

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**LUCAS DO CARMO GODOY
RODRIGO BORGES DE SOUZA**

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE MACIÇA E LAJE NERVURADA

**CARATINGA
2018**

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**LUCAS DO CARMO GODOY
RODRIGO BORGES DE SOUZA**

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE MACIÇA E LAJE NERVURADA

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil das Faculdades DOCTUM de
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.**

Área de concentração: Estrutural

**Orientador: Professor MscSanderson
Dutra Rocha Gouvêa**

**Caratinga
2018**

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE LAJE MACIÇA E LAJE NERVURADA, elaborado pelo(s) aluno(s) LUCAS DO CARMO GODOY e RODRIGO BORGES DE SOUZA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 07/12/2018


SANDERSON DUTRA ROCHA CORRÊA
Prof. Orientador


SÉRGIO ALVES DOS REIS
Prof. Avaliador 1


JOSÉ SALVADOR ALVES
Prof. Examinador 2

AGRADECIMENTO

Primeiro gostaria de agradecer a Deus, que tem me conduzido até aqui, ao meu Orientador Eng^o Civil Sanderson Dutra Rocha Gouvêa, gostaria de agradecer aos ensinamentos que me foi transmitido.

Um agradecimento final a minha família, principalmente a minha mãe Neuza, na qual foi a minha maior fonte inspiração e apoio desde o dia em que nasci e também ao meu colega de graduação e de estágio, Rodrigo Borges, onde começamos no curso de Engenharia Civil, juntos e desde então, um ajudando ao outro em meio a tantas dificuldades estamos na etapa final do curso.

Quero dividir a minha conquista de mais essa etapa da minha vida com todos que fazem parte de minha história, dizer um muito obrigado.

(Lucas do Carmo Godoy)

AGRADECIMENTO

Agradeço minha família e amigos por todo carinho e força que me deram durante todo curso. Sou grato, especialmente, aos meus pais, Geraldo Borges e Zelia Diniz Condé, que tanto me incentivou e lutou pela minha educação.

Agradeço a todos os professores, especialmente ao orientador Sanderson Dutra Rocha Gouvêa. Obrigado, por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de fazer.

Agradeço ao meu amigo Lucas Godoy, onde construímos uma grande amizade e parceria através do curso. A jornada parecia não ter fim, os desafios foram grandes, mas sobrava vontade de vencer, não foi fácil. Hoje posso olhar para trás e constatar minha evolução ao longo dos anos e brindar o início de um longo caminho de realizações que ainda está por vir. Minha sensação que fica é de apenas um degrau da vida alcançado, com a certeza de que a vida apenas começou.

Quero dedicar esta vitória a todas pessoas que contribuíram direto e indiretamente para esta conquista, obrigado.

(Rodrigo Borges de Souza)

EPÍGRAFE

“Apesar dos nossos defeitos, precisamos enxergar que somos pérolas únicas no teatro da vida e entender que não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas. O que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles”.

Augusto Cury

RESUMO

Cada vez mais é exigido uma capacidade técnica dos engenheiros no que tange os projetos estruturais, tanto em função da evolução arquitetônica quanto pela necessidade de aliar economia à eficiência dos projetos. Por exemplo, para as opções a serem adotadas para resolver o pavimento de um edifício torna válido um estudo prévio sobre a solução com maiores pontos positivos em relação ao consumo e custos de materiais, assim como o prazo para a execução ou a mão de obra disponível. Sendo assim estabeleceu-se neste trabalho uma comparação entre as lajes maciças e nervuradas, de diferentes vãos, buscando apontar as principais vantagens e desvantagens de cada solução estrutural abordada, aliada ao consumo de aço, concreto e forma. Tomando como referência a ABNT NBR 6118:2014, com seus apontamentos e orientações, dimensionou-se tipos diferentes de vãos para as lajes maciças e nervuradas, criando relações entre as dimensões das mesmas e o consumo de material. Utilizando-se do software de cálculo e análise estrutural AltoQi Eberick, determinou-se os cálculos para as condições de cada estrutura. Assim, obteve-se o consumo de aço, concreto e formas para as lajes de 4,00m x 4,00m, 6,00m x 6,00m, 8,00m x 8,00m e 10,00m x 10,00m. De posse desses resultados, foram feitas as devidas análises comparativas entre as lajes maciças e nervuradas, destacando que as lajes nervuradas apresentam, em geral, um menor consumo de materiais para vãos maiores. Mas as lajes maciças, por serem as mais utilizadas e de rápida execução, pode tornar-se favorável a execução dessa para pequenos vãos.

Palavras-chave: Lajes maciças. Lajes nervuradas. Consumo de materiais.

ABSTRACT

Increasingly, a technical capacity of engineers is required for structural projects, both in terms of architectural evolution and the need to combine economy with project efficiency. For example, for the options to be adopted to solve the floor of a building makes valid a previous study on the solution with the most positive points in relation to the consumption and costs of materials, as well as the term for the execution or available labor . Thus, a comparison was made between the massive and ribbed slabs of different spans, aiming to point out the main advantages and disadvantages of each structural solution, combined with the consumption of steel and concrete. Taking as reference ABNT NBR 6118: 2014, with its notes and orientations, different types of spans for the massive and ribbed slabs were dimensioned, creating relationships between the dimensions of the slabs and the consumption of material. Using the AltoQiEberick calculation and structural analysis software, the calculations for the conditions of each structure were determined. Thus, steel and concrete consumption was obtained for slabs of 4.00m x 4.00, 6.00m x 6.00m, 8.00m x 8.00 and 10.00m x 10.00m. With these results, comparative analyzes were carried out between the massive and ribbed slabs, noting that the ribbed slabs generally have a lower material consumption for larger spans. But the massive slabs, being the most used and fastest execution, can be favorable to the execution of this for small spans.

Key words: Solid slabs. Ribbed slabs. Consumptionofmaterials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento das lajes	20
Figura 2 - Laje nervurada com nervura aparente	23
Figura 3 - Laje nervurada com superfície plana utilizando material inerte.....	23
Figura 4 – Vão efetivo	33
Figura 5 - Peso próprio para 1m ²	33
Figura 6 - Desenho em corte laje nervurada	38
Figura 7 - Catálo de Formas RO 800	39
Figura 8 - Características das lajes nervuradas moldadas a partir da fôrma RO 800	39
Figura 9 - Características das lajes nervuradas moldadas a partir da fôrma RO 800 - Continuação	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados da Laje Maciça 4,00m x 4,00m	41
Tabela 2 – Resultados da Laje Maciça 4,00m x 4,00m	42
Tabela 3 - Cálculo da Laje Maciça 4,00m x 4,00m.....	42
Tabela 4 – Resumo do Material da Laje Maciça 4,00m x 4,00m	43
Tabela 5 - Dados da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m	43
Tabela 6 - Resultados da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m.....	44
Tabela 7 - Cálculo da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m.....	44
Tabela 8 - Resumo de materiais da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m	45
Tabela 9 - Dados da Laje Maciça 6,00m x 6,00m	45
Tabela 10 - Resultados da Laje Maciça 6,00m x 6,00m.....	46
Tabela 11 - Cálculo da Laje Maciça 6,00m x 6,00m	46
Tabela 12 - Resumo de materiais da Laje Maciça 6,00m x 6,00m.....	47
Tabela 13 - Dados da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m	47
Tabela 14 - Resultados da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m.....	48
Tabela 15 - Cálculo da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m	48
Tabela 16 - Resumo de materiais da laje Nervurada 6,00m x 6,00m	49
Tabela 17 - Dados da laje maciça 8,00m x 8,00m.....	50
Tabela 18 - Dados da laje maciça 8,00m x 8,00m.....	50
Tabela 19 - Cálculo da laje maciça 8,00m x 8,00m.....	50
Tabela 20 - Resumo da laje maciça 8,00m x 8,00m	51
Tabela 21 - Resumo da laje nervurada 8,00m x 8,00m.....	51
Tabela 22 - Resultado da laje nervurada 8,00m x 8,00m.....	52
Tabela 23 - Cálculo da laje nervurada 8,00m x 8,00m	52
Tabela 24 - Resumo de materiais da laje nervurada 8,00m x 8,00m	53
Tabela 25 - Dados da laje maciça 10,00m x 10,00m	54
Tabela 26 - Resultado da laje maciça 10,00m x 10,00m.....	54
Tabela 27 - Cálculo da laje maciça 10,00m x 10,00m	55
Tabela 28 - Resumo de materiais da laje maciça 10,00m x 10,00m	55
Tabela 29 - Dados da laje nervurada 10,00m x 10,00m.....	56
Tabela 35 - Resultado da laje nervurada 10,00m x 10,00m	56
Tabela 31 - Cálculo da laje nervurada 10,00m x 10,00m.....	57
Tabela 32 - Resumo de materiais da laje nervurada 10,00m x 10,00m.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental	26
Quadro 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	27
Quadro 3 - Limites para deslocamento.....	29
Quadro 4 - Limites para deslocamento – continuação	30
Quadro 5 - Valores mínimos de cargas verticais	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnica
CP	– Concreto Protendido
ELU	– Estado Limite Último
ELS	– Estados Limite de Serviço
ELS – DEF	– Estado Limite de Serviço Deformações Excessivas
ELS – F	– Estado Limite de Serviço Formação de Fissuras
ELS – W	– Estado Limite de Serviço de Abertura de Fissuras
EPS	– Poliestireno Expandido
IBTS	– Instituto Brasileiro de Telas Soldadas
NBR	– Norma Brasileira
PP	– Peso Próprio
RV	– Revestimento
SC	– Sobrecarga

LISTA DE SÍMBOLOS

A_c	Área total de concreto da seção transversal bruta do concreto
$A_{s,ccp}$	Somatório de todas as áreas das barras inferiores que cruzam cada uma das faces do pilar
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_{ptk}	Resistência característica à tração
f_{pyk}	Resistência característica convencional ao escoamento
F_{Sd}	Reação de cálculo de punção no pilar
f_{yk}	Resistência característica ao escoamento do aço
$f_{ctk,inf}$	Resistência característica do concreto à tração direta
N_{Sd}	Força longitudinal na seção/Força Normal solicitante de Cálculo
R_{cc}	Força resultante de compressão no concreto
R_{st}	Força resultante de tração na armadura
u	Perímetro do contorno de C
u'	Perímetro do contorno de C'
V_{Sd}	Força cortante solicitante de cálculo
V_{Rd1}	Força cortante resistente de cálculo
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	Coefficientes de ponderação da resistência do concreto
γ_s	Coefficientes 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
ρ_p	Taxa geométrica de armadura de protensão
σ_{cp}	Tensão normal no concreto devido à protensão
σ_{si}	Tensão de tração no centro de gravidade da armadura no estágio II
T_{Rd}	Tensão de cisalhamento resistente de cálculo
T_{Sd}	Tensão de cisalhamento de cálculo
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	16
1.1	Contextualização	16
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivo Específico	17
1.3	Estrutura do Trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	Estruturas em concreto	19
2.2	Lajes	19
2.2.1	Lajes Maciças	21
2.2.1.1	Dimensionamento	21
2.2.1.1.1	Limites Mínimos	22
2.2.2	Lajes Nervuradas	22
2.2.2.1	Dimensionamento	24
2.2.2.1.1	Limites Mínimos	24
2.2.3	Critérios de Formatação dos Cálculos	25
2.2.3.1	Classe de agressividade ambiental	25
2.2.3.2	Cobrimento nominal	26
2.2.3.3	Estados Limites	27
2.2.3.4	Deslocamentos Limites	28
2.2.3.5	Cargas verticais mínimas	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	Dimensionamento da Laje Maciça	32
3.2	Dimensionamento da Laje Nervurada	37
3.3	Dimensionamento com uso de <i>Software</i>	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
4.1	Dimensionamento	41
4.1.1	Laje 4,00 x 4,00	41
4.1.1.1	<i>Laje Maciça</i>	41
4.1.1.2	<i>Laje Nervurada</i>	43
4.1.1.3	<i>Análise comparativa</i>	45
4.1.2	Laje 6,00 x 6,00	45
4.1.2.1	<i>Laje maciça</i>	45

4.1.2.2	<i>Laje Nervurada</i>	47
4.1.2.3	<i>Análise comparativa</i>	49
4.1.3	Laje 8,00 x 8,00	49
4.1.3.1	<i>Laje maciça</i>	49
4.1.3.2	<i>Laje Nervurada</i>	51
4.1.3.3	<i>Análise comparativa</i>	53
4.1.4	Laje 10,00 x 10,00	53
4.1.4.1	<i>Laje maciça</i>	53
4.1.4.2	<i>Laje Nervurada</i>	56
4.1.4.3	<i>Análise comparativa</i>	58
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	63
	ANEXOS	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O processo de construção civil passa por avanços tecnológicos, em especial os sistemas construtivos das estruturas de concreto armado, com o conseqüente resultado de estruturas cada vez mais viáveis em termos técnicos e econômicos. A exemplo cita-se ao concreto protendido. Dessa forma os novos sistemas estruturais contribuem efetivamente para a evolução da construção civil.

