

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

TAINARA BRUN

**COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE
ECONÔMICA**

BENTO GONÇALVES

2018

TAINARA BRUN

**COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE
ECONÔMICA**

Trabalho de conclusão de curso, voltado para a área estrutural, apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul - UCS, como requisito parcial à obtenção de título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

BENTO GONÇALVES

2018

TAINARA BRUN

**COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE
ECONÔMICA.**

Trabalho apresentado como requisito final para
aprovação na Disciplina Trabalho de Conclusão
de Curso da Universidade de Caxias do Sul no
curso de Engenharia Civil.

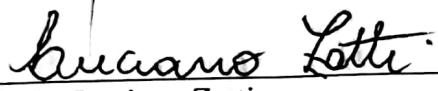
Aprovada em 01/12/2018

Banca Examinadora



Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof Me. Luciano Zatti

Universidade de Caxias do Sul – UCS



Prof Me. Gustavo Ribeiro da Silva

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho ao meu pai Rene (*In memoriam*), que sonhou este sonho junto comigo por todos os anos da graduação, apoiando, incentivando, mas que não pôde estar comigo na realização dele. É para você, C.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Rene (*In memoriam*) e Carmen, por todo o apoio, por sempre acreditarem no meu sucesso acadêmico e profissional, por se sacrificarem tanto para tornar esse sonho realidade, e por todo amor, carinho, zelo, compreensão pelas vezes que a faculdade me fez ausente, enfim, por sempre serem meu porto seguro, minha gratidão eterna.

A minha irmã Bruna e meu cunhado Leandro, por todo o apoio incondicional, por sempre torcerem pelo meu sucesso acadêmico, pessoal e profissional, e por todo amor, amizade e união incomensuráveis, muito obrigada.

Ao meu orientador, professor Rodrigo Fabiano Montemezzo, pela confiança, disponibilidade, apoio e dedicação, que tornaram possível o desenvolvimento deste trabalho. Com sua ajuda, venci a etapa mais importante da minha vida.

Ao meu namorado, Daniel Serafin, por sempre acreditar em mim, apoiar, incentivar, pela companhia aos sábados no laboratório de informática, por me amparar nos momentos de angústia, acalmar quando o trabalho parecia impossível e a vida me tirava o chão, enfim, sou imensamente grata por você.

Agradeço às minhas amigas de longa data, Monique da Silva, Leisy Souza, Alana Baú, Marejane Camargo, Carine Zanin Lunardi, por todos os anos de parceria, pelo apoio, por estarem sempre presentes, enfim, pela amizade verdadeira. Agradeço também às amizades que fiz no decorrer da graduação: Paula Tansini, Marielem Spazzin, Augusto Felipe Chiella, Vinicius Felipe Chiella, Jéssica Balotin, Renan Sganzerla, Diogo Maffessoni e Rodrigo Balsan Damasio. Sem vocês a minha trajetória acadêmica não teria sido tão prazerosa e agradável.

*“Quando tudo parecer dar errado
em sua vida, lembre-se que o avião
decola contra o vento, e não a
favor dele.”*

Henry Ford

RESUMO

BRUN, Tainara. **Comparação entre lajes maciças e lajes nervuradas: análise econômica.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2018.

Atualmente, a indústria da construção civil vem sentindo a necessidade de técnicas inovadoras que possibilitem atender às necessidades arquitetônicas, como flexibilidade de *layout*, ambientes mais amplos, e estruturas mais esbeltas. Ao mesmo tempo, essas técnicas não podem tornar a estrutura inviável economicamente, proporcionando assim, o melhor custo-benefício. Assim, este trabalho tem por objetivo comparar um edifício de uso misto em concreto armado com estrutura de lajes maciças e de lajes nervuradas, com o auxílio do software Eberick V9, a fim de verificar a viabilidade econômica das duas técnicas construtivas, comparando-as quanto ao consumo de materiais e seu custo total. Para a estrutura analisada, um edifício de 13 pavimentos, verificou-se que a estrutura de lajes nervuradas onera o custo do sistema em 10%, tendo um consumo maior de concreto e aço, fazendo com que a solução com lajes maciças apresente o melhor custo-benefício.

