório de 2,00

kn/m² , o carregamento total se dá a partir da soma das cargas permanentes e cargas acidentais.

Tabela 2- Cargas atuantes na laje

CARREGAMENTO DA LAJES								
Laje	Alt (h) (m)	PP kN/m ²	CP kN/m ²	PISO kNm ²	FG kN/m ²	Total (g) kN/m ²	Total (q) kN/m ²	P total kN/m ²
L1	0,09	2,25	0,42	0,85	0,25	3,77	2,00	5,77
L2	0,10	2,5	0,42	0,85	0,25	4,02	2,00	6,02
L3	0,12	3	0,42	0,85	0,25	4,52	2,00	6,52
L4	0,14	3,5	0,42	0,85	0,25	5,02	2,00	7,02
L5	0,16	4	0,42	0,85	0,25	5,52	2,00	7,52
L6	0,17	4,25	0,42	0,85	0,25	5,77	2,00	7,77
L7	0,19	4,75	0,42	0,85	0,25	6,27	2,00	8,27
L8	0,21	5,25	0,42	0,85	0,25	6,77	2,00	8,77

Fonte: Autoras (2019)

Os momentos fletores M_x tabela 3, calculados conforme CHUST (2014), utilizando valor de tabela para o coeficiente μ_X , relacionado ao tipo de vinculação quadro BARES de parâmetro geométrico (λ), carregamento total (P) e vão de menor dimensão (L_x).

Tabela 3 - Momento fletor

MOMENTO FLETOR						
Laje	TIPO	λ	$L_x = L_y$ (m)	P kN/m ²	$\mu_x = \mu_Y$	$M_X = \mu_X * P * \frac{L_x^2}{100}$ kN.m
L1	1	1	3,00	5,77	4,23	2,20
L2	1	1	4,00	6,02	4,23	4,07
L3	1	1	5,00	6,52	4,23	6,89
L4	1	1	6,00	7,02	4,23	10,69
L5	1	1	7,00	7,52	4,23	15,59
L6	1	1	8,00	7,77	4,23	21,04
L7	1	1	9,00	8,27	4,23	28,34
L8	1	1	10,00	8,77	4,23	37,10

Fonte: Autoras (2019)

As reações de apoio (Q_x) determinadas na tabela 4, a partir do fator (k_x) quadro anexo, observando o vínculo λ , e em função do menor vão L_x e seu carregamento total P

Tabela 4 - Reações de apoio

REAÇÕES DE APOIO						
Laje	TIPO	λ	$L_x = L_y$ (m)	P kN/m ²	$K_X = K_Y$	$Q_x = K_X * P * \frac{L_x}{10}$ kN.m
L1	1	1	3,00	5,77	2,5	4,33
L2	1	1	4,00	6,02	2,5	6,02
L3	1	1	5,00	6,52	2,5	8,15
L4	1	1	6,00	7,02	2,5	10,53
L5	1	1	7,00	7,52	2,5	13,16
L6	1	1	8,00	7,77	2,5	15,54
L7	1	1	9,00	8,27	2,5	18,61
L8	1	1	10,00	8,77	2,5	21,92

Fonte: Autoras (2019)

O momento de fissuração M_r tabela 5, é calculado a partir do coeficiente do coeficiente (α) para seção retangular, a resistência média a tração (f_{ctm}), impregando no cálculo o momento de inercia equivalente I_c e a distanciado centro de gravidade tracionada (Y_T), assim feito a avaliação para identificar em qual estágio a laje estão sendo solicitada.

Tabela 5 – Momento de fissuração e classificação do Estádio de utilização

MOMENTO DE FISSURAÇÃO (M_r)									
Laje	α	$F_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3}$		h (cm)	$I_c = b * \frac{h^3}{12}$ (cm)	$\gamma_t = \frac{h}{2}$ (cm)	$M_r = \alpha * f_{ct} * \frac{I_c}{\gamma_t}$		Est.
		kN/cm ²	kN/m ²				kN.cm	kN.m	
L1	1,5	0,26	2,57	9	6075	4,5	526,50	5,27	I
L2	1,5	0,26	2,57	10	8333	5	649,97	6,50	I
L3	1,5	0,26	2,57	12	14400	6	936,00	9,36	I
L4	1,5	0,26	2,57	14	22867	7	1274,02	12,74	I
L5	1,5	0,26	2,57	16	34133	8	1663,98	16,64	I
L6	1,5	0,26	2,57	17	40941	8,5	1878,47	18,79	II
L7	1,5	0,26	2,57	19	57158	9,5	2346,49	23,47	II
L8	1,5	0,26	2,57	21	77175	10,5	2866,5	28,67	II

Fonte: Autoras (2019)

Para a laje L6 onde o momento fletor foi maior que o momento de fissuração considera-se o estágio II, deve -se avaliar o momento de inercia equivalente I_{eq} tabela 6.

Tabela 6 - Momento de inercia equivalente

MOMENTO DE INECIA EQUIVALENTE						
Laje	M_{max} kN.m	αe	A_s (cm ²)	X_{II} (cm)	I_{II} (cm ⁴)	I_{eqp} (cm ⁴)
L6	17,79	8,72	5,05	3,11	6225	47230
L7	24,22	8,72	5,17	3,35	8198	52793
L8	32,02	8,72	6,83	3,83	1189,3	58926

Fonte: Autoras (2019)

Para cálculo da flecha , faz -se necessário o cálculo de combinações de cargas tabela 7 , usando para o estado limite de utilização ELU, o coeficiente de ponderação γg e γq para cargas permanentes e variáveis , já para Estado limite de deformação ELS-DE considera as ações atuantes conforme as cargas acidentais usando o fator de redução de combinação quase permanente Ψ_2 para o estado limite serviço.