Dentro dessa busca por novas tecnologias encontra-se o objetivo de redução do peso próprio das estruturas, gerando, dessa forma, alívio no carregamento permanente.

Quando se observa a evolução das formas arquitetônicas, percebe-se que eles tendem a forçar um aumento no vão e conseqüentemente, um aumento no custo da execução desses projetos, o que acabam tornando-os inviáveis economicamente. O aumento desse vão também acarreta no aumento da espessura das lajes, que tem como conseqüência um aumento do peso próprio da estrutura, tornando esse a maior parte do carregamento.

Nesse ponto, em que o vão a ser vencido é muito grande, encontra-se a solução nas lajes nervuradas, uma vez que eles propiciam uma diminuição no peso próprio da estrutura, com um melhor aproveitamento do aço e do concreto. As lajes nervuradas permitem vencer um espaçamento maior entre os pilares quando se comparada às lajes maciças. A conseqüência da possibilidade de aumento entre vãos é a versatilidade do uso desses espaços que podem ser edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares ou estacionamentos.

Mas há que se destacar que podem ser encontradas também algumas desvantagens, pois na laje nervurada existe uma maior dificuldade para a passagem de tubulações e a necessidade de alturas maiores.

Assim, apresenta-se nesse trabalho, uma análise comparativa entre os sistemas construtivos da laje maciça e nervurada e o consumo de aço e concreto para diferentes vãos, a fim de analisar uma melhor tomada de decisão quanto ao uso de cada uma dessas lajes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa entre as lajes maciça e nervurada, analisar as propriedades de maior influência de cada laje, apresentando as características, as vantagens e desvantagens da utilização e aplicação de ambas, para diferentes vãos.

1.2.2 Objetivo Específico

- Dimensionar e detalhar diferentes tipos de vãos com laje maciça;
- Dimensionar e detalhar diferentes tipos de vãos com laje nervurada;
- Comparar o dimensionamento de ambas as lajes no tange o consumo de aço, concreto e forma.

1.3 Estrutura do Trabalho

Para melhor compreensão desse trabalho, optou-se por dividi-lo em 6 capítulos, como segue: Capítulo 1 – introdução; Capítulo 2 - fundamentação teórica; Capítulo 3 – metodologia; Capítulo 4 - resultados e discussões; Capítulo 5 - conclusão e Capítulo 6 - referências bibliográficas.

O Capítulo 1 – Introdução, busca a contextualização do problema a ser estudado apresentando também os objetivos a serem alcançados.

O Capítulo 2 – Fundamentação Teórica apresenta os aspectos de maior importância no que tange o tema concreto armado, lajes maciças e laje nervuradas, além dos pontos de grande relevância da ABNT NBR 6118:2014. Nesse capítulo também é mostrado o dimensionamento e a formatação do projeto estrutural.

O Capítulo 3 – Metodologia descrever o processo utilizado para dimensionamento da estrutura estudada.

O Capítulo 4 – Resultados e Discussões, mostra os resultados alcançados depois de todos os cálculos e coletas de dados, mostrando a relação entre a laje maciça e a laje nervurada.

O capítulo 5 – Conclusão descreve as considerações finais, apresentando a culminância do trabalho. Por fim, o capítulo 6 - Referências, apresenta as fontes e autores utilizados como norteadores para o desenvolvimento do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estruturas em concreto

Em tempos antigos fazia-se a utilização dos materiais na forma como eram encontrados na natureza, tendo seu aperfeiçoamento conforme a necessidade. A técnica de construção, até a época dos grandes descobrimentos, consistia-se em modelar os materiais encontrados de forma bruta na natureza, como a pedra, a madeira e o barro e, em menor escala, metais e fibras vegetais (VERSOÇA,2000).

Como o decorrer dos tempos, houve a necessidade de se utilizar materiais de maior resistência e com melhores aparências. Sendo assim surgiu o concreto inicialmente como uma mistura de barro e cal, a partir da necessidade de obter estruturas capazes de vencer grandes vãos, desenvolve-se o concreto-ferro ou concreto armado, como é conhecido nos dias de hoje (BARROS, 1996).

Essa associação ferro e pedra teve sua aplicação pela primeira vez na construção da estrutura da Igreja de Santa Genoveva, conhecido hoje como Pantheon, em Paris no ano de 1770. Como existiam poucos pilares na fachada, fazia-se necessário a execução de grandes vigas e que essas fossem capazes de transferir as grandes cargas dessa estrutura para as fundações (KAEFER, 1998).

2.2 Lajes

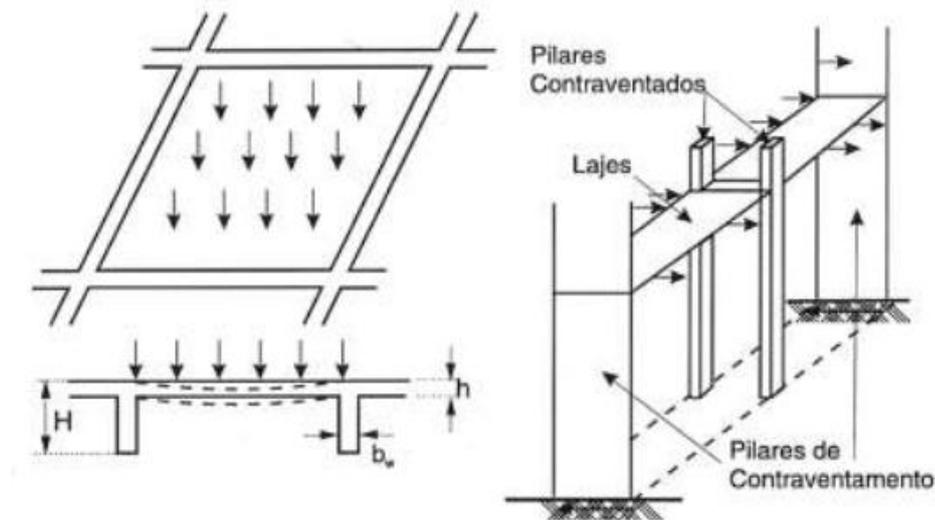
Trata-se de elementos de superfícies planas, descritas como placas pela ABNT NBR 6118:2014, e que estão sujeitas principalmente pelas ações de forças normais à sua superfície (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

As lajes constituem os pisos dos edifícios correntes de concreto armado. Nas estruturas laminares planas, predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira que é a espessura. As lajes são diferenciadas pela sua forma, vinculação e relação entre os lados. Geralmente, nas estruturas correntes, as lajes são retangulares, mas podem ter forma trapezoidal ou em L.

As lajes de concreto têm comportamento de quando estão sob a ação de cargas que agem de forma perpendicular ao seu plano médio (Fusco, 1995).

Assim, de maneira geral, pode-se dizer que o comportamento das placas está associado à flexão local devida ao carregamento diretamente aplicado às lajes, e o comportamento da chapa está associado ao contraventamento da estrutura global tridimensional e à transmissão das cargas horizontais do vento aos elementos a elas resistentes. O comportamento das lajes pode ser ilustrado conforme a figura 1.

Figura 1 - Comportamento das lajes



Fonte: FUSCO (1995, p. 251)

É importante destacar que as lajes podem ser de vários tipos, sendo diferenciadas pelo tamanho dos vãos, cargas aplicadas ou pelo método construtivo. Assim as lajes podem ser maciças, nervuradas, lisas, protendidas e pré-moldadas, sendo sua adequação estrutural sempre em concordância com o projeto arquitetônico.

Outro elemento importante para estudo das lajes encontra-se nas bordas, que podem ser apoiadas, livres ou engastadas. As lajes são consideradas apoiadas quando são suportadas, de forma contínua, por vigas ou paredes portantes. Ela é caracterizada como livre ou em balanço quando a borda da laje não possui nenhuma vinculação ao longo daquele lado. Quando a borda da laje tem continuidade além do apoio, ela é considerada engastada. Também é importante destacar que o engastamento ocorre entre as lajes adjacentes, e não entre laje e viga.

2.2.1 Lajes Maciças

As lajes maciças são as mais utilizadas com sua forma simples. As lajes maciças são placas planas de concreto armado que possuem espessura determinada pra cada projeto. Uma definição encontra-se nas palavras de Araújo (2003, p 2)

“As lajes convencionais são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.” (ARAÚJO, 2003a, p. 2).

Para Carvalho e Pinheiro (2009, p. 28) uma das grandes vantagens das lajes maciças encontra-se na sua execução simples e rápida. Outro ponto positivo é o fato de apresentar pouca deformação e esforços relativamente pequenos. Os autores ainda acrescentam que

“[...] para pequenos vãos, pelo menos no estado limite último, boa parte do concreto da laje maciça pouco contribui na resistência à flexão, pois geralmente a linha neutra tem pequena profundidade, resultando em uma grande quantidade de concreto tracionado.”(CARVALHO; PINHEIRO, 2009, p.28)

2.2.1.1 Dimensionamento

Para o dimensionamento das lajes, a ABNT NBR 6118:2014 elenca uma série de critérios necessários para a formatação do cálculo estrutural desse elemento, que serão analisados atentamente a seguir. Esses critérios visam garantir a segurança da estrutura contra o colapso ou qualquer outra forma de ruína estrutural que impossibilite o uso da estrutura.

Assim, serão analisados os seguintes critérios: I) classe de agressividade ambiental; II) cobrimento nominal; III) estados limites; IV) os deslocamentos limites; V) cargas verticais mínimas e VI) taxa de armadura.

2.2.1.1.1 Limites Mínimos

Nesse tópico é apresentado os limites mínimos estabelecidos pela NBR 6118:2014 da ABNT para as espessuras das lajes maciças.

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $l/42$, para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

2.2.2 Lajes Nervuradas

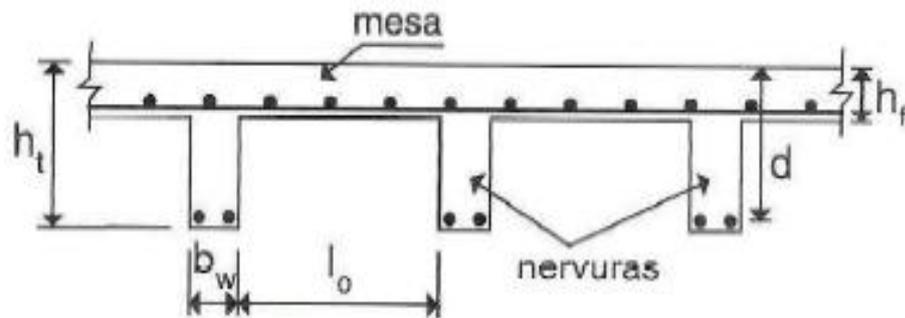
As classificações das lajes podem acontecer segundo alguns critérios. Segundo CUNHA (1998) essa classificação pode acontecer em função de sua seção transversal (maciça ou nervurada); em função da execução (moldada *in loco* ou pré-moldada); em função dos apoios (alvenaria estrutural ou pilares) e em função da armação (em uma direção ou duas direções)

As Lajes nervuradas tratam-se das 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 (ABNT NBR 6118:2018).

Nas lajes nervuradas, procura-se afastar o concreto da seção transversal da linha neutra, aumentando a altura da laje, o que proporciona um maior braço de alavanca e com a formação de um conjunto de nervuras, em uma ou em duas direções, com espaçamentos uniformes entre si (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

A figura 2 mostra um esquema de laje nervurada em que as nervuras estão aparentes. Na região da laje o concreto maciço foi substituído por nervuras intercaladas por espaços vazios.

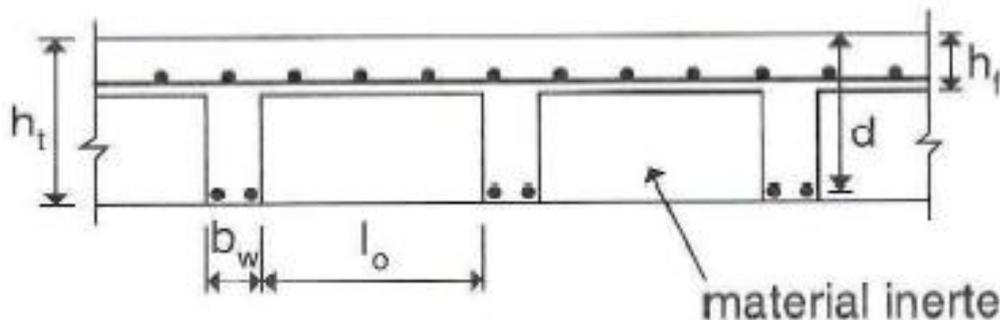
Figura 2 - Laje nervurada com nervura aparente



Fonte: (ARAÚJO 2003b, p.144)

Quando se faz uso de algum material inerte para o preenchimento da laje nervurada a execução da laje acaba sendo facilitada. A figura 3 apresenta um esquema da nervurada com os espaços vazios preenchidos por um material inerte.