Palavras-chave: Estruturas em concreto armado. Lajes nervuradas. Lajes maciças. Sistemas estruturais. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

BRUN, Tainara. **Comparison between massive slabs and ribbed slabs: economic analysis.** 2018. Graduation work (Graduation in Civil Engineering)– Universidade de Caxias do Sul, Área do Conhecimento de Ciências Exatas e Engenharias, Bento Gonçalves, 2018.

Currently, the construction industry has felt the need for innovative techniques to meet architectural needs, such as layout flexibility, wider environments, and slimmer structures. At the same time, these techniques can not make the structure economically unviable, thus providing the best cost-benefit. The objective of this work is to compare a mixed-use building in reinforced concrete with massive slab and ribbed slabs structure, with the help of Eberick V9 software, in order to verify the economic viability of the two constructive techniques, comparing them the consumption of materials and their total cost. For the analyzed structure, a 13-storey building, it was verified that the structure of ribbed slabs costs the system cost by 10%, having a higher consumption of concrete and steel, making the solution with massive slabs presents the best cost -benefit.

Keywords: Structures in reinforced concrete. Ribbed slabs. Solid slabs. Structural systems. Economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamentos básicos das estruturas de concreto armado.....	24
Figura 2 - Diagramas de tensão indicativos dos estádios de cálculo.....	24
Figura 3 - Imperfeições geométricas globais/desaprumo	31
Figura 4 - Vão livre e vão teórico.....	33
Figura 5 - Laje armada em duas direções	35
Figura 6 - Laje armada em uma direção	35
Figura 7 - Convenção de estilo de linha para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre.....	36
Figura 8 - Lajes nervuradas	42
Figura 9 - Laje nervurada armada em duas direções	45
Figura 10 - Corte e geometria da seção T.....	46
Figura 11 - Corte transversal com detalhamento de armaduras da laje nervurada.....	50
Figura 12 - Tipos de ganchos	51
Figura 13 - Vão efetivo.....	52
Figura 14 - Largura de mesa colaborante	54
Figura 15 - Localização da edificação objeto de estudo.....	62
Figura 16 - Perspectiva da edificação objeto de estudo.....	63
Figura 17 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação objeto de estudo	63
Figura 18 - Vista 3D da estrutura com lajes maciças	66
Figura 19 - Percentual de consumo de aço do sistema estrutural com lajes maciças.....	69
Figura 20 - Percentual de consumo de concreto do sistema estrutural com lajes maciças.....	70
Figura 21 - Percentual de consumo de fôrma do sistema estrutural com lajes maciças.....	70
Figura 22 - Vista 3D da estrutura com lajes nervuradas	72
Figura 23 - Percentual de consumo de aço para lajes nervuradas	74
Figura 24 - Percentual de consumo de concreto do sistema estrutural com lajes nervuradas ..	75
Figura 25 - Percentual de consumo de fôrma do sistema estrutural com lajes nervuradas	77
Figura 26 - Custo total percentual por materiais para o sistema estrutural com lajes maciças	82
Figura 27 - Custo total percentual por materiais para o sistema estrutural com lajes nervuradas	86
Figura 28 - Comparativo entre o consumo de concreto por elementos (m^3)	88
Figura 29 - Comparativo entre o consumo total de concreto (m^3)	89
Figura 30 - Comparativo entre o consumo de aço por elementos (kg).....	90