Tabela 7 – Combinações de cargas

COMBINAÇÕES ESTADO ÚLTIMO E ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE DEFORMAÇÃO						
Laje	f_{gk} kN/m ²	f_{qk} kN/m ²	$\gamma g = \gamma q$ kN/m ²	ELU	ELS-DE	
				$Fd = \gamma g * f_{gk} + \gamma q * f_{qk}$ kN/m ²	$Fd = f_{qk} + \psi_2 * f_{qk}$ kN/m ²	
L1	3,77	2,00	1,4	8,08	4,57	
L2	4,02	2,00	1,4	8,43	4,82	
L3	4,52	2,00	1,4	9,13	5,32	
L4	5,02	2,00	1,4	9,83	5,82	
L5	5,52	2,00	1,4	10,53	6,32	
L6	5,77	2,00	1,4	10,88	6,57	
L7	6,27	2,00	1,4	11,58	7,07	
L8	6,77	2,00	1,4	12,28	7,57	

Fonte: Autoras (2019)

No estado limite de deformação calcula-se as flechas imediata , flecha total e flecha limite, para flecha imediata f_i quadro 8 ,que relaciona a carga combinada P , com coeficiente para flechas elástica α o menor vão lx^4 , o modulo de elasticidade da secante E_s , altura da laje h . Já para cálculo da flecha total f_t , dado a partir do fator α_f e variação do coeficiente ξ que considerando o tempo de retirada das escoras 15 dias, e o tempo para maior resistência do concreto de 70 meses.

Assim então para flecha total se dá a partir do fator α_f anexo e flecha imediata, a flecha limite a partir do vão para deslocamento limite.

Tabela 8 – Estado limite de serviço

DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS FLECHAS					
Laje	Comb. Carga kN/m ²	Flechas imediata $f = \frac{\alpha * b * P * lx}{100 * 12 * Ec I}$ (cm)	Flechas diferida $\alpha f = \frac{\Delta\xi}{1+50*\rho'}$	Flechas total $f_{tol} = f * (1 + \alpha_f)$ (cm)	Flecha limite $l/250$ (cm)
L1	4,57	0,11	1,46	0,27	1,20
L2	4,82	0,28	1,46	0,68	1,60
L3	5,32	0,43	1,46	1,06	2,00
L4	5,82	0,61	1,46	1,5	2,40
L5	6,32	0,82	1,46	2,01	2,80
L6	6,57	0,94	1,46	2,31	3,20
L7	7,07	1,45	1,46	3,56	3,60
L8	7,57	2,12	1,46	5,22	4,00

Fonte: Autoras (2019)

4.1.1 Análise dos resultados

As tabelas acima tratam dos resultados do dimensionamento, as lajes maciças para fck de 25 Mpa, a partir do vão de 10, 00 m nomeada laje L8, apresenta deformações excessivas, ela passa do deslocamento limite estipulado pela norma, onde a mesma tem uma altura estimada de 21 cm.

Segundo Bastos (2015) as espessuras para lajes maciças variam entre 7 cm e 15 cm, considerando aspectos econômicos. Sendo assim a laje L5 de vão igual a 7,00 metros foi dimensionada abaixo, adotando -se a espessura de 15 cm afim de obter a deformação e observando se a mesma passa do limite estipulado ou não.

Tabela 9 - Dimensionamento lajes maciça

PRÉ-DIMENSIONAMENTO									
Laje	$Lx = Ly$ (cm)	λ	n	$L^* = 0,7 * ly$ (cm)	L^* (cm)	$d = \frac{(2,5 + 0,1 * N)L^*}{100}$ (cm)	$h = (d + c + \frac{\phi}{2})$ cm		
L5	700	1	0	490	490	12,25	h real	h adot	
CARREGAMENTO DA LAJES									
Laje	Alt (h) m	PP kN/m ²	CP kN/m ²	PISO kN/m ²	FG kN/m ²	Total (g) kN/m ²	Total (q) kN/m ²	P total kN/m ²	
L5	0,15	3,75	0,42	0,85	0,25	5,27	2,00	7,27	
MOMENTO FLETOR									
Laje	TIPO	λ	$Lx = Ly$ (m)	P kN/m ²	$\mu_x = \mu_y$	$MX = \mu_x * P * \frac{Lx^2}{100}$ kN.m			
L5	1	1	7,00	7,27	4,23	15,07			
REAÇÕES DE APOIO									
Laje	TIPO	λ	$Lx = Ly$ (m)	P kN/m ²	$K_x = K_y$	$Q_x = K_x * P * \frac{Lx}{10}$ kn/m ²			
L5	1	1	7,00	7,27	2,5	12,72			
MOMENTO DE FISSURAÇÃO (M_r)									
Laje	α	$F_{ctm} = 0,3 * f_{ck}^{2/3}$		h	$I_c = b * \frac{h^3}{12}$	$\gamma_t = \frac{h}{2}$	$M_r = \alpha * f_{ct} * \frac{I_c}{\gamma_t}$		Est
		kN/cm ²	kN/m ²	cm	cm	cm	kN.m	kN.m	
L5	1,5	0,26	2,57	15	28125	7,5	1462,5	14,63	II
MOMENTO DE INERCIA EQUIVALENTE									
Laje	M_{max} kN.m	αe	A_s (cm ²)	X_{II} (cm)	I_{II} (cm ⁴)	I_{eqp} (cm ⁴)			
L5	20,79	8,72	5,70	3,03	5151	47230			
COMBINAÇÕES ESTADO ÚLTIMO E ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE DEFORMAÇÃO									
Laje	f_{gk}	f_{qk}	$\gamma_g = \gamma_q$	ELU $F_d = \gamma_g * f_{gk} + \gamma_q * f_{qk}$		ELS-DE $F_d = f_{qk} + \psi_2 * f_{qk}$			
L5	5,27	2,00	1,4	kN/m ² 10,18		kN/m ² 6,07			
DEFORMAÇÕES EXCESSIVAS FLECHAS									
Laje	Comb Carga kN/m ²	Flechas imediata $f = \frac{\alpha * b * P * lx}{100 * 12 * E_c I}$ (cm)		Flechas diferida $\alpha f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 * \rho'}$ (cm)		Flechas total $f_{tol} = f * (1 + \alpha_f)$ (cm)		Flecha limite $l/250$ (cm)	
L5	6,07	1,84		1,46		4,53		2,80	

Fonte: Autoras (2019)

Como apresentado a laje L5 de vão igual 7,00 m apresenta deformação excessiva, quando se tem sua altura limitada a 15 cm, diferente do mesmo dimensionamento quando se estima a altura da laje L6 de 16 cm onde a mesma não apresenta deformação.

Sendo assim o vão limite para lajes maciças para o caso em estudo onde não se limita a altura é de 10,00 m, onde o estado limite de deformação apresenta flecha igual a 5,22 cm quando o limite estipulado pela norma e de 4,00 cm. Já para a laje onde se limita o vão e de 7,00 m apresentando flecha 4,53 quando o limite estipulado pela norma e de 2,8 para respectivo vão.