Figura 3-Laje nervurada com superfície plana utilizando material inerte



Fonte: (ARAÚJO 2003b, p.143)

As lajes nervuradas, apesar de terem uma altura cerca de 50% a mais que as lajes maciças, conseguem atingir um peso e um consumo de concreto menor em comparação com as lajes maciças (ARAÚJO, 2003).

Ainda comparando as lajes maciças e nervuradas, para uma mesma altura, as lajes nervuradas apresentam uma flecha maior, sendo necessária uma altura maior para esse tipo de laje. Ainda com as afirmações dos autores, existe a necessidade do atendimento às condições previstas em norma para os estados limites, sendo necessária a verificação em relação aos estados limites últimos para o

cálculo da armadura longitudinal e de cisalhamento, enquanto que a deformação excessiva e as aberturas de fissuras devem ser verificadas em relação aos estados limites de serviço (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Outro destaque se dá ao dimensionamento da laje nervurada de forma a evitar o uso de estribos ou de outro tipo de armadura transversal para resistir ao cisalhamento. Assim a verificação tem que ser feita analisando se a espessura da nervura e a distância entre elas permitem que não seja utilizada a armadura transversal (CARVALHO; PINHEIRO, 2009)

2.2.2.1 Dimensionamento

A ABNT NBR 6118:2014, elenca uma série de critérios que devem ser rigidamente seguidos para o dimensionamento da laje nervurada, conforme destacado a seguir.

2.2.2.1.1 Limites Mínimos

Nesse tópico são apresentados os limites mínimos estabelecidos pela NBR 6118: 2014 da ABNT para as espessuras das lajes nervuradas.

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 (l_0) 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 F maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4 \text{ cm} + F$, ou $4 \text{ cm} + 2F$ 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.

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições:

a) 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;

b) 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;

c) 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.

2.2.3 Critérios de Formatação dos Cálculos

2.2.3.1 Classe de agressividade ambiental

Os itens 6.4.1 e 6.4.2 da ABNT NBR 6118:2014 aponta que a agressividade do meio ambiente tem relação com as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, não tendo dependência das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 6.1 dessa mesma NBR, replicada no quadro 1 desse trabalho.

Quadro 1 - Classe de agressividade ambiental

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para o efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito Forte	Industrial ^{a, c} Respingo de Maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

2.2.3.2 Cobrimento nominal

Conforme orienta a NBR 6118:2014, para garantir o cobrimento mínimo (c_{\min}), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}). O cobrimento nominal trata-se do cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc). As dimensões das armaduras e os espaçadores devem respeitar os cobrimentos nominais, estabelecidos na Tabela 7.2 da NBR 6118 e transcrita no quadro 2.

Quadro 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

2.2.3.3 Estados Limites

Os Estados Limites Últimos (ELU) e de Serviço (ELS), são fatores de grande relevância para a formatação do cálculo estrutural. O ELU está relacionado a ruína estrutural, quando há a necessidade de paralisação da obra (ABNT NBR 6118:2014).

Conforme aponta a (ABNT NBR 6118:2014) no item 10.3, a segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada em relação aos seguintes estados limites últimos:

a) estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;

b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos [...];

c) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;

d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas [...];

e) estado limite último de colapso progressivo;

f) outros estados limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

Nos Estados limites de serviço (ELS) encontram-se os fatores “relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas”. (ABNT NBR 6118:2014, p. 55).

2.2.3.4 Deslocamentos Limites

Deslocamentos-limites, “são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura” (ABNT NBR 6118:2014, p.76).

Os deslocamentos limites estão agrupados em quatro grupos básicos relacionados a seguir:

a) aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. A limitação da flecha para prevenir essas vibrações, em situações especiais de utilização, deve ser realizada como estabelecido na Seção 23 da ABNT NBR 6118:2014;

b) efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;

c) efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;

d) efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o

elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.

Na Tabela 13.3 da ABNT NBR 6118:2014, reproduzida abaixo no quadro 3 e 4, são mostrados os valores-limites de deslocamentos que visam proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço.

Quadro 3 - Limites para deslocamento

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	/250
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	/250 a
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	/350+ contraflecha b
			Ocorrido após a construção do piso	/600
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	c /500 e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}$ d
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	c /250 e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	H/1 700 e e Hi/850 entre pavimentos f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	g /400 e 15 mm

Quadro 4 - Limites para deslocamento – continuação

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		
<p>a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por c flechas, de modo a não se ter acúmulo de água.</p> <p>b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entr a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $/350$.</p> <p>c O vão deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.</p> <p>d Rotação nos elementos que suportam paredes.</p> <p>e H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.</p> <p>f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais no pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis con a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.</p> <p>g O valor refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.</p> <p>NOTAS</p> <p>1 Todos os valores- midades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser conside deve ser o dobro do comprimento do balanço.</p> <p>2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a pared ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.</p> <p>3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas coeficientes definidos na Seção 11.</p> <p>4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.</p>				

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

2.2.3.5 Cargas verticais mínimas

O uso a qual se destina a construção também é fator relevante no dimensionamento estrutural. A NBR 6120: 1980 da ABNT orienta quanto as cargas verticais mínimas a serem consideradas durante a fase de projeção estrutural da edificação. Esta Norma fixa as condições exigíveis para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos sem normas especiais. Acrescenta-se ainda que as cargas são classificadas em a) carga permanente (g) e b) carga acidental (q) (ABNT NBR 6120:1980)

A carga permanente é constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes enquanto a carga acidental é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.) (ABNT NBR 6120:1980).

A tabela 2 da ABNT NBR 6120:1980 apresenta os valores mínimos das cargas verticais a serem consideradas no dimensionamento. A tabela 5 apresenta parte dessa tabela adaptada.

Quadro 5 - Valores mínimos de cargas verticais

Local		Carga (KN/m ²)
Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2,0
Ginásio de Esportes	-	5,0
Lojas	-	4,0
Restaurantes	-	3,0

Fonte: ABNT NBR 6120:1980 - Adaptado

3 METODOLOGIA

A partir das informações alcançadas e descritas no capítulo de Revisão Bibliográfica passa-se aos processos necessários para atender aos objetivos da pesquisa, delimitando o objeto de estudo a serem comparados.

Para efeito de dimensionamento foi considerado que as lajes serão apoiadas nos quatro bordos, onde tem-se momentos fletores positivos no centro da laje. Para os tipos de laje maciça e nervurada, foram consideradas as dimensões de 4,00m x 4,00m, 6,00m x 6,00m, 8,00m x 8,00m e 10,00m x 10,00m.

O processo de cálculo das lajes maciças tem o aval da NBR6118:2014 e aplicação segura, demonstrada por centenas de construções já executadas. Neste processo as lajes têm os esforços de flexão e as flechas determinadas segundo a Teoria das Placas, com base na teoria matemática da elasticidade.

3.1 Dimensionamento da Laje Maciça

Uma classificação muito importante das lajes maciças é aquela referente à direção ou direções da armadura principal. Existem dois casos: laje armada em uma direção ou laje armada em duas direções. A equação 1, demonstra essa relação.

$$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde;

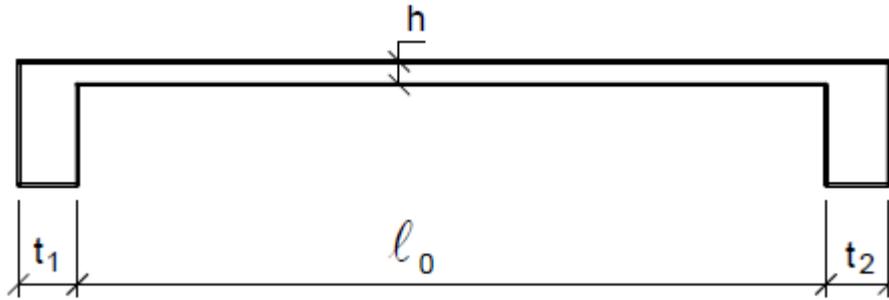
ℓ_y = lado menor;
 ℓ_x = lado maior.

Quando $\lambda > 2$, diz-se que a laje é armada em uma direção e quando $\lambda \leq 2$ temos uma laje armada em duas direções.

O vão efetivo pode ser calculado por:

$$\ell_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (\text{Eq.2})$$

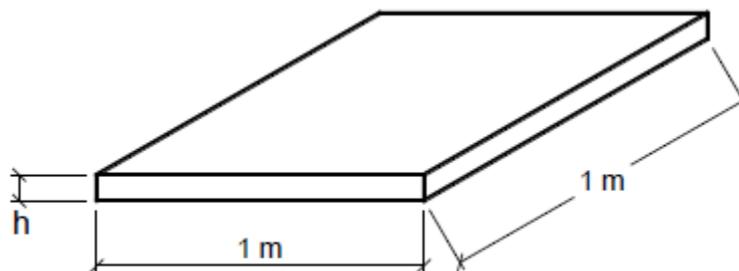
Com a_1 igual ao menor valor entre ($t_1/2$ e $0,3h$) e a_2 igual ao menor valor entre ($t_2/2$ e $0,3h$), conforme figura 4.

Figura 4 – Vão efetivo

Fonte: ABNT NBR 6118:2014 - Adaptado

O peso próprio da laje é o peso do concreto armado que forma a laje maciça. Para o peso específico do concreto armado (γ_{conc}) a NBR 6118 indica o valor de 25 kN/m³. O peso próprio para lajes com espessura constante é uniformemente distribuído na área da laje, e para um metro quadrado de laje (Figura 5) pode ser calculado como:

$$g_{\text{pp}} = \gamma_{\text{conc}} \cdot h = 25 \cdot h \text{ (Eq.3)}$$

Figura 5- Peso próprio para 1m²

Fonte: autor

Para a espessura do contrapiso recomenda-se adotar espessura não inferior a 3 cm, sendo considerado o peso específico (γ_{contr}) de 21 kN/m³, conforme a ABNT NBR 6120. A ação permanente do contrapiso é função da espessura (e) do contrapiso:

$$g_{\text{contr}} = \gamma_{\text{contr}} \cdot e \text{ (Eq. 4)}$$

Onde:

g_{contr} = carga permanente do contrapiso (kN/m²);
 e = espessura do contrapiso (m).

Cálculo Carga P em Estado Limite Último

$$P_{\text{ELU}} = 1,4 (g+q)$$

Onde

P_{ELU} = Carga em estado limite último

g = Carga permanente

q = Carga acidental (ou sobre carga)

Para o dimensionamento das lajes é necessário estimar inicialmente a sua altura, sendo um deles dado pela equação seguinte:

$$d \cong (2,5 - 0,1 n) \lambda^* \text{ (Eq.5)}$$

onde: d = altura útil da laje (cm);

n = número de bordas engastadas da laje;

λ^* = dimensão da laje assumida da seguinte forma:

$$\lambda^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7l_y \end{cases}$$

A Teoria das Placas, desenvolvida com base na teoria matemática da elasticidade, onde o material é elástico linear, homogêneo e isótropo, proporciona a equação geral das placas, que relaciona a deformada elástica da placa com a carga p unitária, uniformemente distribuída na área da placa. A equação tem a forma:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p}{D}$$

(Eq.6)

Onde,

w = deslocamento vertical da placa;

p = carregamento na placa;

D = rigidez da placa à flexão, dada por:

$$D = \frac{E h^3}{12 (1 - \nu^2)} \quad (\text{Eq.7})$$

Em função da complexidade da equação geral das placas surgiram diversas tabelas, de diferentes origens e autores, com coeficientes que proporcionam o cálculo dos momentos fletores e das flechas para casos específicos de apoios e carregamentos.

Conforme as tabelas de Barés, os momentos fletores, negativos ou positivos, são calculados pela expressão:

$$M = \mu \frac{P \ell_x^2}{100} \quad (\text{Eq.8})$$

Onde:

M = momento fletor (kN.m/m);

μ = coeficiente tabelado, de acordo com cada tipo de laje e em função de $\lambda = \lambda_y / \lambda_x$, sendo:

μ_x e μ_y = coeficientes para cálculo dos momentos fletores positivos atuantes nas direções paralelas a λ_x e λ_y , respectivamente.

As reações são calculadas pela equação:

$$V = v \frac{P \ell_x}{10}$$

(Eq.9)

Onde:

V = reação de apoio (kN/m);

v = coeficiente tabelado em função de $\lambda = \lambda_y / \lambda_x$, onde:

v_x = reação nos apoios simples perpendiculares à direção de λ_x ;
 v_y = reação nos apoios simples perpendiculares à direção de λ_y ;
 v'_x = reação nos apoios engastados perpendiculares à direção de λ_x ;
 v'_y = reação nos apoios engastados perpendiculares à direção de λ_y ;
 p = valor da carga uniforme atuante na laje (kN/m²);
 λ_x = menor vão da laje (m).