4.2 Dimensionamento lajes nervuradas

Para o pré-dimensionamento de lajes nervuradas, usamos a equação disposta no capítulo 3, para o dimensionamento da altura útil usa-se os respectivos valores para Ψ_1 na figura 6 e Ψ_2 na tabela 5, e altura estimada com os valores de (c) para cobertura nominal.

Tabela 10 - Pré-dimensionamento lajes nervuradas

PRÉ-DIMENSIONAMENTO								
Laje	Lx=Ly (cm)	$\lambda=$	Ψ_1	Ψ_2	$d \leq \frac{LX}{\Psi_1 * \Psi_2}$ (cm)		$h = (d + c + \phi + \frac{\phi}{2})$ (cm)	
					h real	h adot.	h real	H adot.
L1	300	1	1,5	17	11,76	12	15,75	16,00
L2	400	1	1,5	17	15,69	16	19,75	20,00
L3	500	1	1,5	17	19,61	20	23,75	24,00
L4	600	1	1,5	17	23,53	24	27,75	28,00
L5	700	1	1,5	17	27,45	28	31,75	32,00
L6	800	1	1,5	17	31,37	32	35,75	36,00
L7	900	1	1,5	17	35,29	36	39,75	40,00
L8	1000	1	1,5	17	39,21	40	43,75	44,00
L9	1100	1	1,5	17	43,13	44	47,75	48,00
L10	1200	1	1,5	17	47,05	48	50,75	52,00

Fonte: Autoras (2019)

As formas ATEX possuem diferentes alturas tabela 11, para o dimensionamento usamos a forma 650, que possui altura compatíveis com as pré-dimensionadas, assim temos todos os dados da seção, para o dimensionamento.

Tabela 11– Dimensões da Forma (cm)

DIMENSÕES DA FORMA						
Laje	Forma	H da forma/ nervura (cm)	H da capa hf (cm)	H total (cm)	bW (cm)	Largura da mesa bf (cm)
L1	650	18	5	23	7	65
L2	650	18	5	23	7	65
L3	650	21	5	26	7	65
L4	650	21	7,5	28,5	7	65
L5	650	26	7,5	33,5	7	65
L6	650	30	7,5	37,5	7	65
L7	650	30	10	40	7	65
L8	650	40	5	45	7	65
L9	650	40	10	50	7	65
L10	650	40	10	50	7	65

Fonte: Autoras (2019)

Os carregamentos para lajes nervuradas tabela 12, a área da seção da laje é usada para cálculo do peso próprio PP, já o peso dos revestimentos (piso, forro de gesso) e carga accidental, segue os parâmetros da laje maciça.

Tabela 12 - Carregamentos lajes nervuradas

CARREGAMENTO DA LAJES								
Laje	Alt (h) m	PP kN/m ²	CP kN/m ²	PISO kN/m ²	FG kN/m ²	Total (g) kN/m ²	Total (q) kN/m ²	P total kN/m ²
L1	0,23	1,11	0,42	0,85	0,25	2,63	2,00	4,63
L2	0,23	1,11	0,42	0,85	0,25	2,63	2,00	4,63
L3	0,26	1,81	0,42	0,85	0,25	3,43	2,00	5,33
L4	0,285	1,84	0,42	0,85	0,25	3,36	2,00	5,36
L5	0,335	1,60	0,42	0,85	0,25	3,12	2,00	5,12
L6	0,375	1,66	0,42	0,85	0,25	3,18	2,00	5,18
L7	0,40	2,05	0,42	0,85	0,25	3,57	2,00	5,57
L8	0,45	1,51	0,42	0,85	0,25	3,03	2,00	5,03
L9	0,50	2,33	0,42	0,85	0,25	3,85	2,00	5,85
L10	0,50	2,33	0,42	0,85	0,25	3,85	2,00	5,85

Fonte: Autoras (2019)

O momento fletor nas lajes nervuradas tabela 13, é dimensionado de forma igual a lajes maciças, onde o valor μ_x está disposto no anexo, l_x sendo o menor vão.

Tabela 13 - Momento fletor

MOMENTO FLETOR					
Laje	TIPO	$\lambda=$	CARREGAMENTO (P) kN/m ²	$\mu_x = \mu_Y$	$M_x = \frac{\mu X * P * Lx^2}{100}$ kN.m
L1	1	1	4,63	4,43	1,84
L2	1	1	4,63	4,43	3,27
L3	1	1	5,33	4,43	5,88
L4	1	1	5,36	4,43	8,51
L5	1	1	5,12	4,43	11,06
L6	1	1	5,18	4,43	14,62
L7	1	1	5,57	4,43	19,90
L8	1	1	5,03	4,43	22,18
L9	1	1	5,85	4,43	31,22
L10	1	1	5,85	4,43	37,32

Fonte: Autoras (2019)

A seqüência se dá com dimensionamento do momento fletor na nervura tabela 14, onde a largura da mesa bf é usada para obtenção do momento.

Tabela 14 -Momento máximo por nervura

MOMENTO FLETOR MAXIMO POR NERVURA			
Laje	Momento fletor $M_x=M_y$ kN/m	bf mesa (m)	<i>momento maximo por nervura</i> $m_x = M_x * bf$ kN/m
L1	1,84	0,65	1,20
L2	3,27	0,65	2,12
L3	5,88	0,65	3,82
L4	8,51	0,65	5,53
L5	11,06	0,65	7,18
L6	14,62	0,65	9,50
L7	19,90	0,65	12,94
L8	22,18	0,65	14,42
L9	31,22	0,65	20,29
L10	37,32	0,65	24,26

Fonte: Autoras (2019)

Quando se tem uma seção "T" , se calcula a largura da mesa colaborante tabela 15 , o valor para a é referente ao vão Lx , já $b2$ é o afim de se obter o valor da mesa necessária , ou que ela seja igual ao bf da forma .

Tabela 15 – Largura da mesa colaborante

LARGURA DA MESA COLABORANTE BF					
Laje	Bw cm	b1(cm)		b1	bf = bw + 2 * b1 cm
		0,10 * a	0,50 * b2		
L1	7	0,30	0,29	0,29	0,65
L2	7	0,40	0,29	0,29	0,65
L3	7	0,50	0,29	0,29	0,65
L4	7	0,60	0,29	0,29	0,65
L5	7	0,70	0,29	0,29	0,65
L6	7	0,80	0,29	0,29	0,65
L7	7	0,90	0,29	0,29	0,65
L8	7	1,0	0,29	0,29	0,65
L9	7	1,10	0,29	0,29	0,65
L10	7	1,10	0,29	0,29	0,65

Fonte: Autoras (2019)

Assim encontrando ou confirmando o valor para bf , segue-se para o cálculo da armadura longitudinal por nervura tabela 16, onde o valor de Bxf , será parâmetro para cálculo da armadura quanto a sua classificação se seção retangular, ou seção T.

Tabela 16 - Armadura Longitudinal para nervuras

ARMADURA A FLEXÃO PARA NERVURA						
Laje	d =h forma /nervura (cm)	hf (cm)	$Bxf = \frac{hf}{0,8 * d}$	Bf (m)	md = 1,4 * Mx	
					kN.m	kN.cm
L1	23	0,05	0,35	0,65	1,674	167,44
L2	23	0,05	0,35	0,65	2,96	297,57
L3	26	0,05	0,30	0,65	5,35	535,1
L4	28,5	0,075	0,45	0,65	7,74	774,4
L5	33,5	0,075	0,36	0,65	10,07	1007
L6	37,5	0,075	0,31	0,65	13,39	1339
L7	40	0,10	0,42	0,65	18,11	1811
L8	45	0,05	0,16	0,65	20,18	2018
L9	50	0,10	0,33	0,65	28,41	2841
L10	50	0,10	0,33	0,65	33,96	3396

Fonte: Autoras (2019)

O momento resistente de cálculo md é encontrado para cálculo do valor de kc anexo, ainda no anexo com o valor de kc , se encontra o valor de ks e respectivamente o valor de bx , quando $bx \leq bxf$ se calcula como seção retangular, em caso contrário o cálculo deve ser feito como seção "T", assim com a classificação, se calcula a Área de armadura As , e área mínima de armadura $As, pmin$.

Tabela 17 – Armadura longitudinal

ARMADURA A FLEXÃO PARA NERVURA NA DIREÇÃO X						
Laje	$kc = bf * d^2 / md$	ks	bx	Classf.	As cm	As,ρ min cm
	205,35	0,023	0,2	Retang.	0,17 cm 1Ø 5	0,24
L1	115,55	0,023	0,2	Retang.	0,30 cm 1Ø 6,3 mm	0,24
L2	82,12	0,023	0,2	Retang.	0,47 1cmØ 8	0,27
L3	68,18	0,023	0,2	Retang.	0,62 1Ø 5 mm	0,30
L4	72,48	0,023	0,2	Retang.	0,69 cm 1Ø 5 mm	0,35
L5	68,70	0,023	0,2	Retang.	0,82 cm ² 2 Ø6,5mm	0,39
L6	57,43	0,023	0,2	Retang.	0,82 cm ² 2 Ø 6,3mm	0,42
L7	65,21	0,023	0,2	Retang.	0,93, cm 3 Ø 6,3 mm	0,47
L8	57,20	0,023	0,2	Retang.	1,24 cm 1 Ø 80mm	0,53
L9	36,61	0,023	0,2	Retang.	1,63 cm ² Ø 8mm 1Ø5 mm	0,55
L9	30,62	0,023	0,2	Retang.	1,95 cm ² Ø 8mm 1Ø5 mm	0,53

Fonte: Autoras (2019)

Tabela 18– Armadura longitudinal

ARMADURA A FLEXÃO PARA NERVURA NA DIREÇÃO y						
Laje	$kc = bf * d^2 / md$	ks	bx	Classf.	As cm	As,ρ min cm
	205,35	0,023	0,2	Retang.	0,17 cm 1Ø 5	0,24
L1	115,55	0,023	0,2	Retang.	0,30 cm 1Ø 6,3 mm	0,24
L2	82,12	0,023	0,2	Retang.	0,47 1cmØ 8	0,27
L3	68,18	0,023	0,2	Retang.	0,62 1Ø 5 mm	0,30
L4	72,48	0,023	0,2	Retang.	0,69 cm 1Ø 5 mm	0,35
L5	68,70	0,023	0,2	Retang.	0,82 cm ² 2 Ø 6,3 mm	0,39
L6	57,43	0,023	0,2	Retang.	0,82 cm ² 2 Ø 6,3 mm	0,42
L7	65,21	0,023	0,2	Retang.	0,93, cm 3 Ø 6,3 mm	0,47
L8	57,20	0,023	0,2	Retang.	1,24 cm 1 Ø 8 mm	0,53
L9	31,97	0,023	0,2	Retang.	1,74 cm 2 Ø mm	0,55
L10	26,20	0,023	0,2	Retang.	2,11 cm 2 Ø mm	0,55

Fonte: Autoras (2019)

Com o devido cálculo da armadura, inicia-se a verificação quanto ao estado de deformações excessivas flechas tabela 19 mesma parte do cálculo do modulo de elasticidade E_{ci} onde relaciona o fator α_e correspondente ao tipo material, e f_{ck} a resistência do concreto para o caso C25.

Para cálculo da rigidez equivalente E_{cs} , usa-se o valor de α_i encontrado na equação 18, assim o fator α_e e obtido para cálculo da posição da linha neutra tabela 20. O centro de gravidade da seção y_{eg} é determinando para calculo do momento de inercia equivalente I_c tabela 20.

Tabela 19 – Verificação quanto ao estado de deformação excessivas

VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA						
Laje	$Eci = \alpha e * 5600\sqrt{fck}$	$\alpha_i = 0,8 + 0,2 * \frac{fck}{100}$	$Ecs = \alpha i * Eci$		αe	yeg cm
	MPa		MPa	kN/m		
L1	28000	0,85	23800	2380	8,82	5,71
L2	28000	0,85	23800	2380	8,82	5,71
L3	28000	0,85	23800	2380	8,82	6,55
L4	28000	0,85	23800	2380	8,82	7,05
L5	28000	0,85	23800	2380	8,82	8,30
L6	28000	0,85	23800	2380	8,82	9,40
L7	28000	0,85	23800	2380	8,82	10,37
L8	28000	0,85	23800	2380	8,82	12,91
L9	28000	0,85	23800	2380	8,82	12,53
L10	28000	0,85	23800	2380	8,82	15,50

Fonte: Autoras (2019)

Com os devidos valores do momento de inercia equivalente da seção bruta Ic , passa-se para obtenção do momento de fissuração Mr que comparado ao momento máximo Mx determina se a fissuração ou não na seção equação 15 , uma vez que há fissuração o dimensionamento para deformações excessivas , segue no estágio II tabela 20.