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014, para uma avaliação aproximada da flecha imediata em vigas, pode-se utilizar a expressão de rigidez equivalente dada a seguir:

$$(EI)_{eq} = E_{cs} \left\{ \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c$$

(Eq.11)

Onde:

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto:

$$I_c = \frac{b h^3}{12}$$

(Eq.12)

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

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}}$$

(Eq.13)

M_r = 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 biapoiadas ou contínuas e momento no apoio para balanços, para a combinação de ações consideradas nessa avaliação.

E_{cs} = módulo de elasticidade secante do concreto.

3.2 Dimensionamento da Laje Nervurada

Conforme cita a ABNT NBR 6118:2014 a laje nervurada como as “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.”

Entende-se a laje nervurada como um elemento estrutural constituído por vigas, em uma direção ou em duas direções, solidarizada pela mesa de concreto. O comportamento estático é intermediário entre o de grelha e o de laje maciça.

A ABNT NBR 6118:2014 apresenta as condições relativas às especificações para as dimensões da laje, e relativas ao projeto da laje. Conforme o desenho apresentado na Figura 6, as especificações quanto às dimensões são as seguintes:

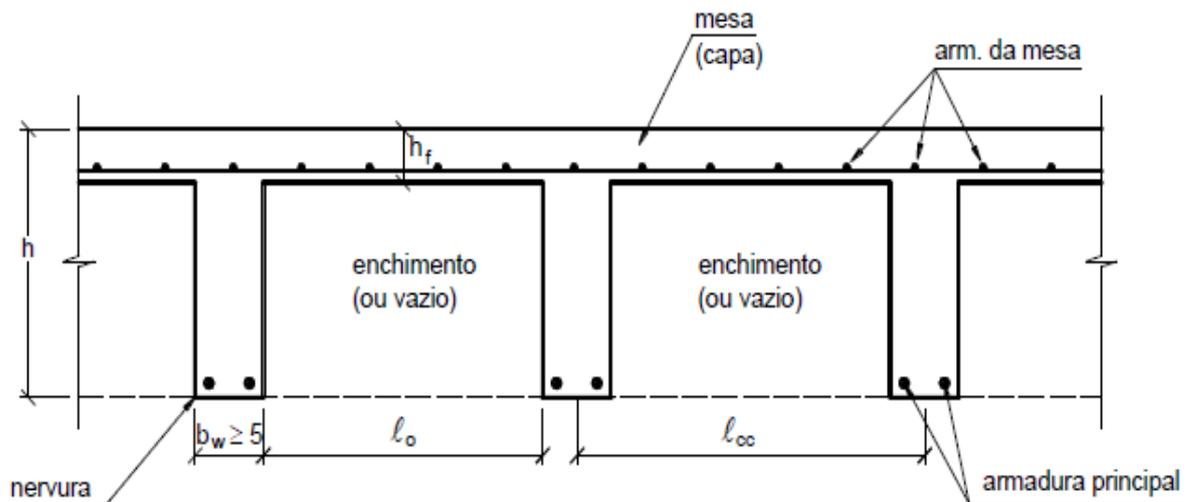
a) “A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (λ_0) e não menor que 4 cm;

b) 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 $4\text{ cm} + \phi$, ou $4\text{ cm} + 2\phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações;

c) A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;

d) Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.”

Figura 6 - Desenho em corte laje nervurada



Fonte: ABNT NBR 6118:2014

A ABNT NBR 6118:2014 explica que as lajes nervuradas unidirecionais “devem ser calculadas segundo a direção das nervuras, desprezadas a rigidez transversal e a rigidez à torção. As lajes nervuradas bidirecionais podem ser calculadas, para efeito de esforços solicitantes, como lajes maciças.”

A escolha das fôrmas a serem trabalhadas, foi a partir de uma empresa fornecedora de fôrmas plásticas para moldar as lajes nervuradas. A partir desse catálogo foi escolhido a cubetas, todas com espessura de capa de 50 mm e com altura livre da fôrma de 350 mm. A figura 7, indica parte desse catálogo.

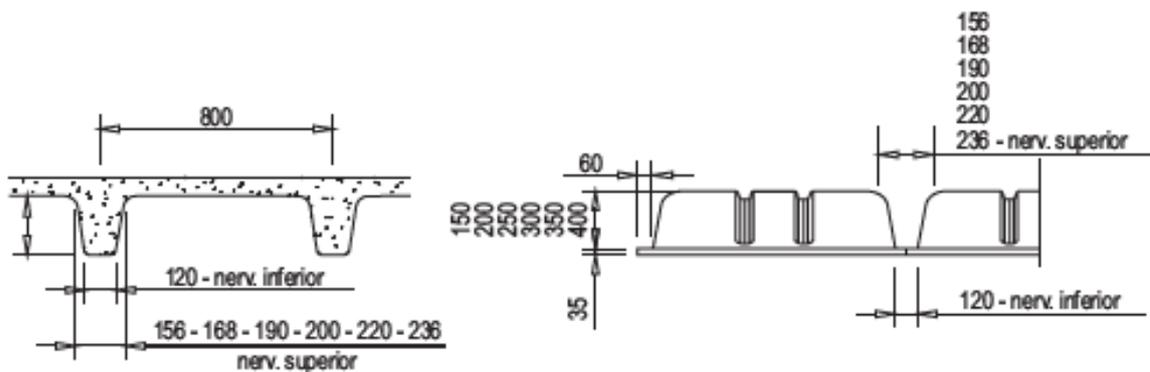
Figura 7- Catálogo de Formas RO 800

Dimensões das Fôrmas	Altura livre da Fôrma (mm)	Espessura de Capa (mm)	Altura Total (mm)	Largura da Nervura			Área de Seção (cm ²)	Volume Vazio		Peso Próprio KN/m ²	Volume Concreto m ³ /m ²
				Inferior	Superior	Média (mm)		Forma (m ³)	m ³ m ² /m ²		
800x800x150	150	50	200	120	156	138	607	0,066	0,103	0,25	0,097
		75	225				807			0,31	0,122
		100	250				1007			0,37	0,147
800x800x200	200	50	250	120	168	144	688	0,086	0,135	0,29	0,116
		75	275				888			0,36	0,141
		100	300				1088			0,42	0,166
800x800x250	250	50	300	120	190	155	787,5	0,104	0,1625	3,44	0,138
		75	325				987,5			4,06	0,163
		100	350				1187,5			4,69	0,188
800x800x300	300	50	350	120	200	160	880	0,123	0,192	3,95	0,158
		75	375				1080			4,58	0,183
		100	400				1280			5,20	0,208
800x800x350	350	50	400	120	220	170	995	0,139	0,217	4,58	0,183
		75	425				1195			5,20	0,208
		100	450				1395			5,83	0,233
800x800x400	400	50	450	120	236	178	1112	0,155	0,242	5,20	0,208
		75	475				1312			5,83	0,233
		100	500				1512			6,45	0,258

Fonte: RO-FORMAS CONSTRUTORA, IND. COM. E SERVIÇOS LTDA, 2010

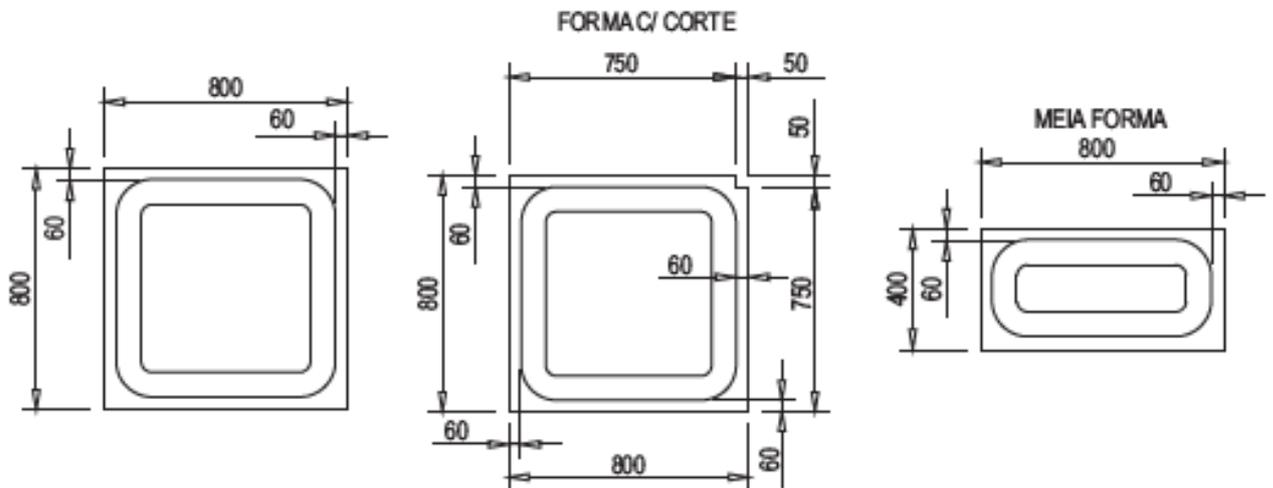
Os valores da altura livre da fôrma, altura total, largura das nervuras, área de seção, volumedo vazio, peso próprio e volume de concreto de cada uma delas podem ser visualizados nas figuras 8 e 9.

Figura 8 - Características das lajes nervuradas moldadas a partir da fôrma RO 800



Fonte: RO-FORMAS CONSTRUTORA, IND. COM. E SERVIÇOS LTDA, 2010

Figura 9 - Características das lajes nervuradas moldadas a partir da fôrma RO 800 - Continuação



Fonte: RO-FORMAS CONSTRUTORA, IND. COM. E SERVIÇOS LTDA, 2010

3.3 Dimensionamento com uso de *Software*

Para análise e dimensionamento foi utilizado o software Eberick, da empresa ALTOQI, que segue os parâmetros da norma, onde o dimensionamento das lajes foi feito de acordo com as normas estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014. Através das combinações últimas, determina-se o esforço máximo ao adotar o valor mais crítico dos momentos positivos e negativos, e os esforços cortantes máximos em cada laje. Através dos esforços, as armaduras nas lajes são calculadas a partir dos momentos positivos máximos nos vãos, e os momentos negativos máximos nos apoios.

O processo do cálculo é feito pela analogia de grelha utilizando a rigidez real das vigas de apoio. Pressupõe-se a laje dividida em faixas, “cujas propriedades físicas e geométricas passam a ser representadas através de um reticulado de barras que compõem uma grelha”(ALTOQI, 2008, p.35).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos cálculos gerados pelo *software* Eberick, chegou-se aos resultados dos dimensionamentos das lajes que passam a ser analisados de acordo com o tipo de laje, maciça ou nervurada, e as dimensões de 4,00m x 4,00m, 6,00m x 6,00m, 8,00m x 8,00m e 10,00m x 10,00m.

4.1 Dimensionamento

Foi elaborado a seguir de forma clara e objetiva.