Tabela 20- Momento de Fissuração e Classificação quanto ao estágio

Fonte: Autoras (2019)

VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE DEFORMAÇÃO EXCESSIVA						
Laje	Ic cm ⁴	α para seção T	$Ftcm = 0,3 * fck^{2/3}$ Kn/cm ²	yt cm	$Mr = \alpha * fctm * \frac{Ic}{yt}$ kN.m	Estd I ou II
L1	16085,3	1,2	0,256	17,29	286	I
L2	16083,32	1,2	0,256	17,29	286	I
L3	23184,03	1,2	0,256	19,45	366	II
L4	30621,57	1,2	0,256	21,45	439	II
L5	49717,96	1,2	0,256	25,20	606	II
L6	69634,26	1,2	0,256	28,10	761	II
L7	84861,00	1,2	0,256	29,63	880	II
L8	14158,26	1,2	0,256	32,09	1093	II
L9	165061,00	1,2	0,256	34,50	1353	II
L10	167919,60	1,2	0,256	34,50	1537	II

Fonte: Autoras (2019)

Na tabela 21 se encontra a posição da linha neutra x , é necessária para obtenção do momento de inercia no estágio I_{II} , com o valor obtido se encontra o momento de inercia equivalente (Ei)eq tabela 20 com a fórmula de Brason.

Tabela 21 – Estadio II momento de inercia equivalente

ESTÁGIO II		
Laje	Posição da linha neutra $x_{II}^2 + \frac{2*\alpha e}{bf} [As(x_{II} - d)] = 0$ (cm)	Momento de inercia no estágio II $I_{II} = \frac{b*x_{II}^3}{3} + \alpha e * As(d - x_{II})^2$ (cm ⁴)
L3	2,72	6398
L4	3,08	9677
L5	3,53	14423
L6	4,00	21583
L7	4,70	32153
L8	4,87	37923
L9	5,71	58970
L10	6,11	35935

Fonte: Autoras (2019)

Para o momento máximo, se calcula a combinações de cargas equação 24, quase permanente, para fim de cálculo do momento máximo M_x .

Tabela 22 – Combinações de cargas

COMBINAÇÕES ESTADO ÚLTIMO E ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE DEFORMAÇÃO		
Laje	ELU $Fd = \gamma g * fgk + \gamma q * fqk$ kN/m ²	ELS-DE $Fd = fqk + \psi_2 * fqk$ kN/m ²
L1	6,48	3,43
L2	6,48	3,43
L3	7,60	4,13
L4	7,50	4,16
L5	7,17	3,92
L6	7,25	3,98
L7	7,79	4,37
L8	7,04	3,83
L9	8,19	4,65
L10	8,19	4,65

Fonte: Autoras (2019)

O cálculo do momento de inercia equivalente Brason tabela 23, relaciona o momento máximo relaciona e o momento de fissuração, o mesmo é fundamental para o cálculo das flechas imediatas no estado limite de deformação tabela.

Tabela 23 - Estádio II

ESTÁGIO II		
Laje	Momento máximo	Momento de inercia equivalente (Brason)
	$m_x = \frac{\mu x * p * l x^2}{100}$	$(EI)_{EQ} = \left\{ \left(\frac{MR}{Mx} \right)^3 \times I_{c+} \left[1 - \left(\frac{MR}{Ma} \right)^3 \right] \times I_{II} \right\} \leq Ecs Ic$
L3	455	15074
L4	660	15751
L5	847	27482
L6	1123	36479
L7	1561	41640
L8	1689	58507
L9	2481	75944
L10	2966	54370

Fonte: Autoras (2019)

As deformações excessivas tabela 24 , são calculadas com o momento de inercia equivalente , onde o valor α em anexo para cálculo de flechas , obtendo flecha imediata calcula-se o fator αf , onde a variação do tempo $\Delta \xi$, condiz a situação de tempo de retirada do escoramento , e tempo total da curado concreto , para o caso em estudo 15 dias para retirada do escoramento e 70 meses tempo total de cura.

A flecha total é obtida, na multiplicação da flecha inicial com o fator αf , que deve respeitar os limites impostos pela NBR 6118:2014;

Tabela 24 – Deformação excessiva

DEFORMAÇÃO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO					
Laje	Comb. quase permanente	Flechas imediata $f_i = \frac{P * l^4 * \alpha * b}{Eiq * Ecs * 100 * 12}$ (cm)	Flechas diferida $\alpha f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 * \rho'}$ (cm)	Flechas total $f_{tol} = f * (1 + \alpha f)$ cm	Flecha limite $l/250$ cm
L1	3,43	0,045	1,46	0,11	1,2
L2	3,43	0,14	1,46	0,35	1,6
L3	4,13	0,34	1,46	0,84	2,00
L4	4,16	0,67	1,46	1,65	2,4
L5	3,92	0,67	1,46	1,65	2,8
L6	3,98	0,88	1,46	2,16	3,20
L7	4,37	1,35	1,46	2,32	3,60
L8	3,83	1,28	1,46	3,15	4,00
L9	4,65	1,76	1,46	4,33	4,40
L10	4,65	2,95	1,46	7,27	4,80

Fonte: Autoras (2019)

4.2.1 Análise dos resultados

Como já dito lajes nervuradas por possuir uma inercia maior consegue-se vencer vão maiores, assim na análise feita em lajes nervuradas obteve -se o vão de 12 metros na laje L 10, onde laje apresenta deformação excessiva de 7,27 cm onde o limite estipulado pela norma e de 4,80 cm deslocamento.

Conforme exposto no texto desse trabalho lajes nervuradas segundo alguns autores, vencem vão que ficam entre 12 m e 15 m. Sendo assim levando em conta que o dimensionamento foi feito para uma largura de b_f igual a 65 cm, e b_w 7.00 para a laje L10, nota-se então que é possível alcançar um maior vão utilizando uma forma de valor maior para b_f podendo sim chegar um vão maior para outra forma.]

Observa-se também que partir do vão de 5 m L3 , as laje nervurada já trabalha no estágio II , isso porque o momento de inercia na seção bruta tende a ser maior do que me lajes maciças resultando em lajes que tendem a fissurar , por isso a mesma partir do vão de 5 m, trabalha no estágio II , considerando fissuração.