4.1.1 Laje 4,00 x 4,00

4.1.1.1 Laje Maciça

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m^3

Cobr = 2.50 cm

Tabela 1 – Dados da Laje Maciça 4,00m x 4,00m

Seção (cm)			Cargas (kgf/m ²)			
Laje	Tipo	H	Peso Próprio	Acidental Revestimento	Paredes Outras	Total
L1	Maciça	10	250,00	250,00 50,00	0,00 0,00	550,00

Fonte: Eberick - Autor

Resultados da Laje

Tabela 2 – Resultados da Laje Maciça 4,00m x 4,00m

Nome	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
L1	10	550,00	589	638	As = 1,97 cm ² /m (ø6.3 c/15 - 2.08 cm ² /m)	As = 2,44 cm ² /m (ø8.0 c/20 - 2,51 cm ² /m)	-0.56

Fonte:Eberick - Autor

Cálculo da Laje

Tabela 3- Cálculo da Laje Maciça 4,00m x 4,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)												
Laje	Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Armadura superior	Cisalhamento
		Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)			
L1	X	bw = 100.0 cm h = 10.0 cm	Md = 589 kgf.m/m As = 1.97 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 10.0 cm				As = 1.97 cm ² /m ø8.0 c/20 (2.08 cm ² /m) fiss = 0.09 mm		vsd = 1.23 tf/m vrd1 = 5.27 tf/m Modelo I vrd2 = 33.60 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
	Y	bw = 100.0 cm h = 10.0 cm	Md = 638 kgf.m/m As = 2.44 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 10.0 cm				As = 2.44 cm ² /m ø8.0 c/20 (2.51 cm ² /m) fiss = 0.14 mm		vsd = 1.26 tf/m vrd1 = 4.77 tf/m vrd2 = 29.53 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick - Autor

Resumo de Materiais

Tabela 4 – Resumo do Material da Laje Maciça 4,00m x 4,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total(m ²)
			CA50	24,9	C-30	1,45	
CA50	6.3	101.9	CA50	24,9	C-30	1,45	14,54
CA50	8.0	74.9	CA50	29,5			

Fonte:Eberick - Autor

4.1.1.2 Laje Nervurada

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kg/m^3

Cobr = 2.50 cm

Tabela 5- Dados da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m

Seção (cm)				Cargas (kgf/m ²)		
H	ee	enx	eex	Peso	Acidental	Total
	ec	eny	eey	Próprio	Revestimento	
35	30.00	12.50	67.50	398.23	250.00	698.23
	5.00	12.50	67.50		50.00	

Fonte:Eberick - Autor

Resultados da Laje

Tabela 6 - Resultados da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m

Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
35	698.23	730	1217	As = 0.89 cm ² /N (3ø6.3 c/N - 0.94 cm ² /N)	As = 0.89 cm ² /N (3ø6.3 c/N - 0.94 cm ² /N)	-0.11

Fonte:Eberick - Autor

Cálculos das Lajes**Tabela 7** - Cálculo da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)					
Direção	Momento positivo		Momento negativo	Armadura	Cisalhamento
	Seção	Flexão	Seção	inferior	
X	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 802 kgf.m/N As = 0.57 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm	As = 0.89 cm ² /N 3ø6.3 c/N (0.94 cm ² /N) fiss = 0.02 mm	vsd = 0.73 tf/N vrd1 = 3.19 tf/N Modelo I vrd2 = 27.23 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
Y	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 974 kgf.m/N As = 0.71 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm	As = 0.89 cm ² /N 3ø6.3 c/N (0.94 cm ² /N) fiss = 0.06 mm	vsd = 1.23 tf/N vrd1 = 3.15 tf/N vrd2 = 26.69 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick - Autor

Resumo de Materiais

Tabela 8 - Resumo de materiais da Laje Nervurada 4,00m x 4,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	6.3	117.6	CA50	28.8	C30	2.3	10.24

Fonte: Eberick – Autor

4.1.1.3 Análise comparativa

Quando analisamos o consumo de material consumido nas estruturas de laje maciça e laje nervura, nas tabelas 9 e 13, respectivamente, observamos que o volume de concreto para laje maciça é de 1,45m³ enquanto para a laje nervurada esse volume é de 2,3m³. Quando analisamos o aço consumido, percebe-se um peso maior na estrutura de laje maciça para o aço CA50 com um total de 54,40kg enquanto na nervurada o consumo de aço CA50 foi de 28,80kg desse mesmo aço.

4.1.2 Laje 6,00 x 6,00

4.1.2.1 Laje maciça

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m³

Cobr = 2.50 cm

Tabela 9- Dados da Laje Maciça 6,00m x 6,00m

Seção (cm)			Cargas (kgf/m ²)		
Laje	Tipo	H	Peso	Acidental	Total
			Próprio	Revestimento	
L1	Maciça	12	300.00	250.00	600.00
				50.00	

Fonte: Eberick - Autor

Resultados da Laje

Tabela 10- Resultados da Laje Maciça 6,00m x 6,00m

Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
12	600.00	1374	1549	As = 3.69 cm ² /m (ø10.0 c/20 - 3.93 cm ² /m)	As = 4.89 cm ² /m (ø10.0 c/16 - 4.91 cm ² /m)	-1.80

Fonte: Eberick - Autor

Cálculos das Lajes

Tabela 11- Cálculo da Laje Maciça 6,00m x 6,00m

Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Cisalhamento
	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)		
X	bw = 100.0 cm h = 12.0 cm	Md = 1374 kgf.m/m As = 3.69 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 12.0 cm	Md = 473 kgf.m/m As = 1.20 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 3.69 cm ² /m ø10.0 c/20 (3.93 cm ² /m) fiss = 0.18 mm	vsd = 1.93 tf/m vrd1 = 6.76tf/m Modelo I vrd2 = 43.28 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
Y	bw = 100.0 cm h = 12.0 cm	Md = 1549 kgf.m/m As = 4.89 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 12.0 cm	Md = 373 kgf.m/m As = 1.07 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 4.89 cm ² /m ø10.0 c/16 (4.91 cm ² /m) fiss = 0.16 mm	vsd = 2.00 tf/m vrd1 = 6.56tf/m vrd2 = 37.55tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m

Fonte: Eberick - Autor

Resumo de Material

Tabela 12 - Resumo de materiais da Laje Maciça 6,00m x 6,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	10.0	393.4	242.5

Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	242.5	C-30	4.1	33.77

Fonte: Eberick - Autor

4.1.2.2 Laje Nervurada

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m^3

$Cobr = 2.50 \text{ cm}$

Tabela 13- Dados da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m

Tipo	H	Seção (cm)			Cargas (kgf/m ²)		
		ee	enx	eex	Peso	Acidental	Total
		ec	eny	eey	Próprio	Revestimento	
Nervurada	35	30.00	12.50	67.50	398.23	250.00	698.23
		5.00	12.50	67.50		50.00	

Fonte: Eberick - Autor

Resultados da Laje

Tabela 14- Resultados da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m

Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
35	698.23	1878	2945	As = 1.08 cm ² /N (1Ø10.0 + 1Ø6.3 c/N - 1.10 cm ² /N)	As = 1.75 cm ² /N (2Ø10.0 + 1Ø6.3 c/N - 1.88 cm ² /N)	-0.55

Fonte:Eberick– Autor

Cálculos das Lajes

Tabela 15- Cálculo da Laje Nervurada 6,00m x 6,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)										
Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Cisalhamento
	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)		
X	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 1502 kgf.m/N As = 1.08 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N			bw = 12.5 cm h = 35.0 cm				As = 1.08 cm ² /N 1Ø10.0 + 1Ø6.3 c/N (1.10 cm ² /N) fiss = 0.07 mm	vsd = 1.13 tf/N vrd1 = 3.29 tf/N Modelo I vrd2 = 27.16 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
Y	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 2356 kgf.m/N As = 1.75 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N			bw = 12.5 cm h = 35.0 cm				As = 1.75 cm ² /N 2Ø10.0 + 1 Ø6.3 c/N (1.88 cm ² /N) fiss = 0.08 mm	vsd = 1.74 tf/N vrd1 = 3.33 tf/N vrd2 = 26.47 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick– Autor

Resumo de Material

Tabela 16- Resumo de materiais da laje Nervurada 6,00m x 6,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	6.3	71.3	17.5
CA50	10.0	107.0	65.9

Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	83.4	C-30	5.4	23.04

Fonte: Eberick – Autor

4.1.2.3 Análise comparativa

Na comparação das lajes com vãos de 6,00m x 6,00m, observa-se um aumento na diferença entre o consumo de materiais para a laje maciça e a laje nervurada. Enquanto a laje maciça consome um volume de 4,10m³ de concreto a laje nervura tem um consumo de 5,4m³. No que tange o consumo de aço CA 50, a laje maciça consome um total de 242,5kg com dimensões de 10.0mm de diâmetro enquanto a laje nervurada tem consumo de 83,4kg desse mesmo aço com diâmetros de 6.3 e 10.0mm.

4.1.3 Laje 8,00 x 8,00

4.1.3.1 Laje maciça

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m³

$C_{obr} = 2.50 \text{ cm}$

Tabela 17- Dados da laje maciça 8,00m x 8,00m

Seção (cm)	Cargas (kgf/m ²)		
	Peso	Acidental	Total
H	Próprio	Revestimento	
15	375.00	250.00	675.00
		50.00	

Fonte:Eberick– Autor

Resultados da Laje

Tabela 18- Dados da laje maciça 8,00m x 8,00m

Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
15	675.00	2818	2823	As = 5.79 cm ² /m (ø12.5 c/20 - 6.14 cm ² /m)	As = 6.60 cm ² /m (ø12.5 c/18 - 6.82 cm ² /m)	-3.12

Fonte:Eberick – Autor

Cálculo da Laje

Tabela 19- Cálculo da laje maciça 8,00m x 8,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)										
Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Cisalhamento
	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)		
X	bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 2818 kgf.m/m As = 5.79 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 1225 kgf.m/m As = 2.39 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 5.79 cm ² /m ø12.5 c/20 (6.14 cm ² /m) fiss = 0.20 mm	vsd = 3.53 tf/m vrd1 = 8.96 tf/m Modelo I vrd2 = 57.92 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
Y	bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 2823 kgf.m/m As = 6.60 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 15.0 cm	Md = 1186 kgf.m/m As = 2.59 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 6.60 cm ² /m ø12.5 c/18 (6.82 cm ² /m) fiss = 0.21 mm	vsd = 4.31 tf/m vrd1 = 8.37 tf/m vrd2 = 51.55 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick - Autor

Resumo de Materiais

Tabela 20- Resumo da laje maciça 8,00m x 8,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	12.5	664.0	639.7

Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	639.7	C-30	9.2	61.10

Fonte:Eberick– Autor

4.1.3.2 Laje Nervurada

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$

$E_{cs} = 26072 \text{ MPa}$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m^3

Cobr = 2.50 cm

Tabela 21–Dados da laje nervurada 8,00m x 8,00m

Seção (cm)				Cargas (kgf/m ²)		
H	ee	enx	eex	Peso	Acidental	Total
	ec	eny	eey	Próprio	Revestimento	
35	30.00	12.50	67.50	398.23	250.00	698.23
	5.00	12.50	67.50		50.00	

Fonte:Eberick - Autor

Resultados da Laje

Tabela 22- Resultado da laje nervurada 8,00m x 8,00m

Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
35	698.23	4407	4455	As = 2.57 cm ² /N (1ø16.0+ 1ø10.0c/N - 2.78 cm ² /N)	As = 2.70 cm ² /N (4ø10.0 c/N - 3.14 cm ² /N)	-1.94

Fonte:Eberick– Autor

Cálculos das Lajes

Tabela 23- Cálculo da laje nervurada 8,00m x 8,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)												
Laje	Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Armadura superior	Cisalhamento
		Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)			
L1	X	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 3526 kgf.m /N As = 2.57 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N			bw = 12.5 cm h = 35.0 cm				As = 2.57 cm ² /N 1ø16.0+ 1ø10.0 c/N (2.78 cm ² /N) fiss = 0.21 mm		vsd = 2.92 tf/N vrd1 = 3.45 tf/N Modelo I vrd2 = 26.96 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
	Y	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 3564 kgf.m /N As = 2.70 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N			bw = 12.5 cm h = 35.0 cm				As = 2.70 cm ² /N 4ø10.0 c/N (3.14 cm ² /N) fiss = 0.07 mm		vsd = 2.78 tf/N vrd1 = 3.50 tf/N vrd2 = 25.99 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick– Autor

Resumo de Material

Tabela 24 - Resumo de materiais da laje nervurada 8,00m x 8,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	10.0	334.7	206.0
	16.0	80.0	126.3

Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	332.7	C-30	9.7	48.1

Fonte:Eberick– Autor

4.1.3.3 Análise comparativa

Para o dimensionamento da laje com vãos de 8,00m x 8,00m observado uma grande divergência na quantidade de materiais quando comparado os dois tipos de laje. Para a laje maciça foi totalizado 639,7kg de aço CA50 enquanto a laje nervurada teve um consumo de 332,7kg desse mesmo aço, o representa 52% do total do aço consumido na laje maciça. Quando analisamos o concreto o volume de ambos é bem próximo, sendo a laje maciça consumindo 9,2 m³ e a laje nervura com um consumo total de 9,7m³ de concreto.

4.1.4 Laje 10,00 x 10,00

4.1.4.1 Laje maciça

Dados das Lajes

$f_{ck} = 30.00$ MPa

$E = 26072$ MPa

Peso Específico = 2500.00 kgf/m³

Cobrimento = 2.50 cm

Tabela 25- Dados da laje maciça 10,00m x 10,00m

Seção (cm)						Cargas (kgf/m ²)			
Laje	Tipo	H	ee ec	enx eny	eex eey	Peso Próprio	Acidental Revestimento	Paredes Outras	Total
L1	Maciça	20				500.00	250.00 50.00	0.00 0.00	800.00

Fonte:Eberick– Autor

Resultados da Laje

Tabela 26- Resultado da laje maciça 10,00m x 10,00m

Nome	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
L1	20	800.00	5180	5203	As = 7.45 cm ² /m (Ø12.5 c/16 - 7.67 cm ² /m)	As = 8.27 cm ² /m (Ø12.5 c/14–8.76 cm ² /m)	-4,17

Fonte:Eberick– Autor

Cálculo da laje

Tabela 27- Cálculo da laje maciça 10,00m x 10,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)											
Laje	Direção	Momento positivo				Momento negativo				Armadura inferior	Cisalhamento
		Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)		
L1	X	bw = 100.0 cm h = 20.0 cm	Md = 5180 kgf.m/m As = 7.45 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 20.0 cm	Md = 2330 kgf.m/m As = 3.23 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 7.45 cm ² /m ø12.5 c/16 (7.67 cm ² /m) fiss = 0.21 mm	vsd = 6.30 tf/m vrd1 = 12.08 tf/m Modelo I vrd2 = 83.37 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m
	Y	bw = 100.0 cm h = 20.0 cm	Md = 5203 kgf.m/m As = 8.27 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			bw = 100.0 cm h = 20.0 cm	Md = 2142 kgf.m/m As = 3.21 cm ² /m A's = 0.00 cm ² /m			As = 8.27 cm ² /m ø12.5 c/14 (8.76 cm ² /m) fiss = 0.19 mm	vsd = 7.40 tf/m vrd1 = 11.81 tf/m vrd2 = 76.12 tf/m vsw = 0.00 tf/m asw = 0.00 cm ² /m

Fonte:Eberick– Autor

Resumo de Material

Tabela 28- Resumo de materiais da laje maciça 10,00m x 10,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	12.5	1280.0	1233.1

Peso total (kg)		Vol. concreto total (m ³)		Área de forma total (m ²)
CA50	1233.1	C-30	19.3	96.30

Fonte:Eberick– Autor

4.1.4.2 Laje Nervurada

Dados das Lajes

fck = 30.00 MPa

E = 26072 MPa

Peso Específico = 2500.00 kgf/m³

Cobrimento = 2.50 cm

Tabela 29- Dados da laje nervurada 10,00m x 10,00m

Seção (cm)						Cargas (kgf/m ²)			
Laje	Tipo	H	ee ec	enx eny	eex eey	Peso Próprio	Acidental Revestimento	Paredes Outras	Total
L1	Nervurada	35	30.00 5.00	12.50 12.50	67.50 67.50	398.23	250.00 50.00	0.00 0.00	698.23

Fonte:Eberick– Autor

Resultados da Laje**Tabela 30-** Resultado da laje nervurada 10,00m x 10,00m

Nome	Espessura (cm)	Carga (kgf/m ²)	Mdx (kgf.m/m)	Mdy (kgf.m/m)	Asx	Asy	Flecha Total (cm)
L1	35	698.23	7207	7295	As = 4.32 cm ² /N (4ø12.5 c/N - 4.91 cm ² /N)	As = 4.57 cm ² /N (4ø12.5 c/N - 4.91 cm ² /N)	-2.74

Fonte:Eberick– Autor

Cálculos das Lajes

Tabela 31- Cálculo da laje nervurada 10,00m x 10,00m

ARMADURAS POSITIVAS (LAJE)						
Laje	Direção	Momento positivo		Momento negativo	Armadura inferior	Cisalhamento
		Seção	Flexão	Seção		
L1	X	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 5766 kgf.m/N As = 4.32 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm	As = 4.32 cm ² /N 4ø12.5 c/N (4.91 cm ² /N) fiss = 0.06 mm	vsd = 3.64 tf/N vrd1 = 3.87 tf/N Modelo I vrd2 = 26.48 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m
	Y	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm bf = 80.0 cm hf = 5.0 cm	Md = 5836 kgf.m/N As = 4.57 cm ² /N A's = 0.00 cm ² /N	bw = 12.5 cm h = 35.0 cm	As = 4.57 cm ² /N 4ø12.5 c/N (4.91 cm ² /N) fiss = 0.06 mm	vsd = 3.47 tf/N vrd1 = 3.79 tf/N vrd2 = 25.40 tf/N vsw = 0.00 tf/N asw = 0.00 cm ² /m

Fonte: Eberick – Autor

Resumo de Material

Tabela 32- Resumo de materiais da laje nervurada 10,00m x 10,00m

Aço	Diâmetro	Comp. Total (m)	Peso + 0 % (kg)
CA50	12.5	800.0	770.7

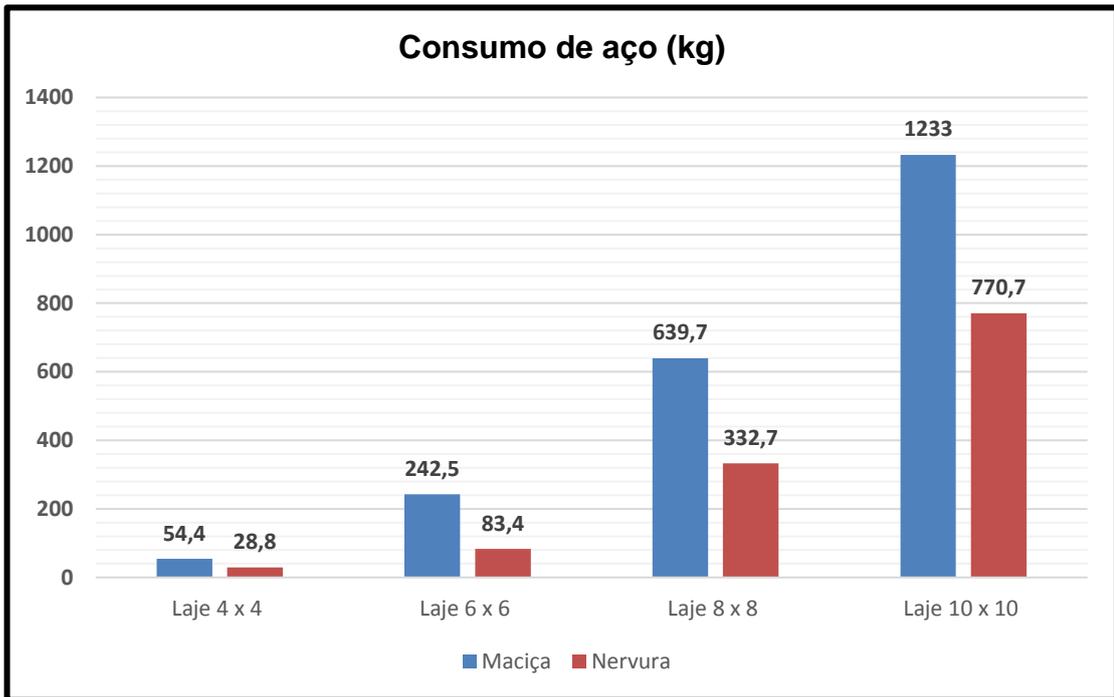
Peso total (kg)	Vol. concreto total (m ³)	Área de forma total (m ²)
CA50 770.7	C-30 15.3	70.98

Fonte: Eberick – Autor

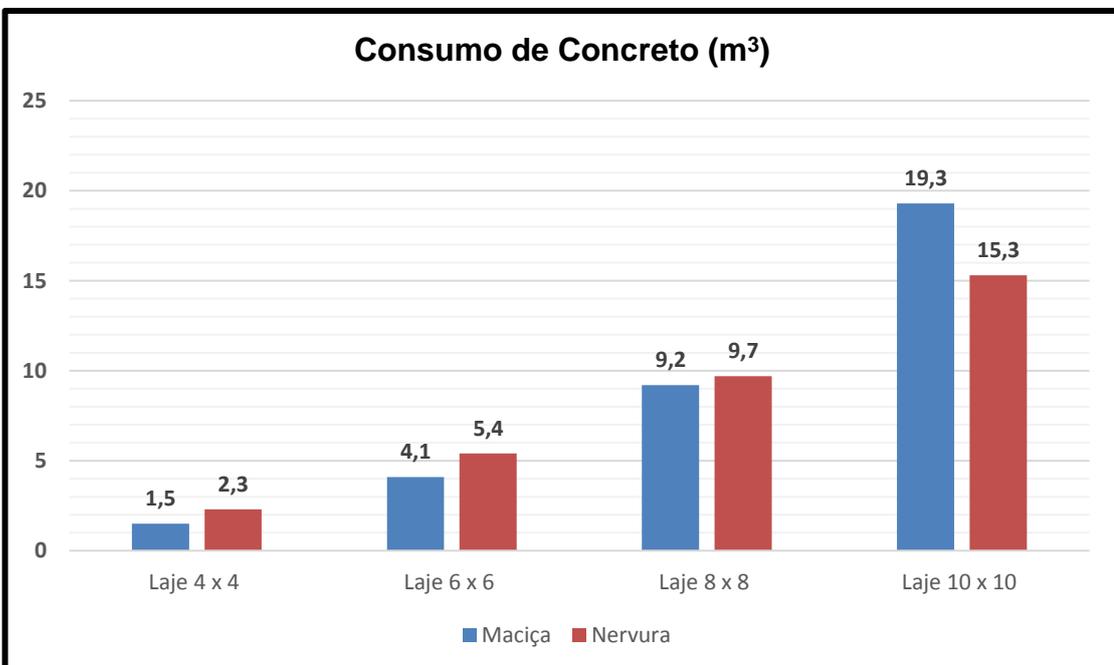
4.1.4.3 Análise comparativa

O dimensionamento da laje maciça com vãos de 10,00m x 10,00m teve um consumo de 1.233,0 kg de aço CA50. O volume de concreto, em m³, foi de 19,30. A laje nervurada tem um consumo de 49% do aço CA50, chegando a um total de 770,70 kg. O volume do concreto consumido nessa laje foi de 15,30m³.

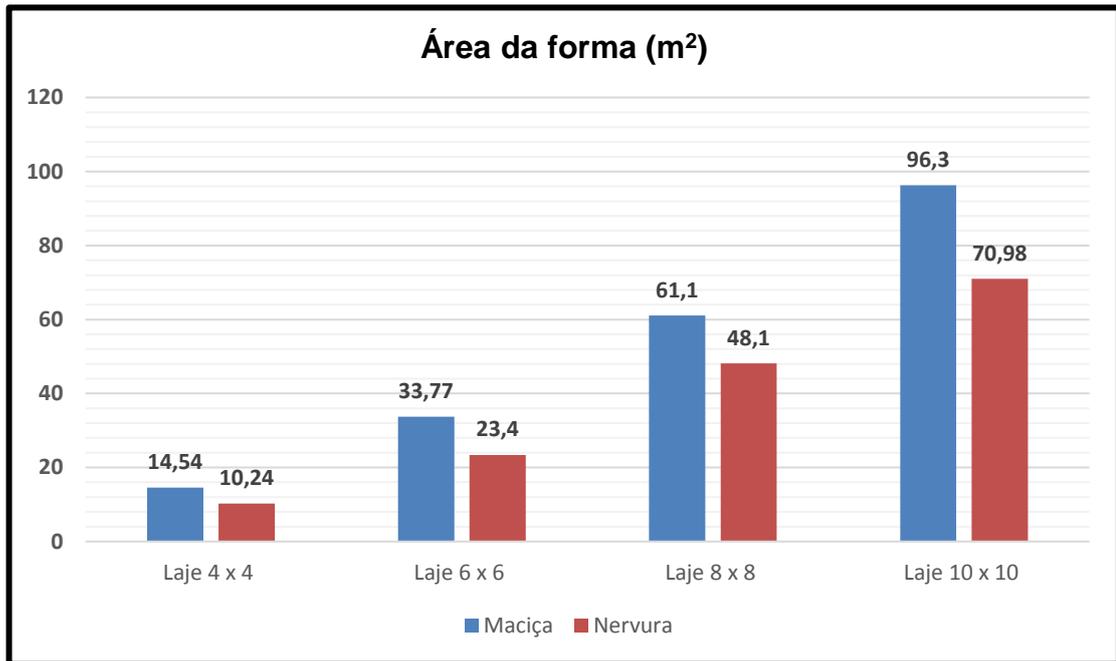
Assim de forma sintetizada, podemos observar o consumo de aço e de concreto através dos gráficos 1 e 2, assim como o consumo de forma no gráfico 3, apresentados a seguir.

Gráfico 1 - Consumo total de aço

Fonte: Autor

Gráfico 2 - Consumo total de concreto

Fonte: Autor

Gráfico 3 - Consumo total de forma

5 CONCLUSÃO

Conforme proposto, decorreu-se nesse trabalho um estudo comparativo entre as lajes maciças e nervuradas, apresentando suas vantagens e desvantagens e o consumo de materiais para os tipos de lajes propostos em diferentes vãos. Com fulcro na ABNT NBR 6118:2014, prosseguiu-se o dimensionamento das lajes com apoio do *software* Eberick da empresa AltoQi, atendendo aos objetivos do trabalho quanto ao procedimento de detalhamento e dimensionamento da laje maciça e nervurada. Dos resultados apresentados pelo *software*, prosseguiu-se a análise comparativa dos quantitativos dos materiais consumidos.

Destaca-se que para uma melhor análise igualou-se as condições de dimensionamento quanto às cargas, o concreto e as dimensões da forma, no caso das lajes nervuradas.

Conforme objetivado por este, o gráfico 1, apresentado no capítulo anterior, mostra a evolução do consumo de aço em função das variações dos vãos.

É perceptível um aumento significativo no consumo total à medida que se aumenta os vãos das lajes. Nota-se que, apesar do aumento no consumo de aço na laje nervurada, o mesmo não acontece na mesma proporção que acontece nas lajes maciças.