4 CONCLUSÃO

Conforme descrito, nesse trabalho o estudo de flechas em lajes maciças e lajes nervuradas em função do vão, apresenta a que vão as lajes deixam de atender o estado limite de deformação. Com o suporte da NBR 6118:2014 foi feito o dimensionamento das lajes maciças e lajes nervuradas, seguindo os parâmetros exigidos pela norma, e utilizando de tabelas para apoio no dimensionamento. Com o objetivo do trabalho alcançado, faz-se necessário a análise para as duas lajes, e a comparação quanto ao tipo a se empregar visando uma economia no maior vão obtido para cada laje.

Destaca-se que para uma melhor análise igualou-se as condições de dimensionamento quanto as cargas, o concreto e já para a dimensões das formas utilizou-se a forma que atendia a necessidade das diversas alturas estimadas propostas no caso das lajes nervuradas.

Conforme objetivado por este trabalho em laje maciça, o deslocamento limite é ultrapassado no vão de 10,00 m quando não se limita a altura, já quando dimensionada visando uma economia a laje maciças tem como vão limite a laje L5 de vão igual a 7 m, sendo esse seu vão limite para deformações excessivas

As lajes nervuradas, chega ao vão limite de 12,00 m para as cubetas plásticas ATEX 650, onde ela apresenta flecha excessiva ultrapassando o limite estipulado pela norma. Como já observado pode-se alcançar vão maiores com cubetas maiores pois a empresa disponibiliza cubetas plásticas de bf até 0,90 m.

Pode-se adotar processo de contra flechas para corrigir flechas em lajes maciças e lajes nervuradas, desde que seja respeitado todas as recomendações estabelecidas pela norma NBR 6118:2014.

Recomenda-se o estudo com outras tipologias de lajes, ou um comparativo quanto ao custo de se usar uma laje maciça e laje nervurada para certo vão. Pode ser feito também uma estrutura, mais de uma laje onde essas geraram engaste e então ver o quanto esse engaste interfere na flecha, ou até mesmo um estudo de flechas utilizando cubetas maiores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, F.X., HEMERLY, A.C, 2010, **Concreto armado -Cálculo prático e econômico** – Volume 1, 2ª ed., Editora Interciência Rio de Janeiro.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas e edificações**. Rio de Janeiro, 1980

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003a. v. 2. _____ . **Curso de concreto Armado**. 1 v. Rio Grande: Editora Dunas, 4ª ed., 2014.

BASTOS, P.S.S. Lajes de Concreto. 2015 Notas de aula Universidade Estadual Paulista, 2015.

BORGES, A.N 2015, Curso **prático para cálculo em concreto armado projeto de edifícios** -Volume 1, 3ª ed., Editora Imperial Novo Milênio Rio de Janeiro.

CARVALHO, R.C., FILHO, J.R.F., 2016, **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**– Volume 2, 4ª ed., Editora EdUFSCar São Carlos.

CARVALHO, R.C., PINHEIRO, L.M., 2009, **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** – Volume 2, 1ª ed., Editora Pini, São Paulo.

FUSCO, P.B. (1995). **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo, Pini. PINHEIRO, Libânio M. **Lajes nervuradas** Cap. 17- Estruturas de Concreto, Universidade de São Paulo, SP, 2003.

PINHEIRO, Libânio M. **Lajes maciças**. Cap. 11- Estruturas de Concreto, Universidade de São Paulo, SP, 2010.

PINHEIRO, L. M. Concreto armado: tabelas e ábacos. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 1994.

PORTO, T.B, FERNANDES, D.S.G, 2015 **Curso básico de concreto armado conforme NBR 6118/2014** – Volume 1, 1ª ed., Editora Oficina de textos São Paulo.

RIZZATI, L.S **Lajes nervuradas: Projetos, execução e análise de patologias**. 2017. Trabalho de conclusão de curso –, Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul.

SILVA, R.C. **Análise comparativa entre sistemas estruturais de lajes maciças e nervuradas**, 2017, 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Engenharia Civil). Pitágoras. Londrina, 2017.

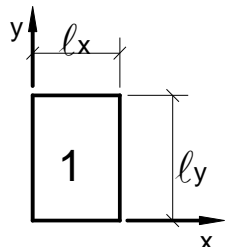
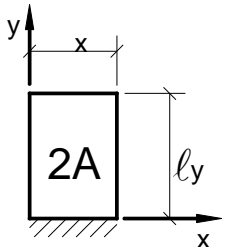
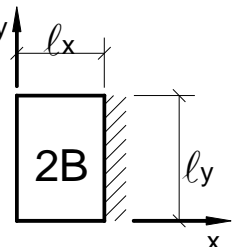
SILVA, M.A.F. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**, 2005, 239f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

SPHOR, V.H. **Análise comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estrutura de lajes nervuradas**. 2008. 107p. dissertação (mestrado) –, Universidade Federal de Santa. Rio Grande do Sul.

BRASIL ATEX A FORMA DAS LAJES. Forma Plásticas: **catálogo eletrônico**. Disponível em:
https://www.atex.com.br/upload/PDFCalculista/Catalogorevjan19_636867676630505412.pdf. Acesso em: 30 junho 2019.

ANEXOS

ANEXO A – FIGURA TABELAS Kx

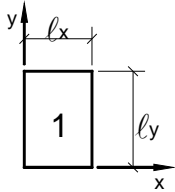
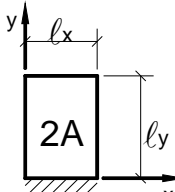
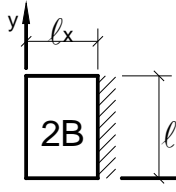
Tabela 2.2a									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
									