No gráfico 2, transcrito em resultados e discussões, apresenta-se o consumo total de concreto para as situações apresentadas nesse projeto. Diferente do que acontece com o consumo de aço, o consumo de concreto para as lajes maciças e nervuradas aumentam na mesma proporção quando se aumenta os vãos das lajes.

O gráfico 3, indica a quantidade de formas utilizadas para ambas as lajes em metros quadrados. Visualiza-se, que a lajes maciças apresenta maior consumo de formas comparado com as lajes nervuradas.

A partir das tabelas obtidas para o consumo de concreto, aço e formas das lajes maciças e nervuradas, pode-se observar que, para as dimensões estudadas nesse projeto as lajes nervuradas terão melhor desempenho quanto ao consumo de aço e forma, mas o mesmo não acontece para o consumo de concreto, que também aumenta em proporção semelhante para ambas as lajes estudadas, diferenciando-se apenas quando o vão atingir os 10,00m. Tomando com premissa apenas o consumo de material analisado, a utilização da laje nervurada se torna mais viável, uma vez que o consumo de aço e forma é menor, quando se comparada às lajes

maciças. Porém as formas das lajes nervuradas possuem um custo elevado comparado com as lajes maciças, salientando que o objetivo do trabalho não é indicar os custos das lajes e sim apenas comparar os consumos de materiais.

Acrescenta-se que tanto as lajes maciças quanto as nervuradas estudadas nesse projeto, teve como premissa lajes totalmente apoiadas. Assim, o estudo limita-se ao modelo apresentado. As dimensões estudadas foram de 4,00m x 4,00m, 6,00m x 6,00, 8,00m x 8,00m e 10,00 x 10,00.

Conclui-se que a escolha do tipo de estrutura a ser utilizada na construção não se restringe apenas ao consumo de materiais. Apesar da quantidade de materiais serem um dos elementos na formatação dos preços de uma construção, existem outros fatores que devem ser levados em consideração, por exemplo o projeto arquitetônico, que por vezes limita o tipo de estrutura a se utilizar. Outro fator é a mão de obra ou empresas especializadas para a realização da obra na região onde será executada, uma vez que a mão de obra tem um peso significativo no custo da execução do projeto é importante fazer a verificação de sua disponibilidade e qual será o fim da obra, se é um estacionamento, shopping, hospital, prédio ou casa. Fatores determinantes para a escolha do tipo de estrutura a ser utilizada.

É importante acrescentar a necessidade de um maior aprofundamento no estudo, pois a verificação deve abranger diferentes parâmetros, assim indica-se a continuidade do trabalho abordando vãos com dimensões diferentes e com diferentes situações de engastes, quer sejam, lajes apoiadas, engastadas ou balanço e especificar os custos de aço, concreto e formas.

REFERÊNCIAS

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.

ALTOQI INFORMÁTICA. **AltoQiEberick – Manual do Usuário**. Florianópolis, SC, 2000

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implantação de tecnologia construtiva racionalizada na produção de edifícios**. 1996. 422p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

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.

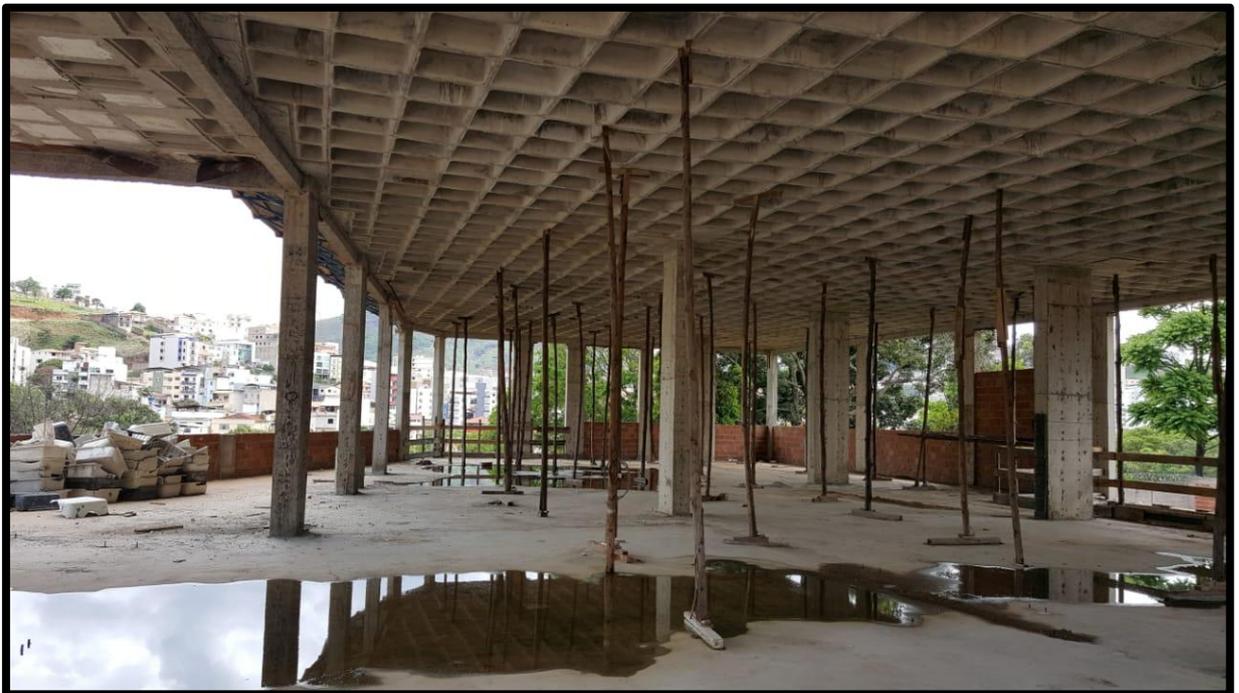
KAEFER, L.F. **A evolução do concreto armado**. Disponível em: <<http://www.hdutil.com.br/site/arquivos/biblioteca%20cpcm/HistoriadoConcreto.pdf>> Acesso em 04 out. 2013.

PINHEIRO, Libânio M. **Estruturas de Concreto**. Cap. 17- Estruturas de Concreto, Universidade de São Paulo, SP, 2003.

RO-FORMAS CONSTRUTORA, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA. Formas

Plásticas: **catálogo eletrônico**. Disponível em: <http://www.romanio.com.br/catalogo/ROFormas.pdf>. Acesso em: 15nov. 2018

VERÇOSA, Enio. **Materiais de construção**. Porto Alegre. Editora da UFRS. 2000

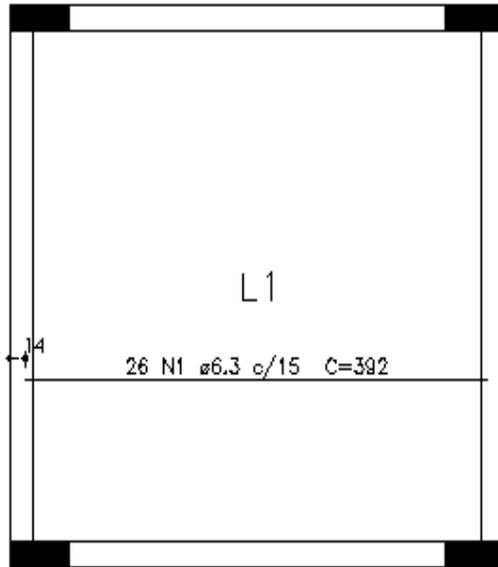
ANEXOS**ANEXO A – FOTOS DA LAJE NERVURADA**



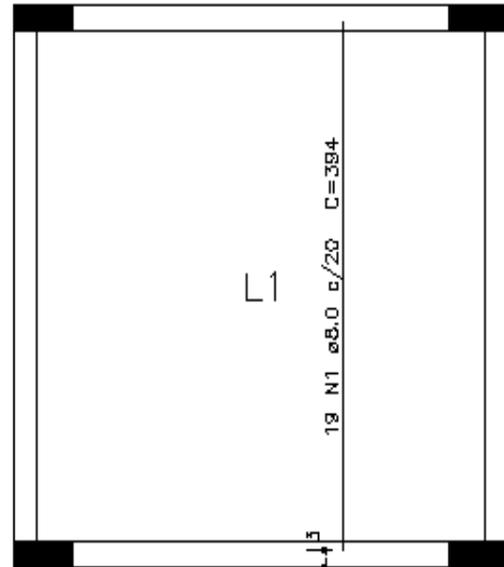


ANEXO B – DETALHE DA ARMADURA E RELAÇÃO DE AÇOS

Laje Maciça 4,00m x 4,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	6.3	26	392	10192
Positivos Y	CA50	1	8.0	19	394	7486

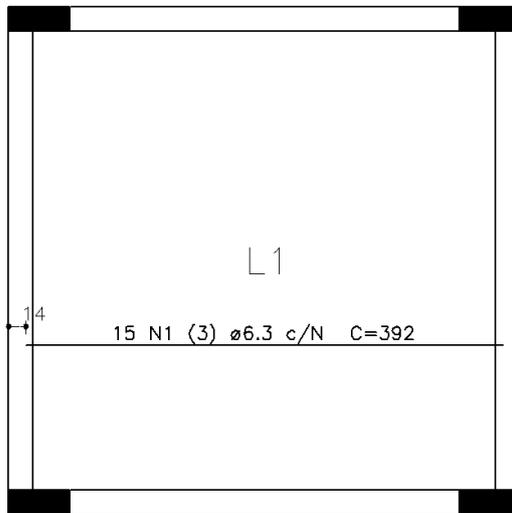
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	6.3	102	24.9
	8.0	74.9	29.5
PESO TOTAL (kg)			
CA50	54.5		

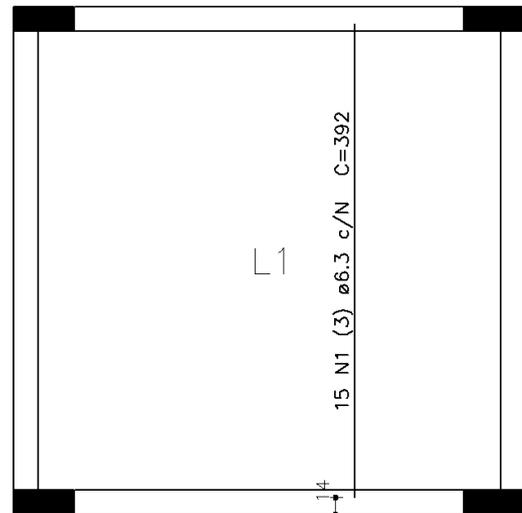
Volume de concreto (C-30) = 1.45 m³

Área de forma = 14.54 m²

Laje Nervurada 4,00m x 4,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	6.3	15	392	5880
Positivos Y	CA50	1	6.3	15	392	5880

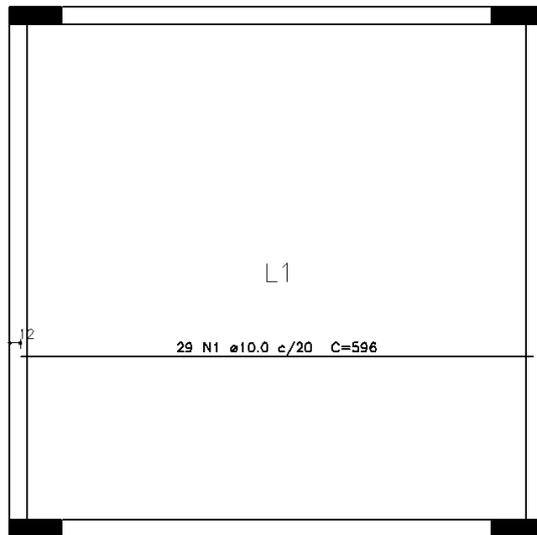
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	6.3	117.6	28.8
PESO TOTAL (kg)			
CA50			28.8

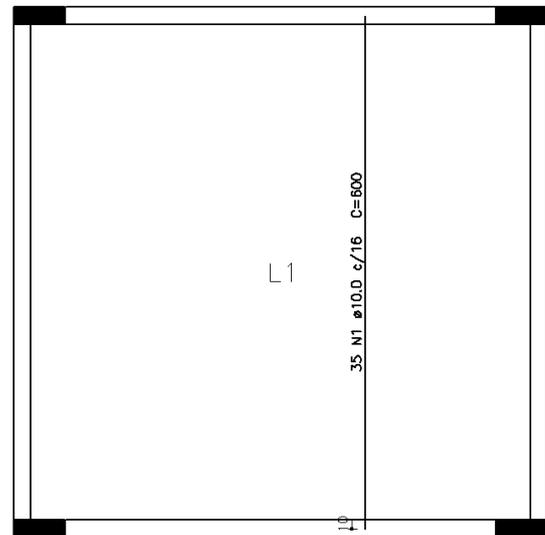
Volume de concreto (C-30) = 2.32 m³

Área de forma = 10.24 m²

Laje Maciça 6,00m x 6,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	10.0	29	596	17284
Positivos Y	CA50	1	10.0	35	600	21000