	v_x	v_y	v_x	v_y	v'_y	v_x	v'_x	v_y	
1,00	2,50	2,50	1,83	2,75	4,02	2,75	4,02	1,83	1,00
1,05	2,62	2,50	1,92	2,80	4,10	2,82	4,13	1,83	1,05
1,10	2,73	2,50	2,01	2,85	4,17	2,89	4,23	1,83	1,10
1,15	2,83	2,50	2,10	2,88	4,22	2,95	4,32	1,83	1,15
1,20	2,92	2,50	2,20	2,91	4,27	3,01	4,41	1,83	1,20
1,25	3,00	2,50	2,29	2,94	4,30	3,06	4,48	1,83	1,25
1,30	3,08	2,50	2,38	2,95	4,32	3,11	4,55	1,83	1,30
1,35	3,15	2,50	2,47	2,96	4,33	3,16	4,62	1,83	1,35
1,40	3,21	2,50	2,56	2,96	4,33	3,20	4,68	1,83	1,40
1,45	3,28	2,50	2,64	2,96	4,33	3,24	4,74	1,83	1,45
1,50	3,33	2,50	2,72	2,96	4,33	3,27	4,79	1,83	1,50
1,55	3,39	2,50	2,80	2,96	4,33	3,31	4,84	1,83	1,55
1,60	3,44	2,50	2,87	2,96	4,33	3,34	4,89	1,83	1,60
1,65	3,48	2,50	2,93	2,96	4,33	3,37	4,93	1,83	1,65
1,70	3,53	2,50	2,99	2,96	4,33	3,40	4,97	1,83	1,70
1,75	3,57	2,50	3,05	2,96	4,33	3,42	5,01	1,83	1,75
1,80	3,61	2,50	3,10	2,96	4,33	3,45	5,05	1,83	1,80
1,85	3,65	2,50	3,15	2,96	4,33	3,47	5,09	1,83	1,85
1,90	3,68	2,50	3,20	2,96	4,33	3,50	5,12	1,83	1,90
1,95	3,72	2,50	3,25	2,96	4,33	3,52	5,15	1,83	1,95
2,00	3,75	2,50	3,29	2,96	4,33	3,54	5,18	1,83	2,00
> 2,00	5,00	2,50	5,00	2,96	4,33	4,38	6,25	1,83	> 2,00

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{pl}{x}$ $p =$ carga uniforme $l_x =$ menor vão 10

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

ANEXO B – FIGURA TABELAS BARES VALORES μ_x, μ_y

Tabela 2.3a									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo									Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05
1,10	5,00	4,27	3,61	3,74	9,18	3,99	9,17	2,76	1,10
1,15	5,38	4,25	3,98	3,80	9,53	4,19	9,49	2,68	1,15
1,20	5,75	4,22	4,35	3,86	9,88	4,38	9,80	2,59	1,20
1,25	6,10	4,17	4,72	3,89	10,16	4,55	10,06	2,51	1,25
1,30	6,44	4,12	5,09	3,92	10,41	4,71	10,32	2,42	1,30
1,35	6,77	4,06	5,44	3,93	10,64	4,86	10,54	2,34	1,35
1,40	7,10	4,00	5,79	3,94	10,86	5,00	10,75	2,25	1,40
1,45	7,41	3,95	6,12	3,91	11,05	5,12	10,92	2,19	1,45
1,50	7,72	3,89	6,45	3,88	11,23	5,24	11,09	2,12	1,50
1,55	7,99	3,82	6,76	3,85	11,39	5,34	11,23	2,04	1,55
1,60	8,26	3,74	7,07	3,81	11,55	5,44	11,36	1,95	1,60
1,65	8,50	3,66	7,28	3,78	11,67	5,53	11,48	1,87	1,65
1,70	8,74	3,58	7,49	3,74	11,79	5,61	11,60	1,79	1,70
1,75	8,95	3,53	7,53	3,69	11,88	5,68	11,72	1,74	1,75
1,80	9,16	3,47	7,56	3,63	11,96	5,75	11,84	1,68	1,80
1,85	9,35	3,38	8,10	3,58	12,05	5,81	11,94	1,67	1,85
1,90	9,54	3,29	8,63	3,53	12,14	5,86	12,03	1,59	1,90
1,95	9,73	3,23	8,86	3,45	12,17	5,90	12,08	1,54	1,95
2,00	9,91	3,16	9,08	3,36	12,20	5,94	12,13	1,48	2,00
> 2,00	12,50	3,16	12,50	3,36	12,20	7,03	12,50	1,48	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

ANEXO C – FIGURA TABELAS Kx

Tabela 1.1													
FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES													
$\beta_c = \frac{x}{d}$	$k_c = \frac{bd^2}{M_d} (\text{cm}^2/\text{kN})$									$k_s = \frac{A_s d}{M_d} (\text{cm}^2/\text{kN})$			D O M I N I O
	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	CA-25	CA-50	CA-60	
0,02	103,8	69,2	51,9	41,5	34,6	29,7	25,9	23,1	20,8	0,046	0,023	0,019	2
0,04	52,3	34,9	26,2	20,9	17,4	15,0	13,1	11,6	10,5	0,047	0,023	0,020	
0,06	35,2	23,4	17,6	14,1	11,7	10,1	8,8	7,8	7,0	0,047	0,024	0,020	
0,08	26,6	17,7	13,3	10,6	8,9	7,6	6,7	5,9	5,3	0,048	0,024	0,020	
0,10	21,5	14,3	10,7	8,6	7,2	6,1	5,4	4,8	4,3	0,048	0,024	0,020	
0,12	18,0	12,0	9,0	7,2	6,0	5,2	4,5	4,0	3,6	0,048	0,024	0,020	
0,14	15,6	10,4	7,8	6,2	5,2	4,5	3,9	3,5	3,1	0,049	0,024	0,020	
0,16	13,8	9,2	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	0,049	0,025	0,021	
0,18	12,3	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7	2,5	0,050	0,025	0,021	
0,20	11,2	7,5	5,6	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	0,050	0,025	0,021	
0,22	10,3	6,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1	0,050	0,025	0,021	
0,24	9,5	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	0,051	0,025	0,021	
0,26	8,8	5,9	4,4	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,8	0,051	0,026	0,021	
0,28	8,3	5,5	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	0,052	0,026	0,022	
0,30	7,8	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	2,0	1,7	1,6	0,052	0,026	0,022	
0,32	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	0,053	0,026	0,022	
0,34	7,0	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	0,053	0,027	0,022	
0,36	6,7	4,5	3,3	2,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	0,054	0,027	0,022	
0,38	6,4	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	0,054	0,027	0,023	
0,40	6,1	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,055	0,027	0,023	
0,42	5,9	3,9	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,055	0,028	0,023	
0,438	5,7	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028	0,023	
0,44	5,7	3,8	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028		
0,46	5,5	3,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,056	0,028		
0,48	5,3	3,5	2,7	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,057	0,029		
0,50	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,52	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,54	4,9	3,2	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,029		
0,56	4,7	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,030		
0,58	4,6	3,1	2,3	1,9	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,060	0,030		
0,60	4,5	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,030		
0,628	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,031		
0,64	4,3	2,9	2,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,062			
0,68	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,063			
0,72	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,065			
0,76	3,9	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,066			
0,772	3,9	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,067			

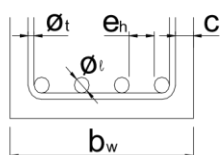
Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.
De acordo com a NBR 6118:2003.
Diagrama retangular de tensões no concreto, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$.
Para $\gamma_c \neq 1,4$, multiplicar b por $1,4/\gamma_c$ antes de usar a tabela.