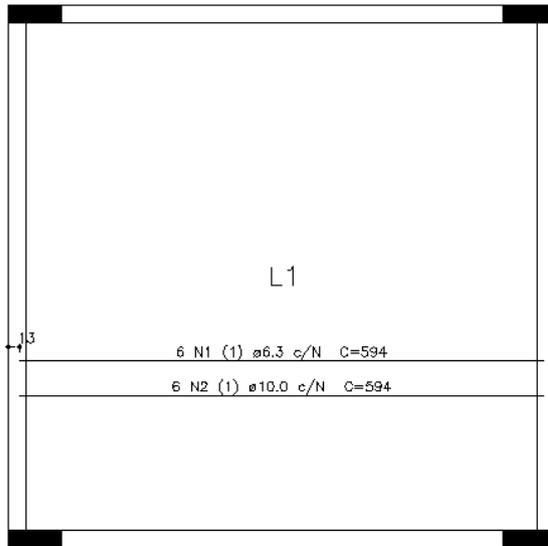
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	10.0	382.9	236
PESO TOTAL (kg)			
CA50	236		

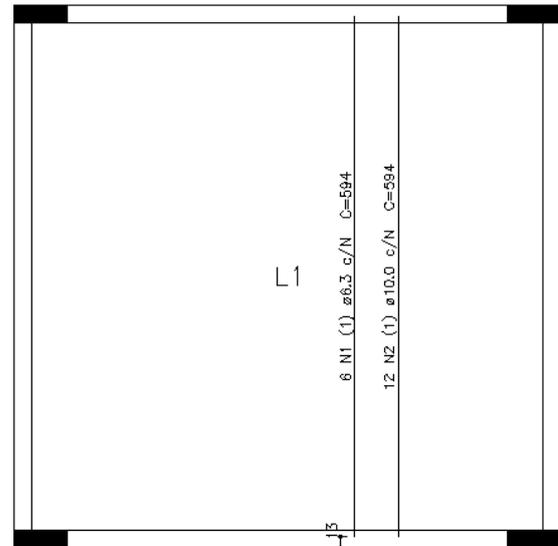
Volume de concreto (C-30) = 4.05 m³

Área de forma = 33.77 m²

Laje Nervurada 6,00m x 6,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	6.3	6	594	3564
	CA50	2	10.0	6	594	3564
Positivos Y	CA50	1	6.3	6	594	3564
	CA50	2	10.0	12	594	7128

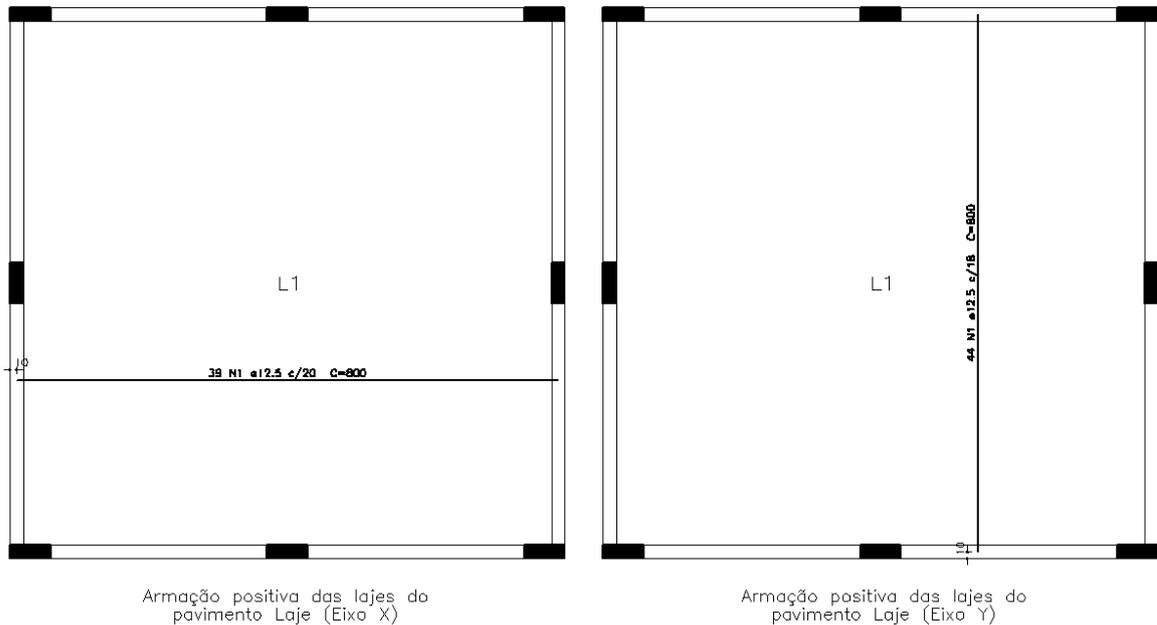
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	6.3	71.3	17.5
	10.0	107	65.9
PESO TOTAL (kg)			
CA50	80.5		

Volume de concreto (C-30) = 5.38 m³

Área de form = 23.04 m²

Laje Maciça 8,00m x 8,00



Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	12.5	39	800	31200
Positivos Y	CA50	1	12.5	44	800	35200

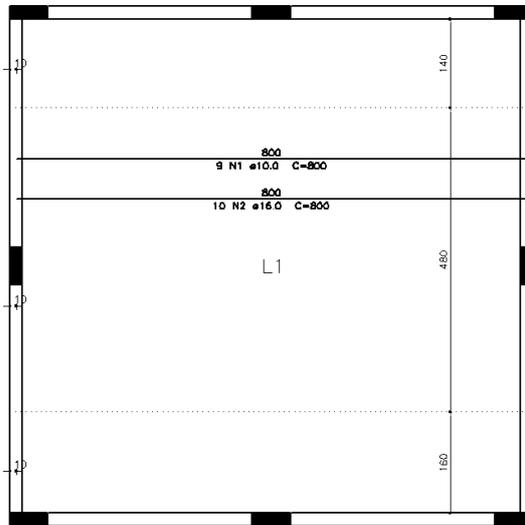
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	12.5	664	639.7
PESO TOTAL (kg)			
CA50	639.7		

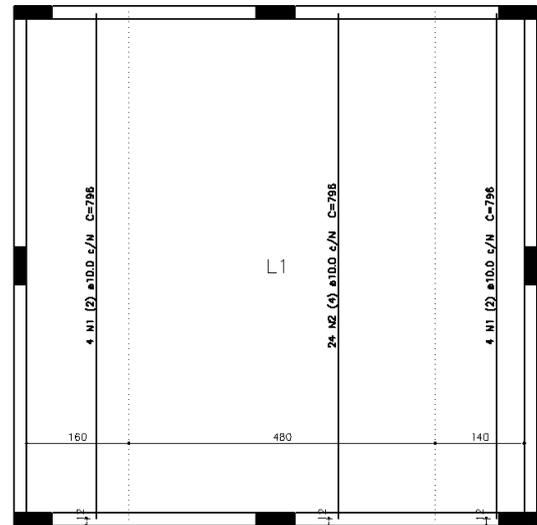
Volume de concreto (C-30) = 9.17 m³

Área de forma = 61.1 m²

Laje Nervurada 8,00m x 8,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

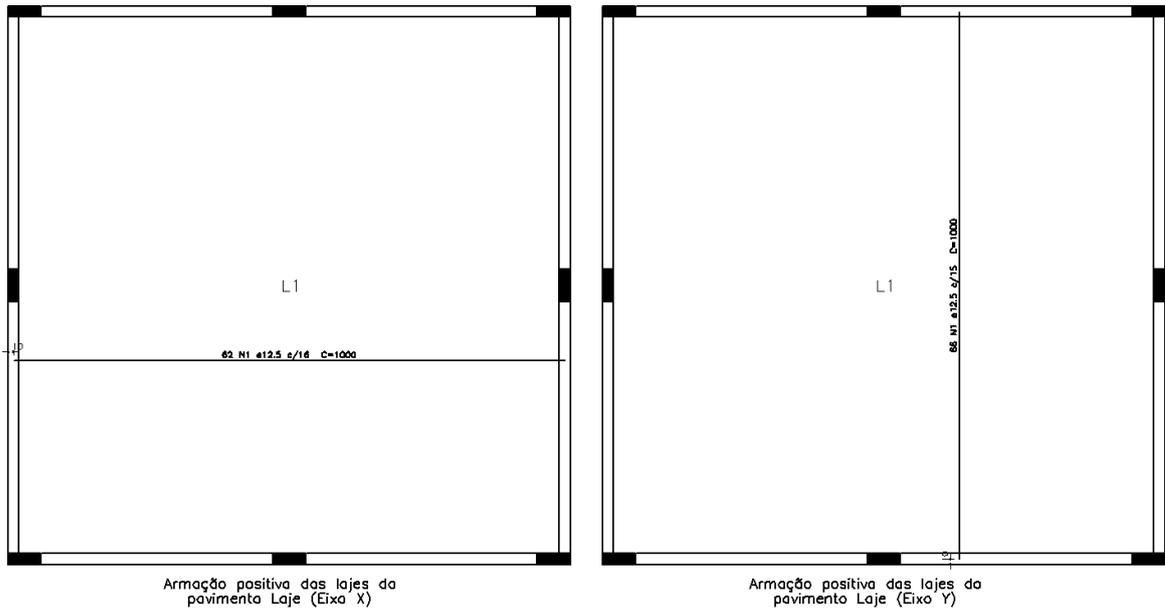
ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	10.0	9	800	7200
	CA50	2	16.0	10	800	8000
Positivos Y	CA50	1	10.0	8	796	6368
	CA50	2	10.0	24	796	19104

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	10.0	326.8	201.4
	16.0	80	126.3
PESO TOTAL (kg)			
CA50	327.7		

Volume de concreto (C-30) = 9.73 m³

Laje Maciça 10,00m x 10,00



Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	12.5	62	1000	62000
Positivos Y	CA50	1	12.5	66	1000	66000

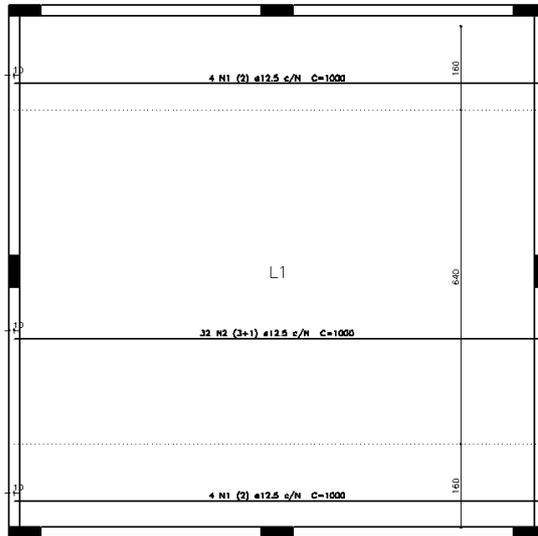
Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	12.5	1280	1233.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50	1233.1		

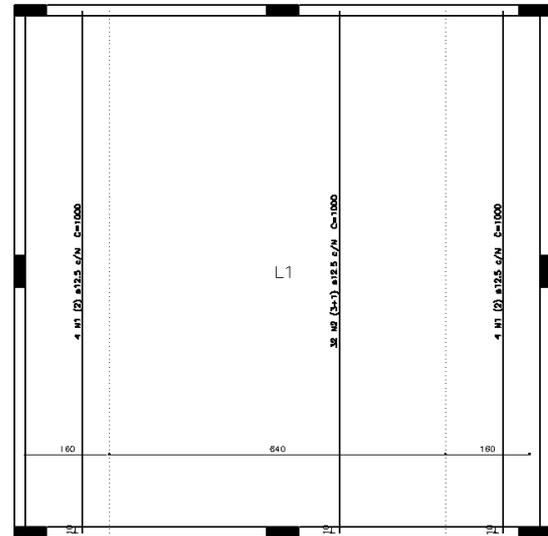
Volume de concreto (C-30) = 19.26 m³

Área de forma = 96.3 m²

Laje Nervurada 10,00m x 10,00



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Laje (Eixo Y)

Relação do aço

ELEMENTO	AÇO	N	DIAM (mm)	QUANT (Barras)	UNIT (cm)	C.TOTAL (cm)
Positivos X	CA50	1	12.5	8	1000	8000
	CA50	2	12.5	32	1000	32000
Positivos Y	CA50	1	12.5	8	1000	8000
	CA50	2	12.5	32	1000	32000

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO (kg)
CA50	12.5	800	770.7
PESO TOTAL (kg)			
CA50			770.7

Volume de concreto (C-30) = 15.34 m³

Área de forma = 96.3 m²