ANEXO D – FIGURA TABELAS Kx

Tabela 1.3a														
ÁREA DA SEÇÃO DE BARRAS A_s (cm ²)														
LARGURA MÍNIMA PARA UMA CAMADA b_w (cm)														
DIÂMETRO		MASSA		A_s (cm ²) e b_w (cm)	NÚMERO DE BARRAS									
NOMINAL (mm)	APROX. (POL)	NOMINAL (kg/m)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	$\frac{3}{16}$	0,154	A_s	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96	
			b_w	Br.1	-	10	12	15	18	21	23	26	29	32
				Br.2	-	10	14	17	21	24	28	31	35	38
6,3	$\frac{1}{4}$	0,245	A_s	0,31	0,62	0,94	1,25	1,56	1,87	2,18	2,49	2,81	3,12	
			b_w	Br.1	-	10	13	16	19	21	24	27	30	33
				Br.2	-	11	14	18	21	25	29	32	36	40
8	$\frac{5}{16}$	0,395	A_s	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03	
			b_w	Br.1	-	10	13	16	19	22	26	29	32	35
				Br.2	-	11	15	18	22	26	30	34	37	41
10	$\frac{3}{8}$	0,617	A_s	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85	
			b_w	Br.1	-	11	14	17	20	24	27	30	34	37
				Br.2	-	11	15	19	23	27	31	35	39	43
12,5	$\frac{1}{2}$	0,963	A_s	1,23	2,45	3,68	4,91	6,14	7,36	8,59	9,82	11,04	12,27	
			b_w	Br.1	-	11	15	18	22	25	29	32	36	39
				Br.2	-	12	16	20	25	29	33	37	42	46
16	$\frac{5}{8}$	1,578	A_s	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11	
			b_w	Br.1	-	12	16	20	23	27	31	35	39	43
				Br.2	-	12	17	22	26	31	35	40	45	49
20	$\frac{3}{4}$	2,466	A_s	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42	
			b_w	Br.1	-	13	17	21	25	30	34	38	43	47
				Br.2	-	13	18	23	28	33	38	43	48	53
22	$\frac{7}{8}$	2,984	A_s	3,80	7,60	11,40	15,21	19,01	22,81	26,61	30,41	34,21	38,01	
			b_w	Br.1	-	13	17	22	26	31	35	40	44	49
				Br.2	-	14	19	24	29	34	40	45	50	55
25	1	3,853	A_s	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09	
			b_w	Br.1	-	14	19	24	29	34	39	44	49	54
				Br.2	-	14	20	25	31	36	42	47	53	58
32	$1\frac{1}{4}$	6,313	A_s	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42	
			b_w	Br.1	-	16	22	29	35	41	48	54	61	67
				Br.2	-	16	22	29	35	41	48	54	61	67
40	$1\frac{1}{2}$	9,865	A_s	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,5	113,1	125,7	
			b_w	Br.1	-	18	26	34	42	50	58	66	74	82
				Br.2	-	18	26	34	42	50	58	66	74	82

Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.

De acordo com a NBR 7480:1996; b_w conforme item 18.3.2.2 da NBR 6118:2003.



Br.1 = Brita 1 ($\phi_{\max} = 19$ mm) Br.2 = Brita 2 ($\phi_{\max} = 25$ mm)

Valores adotados: $\phi_t = 6,3$ mm e $c = 2,5$ cm.

Para $c = 3,0$ (3,5) cm, somar 1 (2) cm aos valores de b_w .

$e_h : 2$ cm; $\phi_l : 1,2\phi_{\max}$; $e_v : 2$ cm; $\phi_v : 0,5\phi_{\max}$ (maiores valores)

ANEXO E – FIGURA TABELAS Kx

Tabela 2.5a									
FLECHAS EM LAJES COM CARGA UNIFORME – VALORES DE α									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo de Laje								
	1	2A	2B	3	4A	4B	5A	5B	6
1,00	4,76	3,26	3,26	2,46	2,25	2,25	1,84	1,84	1,49
1,05	5,26	3,68	3,48	2,72	2,60	2,35	2,08	1,96	1,63
1,10	5,74	4,11	3,70	2,96	2,97	2,45	2,31	2,08	1,77
1,15	6,20	4,55	3,89	3,18	3,35	2,53	2,54	2,18	1,90
1,20	6,64	5,00	4,09	3,40	3,74	2,61	2,77	2,28	2,02
1,25	7,08	5,44	4,26	3,61	4,14	2,68	3,00	2,37	2,14
1,30	7,49	5,88	4,43	3,80	4,56	2,74	3,22	2,46	2,24
1,35	7,90	6,32	4,58	3,99	5,01	2,77	3,42	2,53	2,34
1,40	8,29	6,74	4,73	4,15	5,41	2,80	3,62	2,61	2,41
1,45	8,67	7,15	4,87	4,31	5,83	2,85	3,80	2,67	2,49
1,50	9,03	7,55	5,01	4,46	6,25	2,89	3,98	2,73	2,56
1,55	9,39	7,95	5,09	4,61	6,66	2,91	4,14	2,78	2,62
1,60	9,71	8,32	5,18	4,73	7,06	2,92	4,30	2,82	2,68
1,65	10,04	8,68	5,22	4,86	7,46	2,92	4,45	2,83	2,73
1,70	10,34	9,03	5,26	4,97	7,84	2,93	4,59	2,84	2,77
1,75	10,62	9,36	5,36	5,06	8,21	2,93	4,71	2,86	2,81
1,80	10,91	9,69	5,46	5,16	8,58	2,94	4,84	2,88	2,85
1,85	11,16	10,00	5,53	5,25	8,93	2,94	4,96	2,90	2,88
1,90	11,41	10,29	5,60	5,33	9,25	2,95	5,07	2,92	2,90
1,95	11,65	10,58	5,68	5,41	9,58	2,95	5,17	2,94	2,93
2,00	11,89	10,87	5,76	5,49	9,90	2,96	5,28	2,96	2,96
∞	15,63	15,63	6,50	6,50	15,63	3,13	6,50	3,13	3,13

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$$a_i = \frac{\alpha}{100} \cdot \frac{b}{12} \cdot \frac{p \ell_x^4}{E I_c}$$

b = largura da seção ℓ_x = menor vão E_c = módulo de elasticidade p = carga uniforme
 ℓ_y = maior vão I = momento de inércia