Figura 31 - Consumo de aço por bitola (kg).....	90
Figura 32 - Comparativo entre o consumo total de aço (kg)	91
Figura 33 - Comparativo entre o consumo de fôrma por elementos (m ²)	92
Figura 34 - Comparativo entre o consumo total de fôrma (m ²).....	92
Figura 35 - Comparativo de custo por material	93
Figura 36 - Comparativo entre os percentuais de custos por materiais para cada estrutura.....	94
Figura 37 - Comparativo de custo total das estruturas	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para tolerância de execução de 10 mm.....	20
Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e classe de resistência do concreto.....	21
Tabela 3 - Valores dos coeficientes γ_c e γ_s	23
Tabela 4 - Peso específico dos materiais de construção	27
Tabela 5 - Valores mínimos das cargas verticais	28
Tabela 6 - Taxas mínimas de armadura de flexão	40
Tabela 7 - Valores de ρ_w , mín (%) para aço CA-50	49
Tabela 8 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas.....	54
Tabela 9 - Valores do coeficiente adicional γ_n	56
Tabela 10 - Composição de custos de um serviço	60
Tabela 11 - Insumos da composição de um serviço	60
Tabela 12 - Relação de cargas verticais por área de cada pavimento para o sistema com lajes maciças	67
Tabela 13 - Estabilidade global do sistema estrutural com laje maciça	67
Tabela 14 - Consumo de aço por elementos do sistema estrutural com lajes maciças.....	68
Tabela 15 - Consumo de aço por bitola do sistema estrutural com lajes maciças.....	69
Tabela 16 - Consumo de concreto do sistema estrutural com lajes maciças.....	69
Tabela 17 - Área de fôrma do sistema estrutural com lajes maciças.....	70
Tabela 18 - Índices de consumo de materiais do sistema estrutural com lajes maciças.....	71
Tabela 19 - Relação de cargas verticais por área de cada pavimento para o sistema com lajes nervuradas.....	72
Tabela 20 - Estabilidade global do sistema estrutural com lajes nervuradas	73
Tabela 21 - Consumo de aço por elementos do sistema estrutural com lajes nervuradas	74
Tabela 22 - Consumo de aço por bitola do sistema estrutural com lajes nervuradas	74
Tabela 23 - Consumo de concreto do sistema estrutural com lajes nervuradas	75
Tabela 24 - Área de fôrma do sistema estrutural com lajes nervuradas	76
Tabela 25 - Quantitativos de cubetas para lajes nervuradas	76
Tabela 26 - Índices de consumo de materiais do sistema estrutural com lajes nervuradas	78
Tabela 27 - Orçamento do sistema estrutural com lajes maciças	79
Tabela 28 - Custo de locação de cubetas para lajes nervuradas	82
Tabela 29 - Orçamento do sistema estrutural com lajes nervuradas	83

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 DIRETRIZES DA PESQUISA	15
1.1.1 Questão de pesquisa	15
1.1.2 Objetivos da pesquisa.....	16
1.1.2.1 Objetivo principal	16
1.1.2.2 Objetivo específico	16
1.1.3 Hipótese	16
1.1.4 Pressuposto.....	16
1.1.5 Premissas / delimitações	17
1.1.6 Limitações	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 CONCRETO ARMADO.....	18
2.1.1 Características do concreto armado	18
2.1.2 Características dos materiais componentes do concreto armado	19
2.1.2.1 Aços.....	19
2.1.2.2 Cobrimento da armadura	20
2.1.2.3 Resistência do concreto	21
2.1.2.3.1 Resistência característica à compressão.....	21
2.1.2.3.2 Valores característicos das resistências	21
2.1.2.3.3 Valores de cálculo das resistências.....	22
2.1.2.3.4 Tensões resistentes de cálculo.....	22
2.1.2.3.5 Resistência de cálculo do concreto	22
2.1.2.3.6 Coeficientes de ponderação das resistências	23
2.1.2.4 Módulo de elasticidade do concreto e estado limite último (ELU).....	23
2.1.2.5 Estado limite de serviço (ELS).....	25
2.2 SOLICITAÇÕES.....	26
2.2.1 Ações verticais.....	26
2.2.1.1 Ações permanentes	26
2.2.1.2 Ações variáveis.....	28
2.2.1.3 Ações excepcionais.....	30
2.2.2 Ações horizontais	30

2.3 SISTEMA CONSTRUTIVO	32
2.3.1 Lajes de concreto armado	32
2.3.1.1 Vãos teóricos	33
2.3.1.2 Classificações das lajes.....	34
2.3.1.2.1 Lajes classificadas de acordo com sua natureza	34
2.3.1.2.2 Lajes classificadas de acordo com a armadura	34
2.3.1.2.3 Lajes classificadas de acordo com o tipo de apoio	35
2.3.1.3 Métodos de dimensionamento	36
2.3.2 Lajes maciças	37
2.3.2.1 Dimensionamento de lajes maciças	38
2.3.2.1.1 Dimensionamento à flexão	38
2.3.2.1.2 Dimensionamento ao cisalhamento.....	41
2.3.3 Lajes nervuradas	42
2.3.3.1 Dimensionamento de lajes nervuradas	44
2.3.4 Vigas de concreto armado.....	51
2.3.4.1 Vãos teóricos	51
2.3.4.2 Dimensionamento.....	52
2.3.4.3 Largura colaborante de vigas de seção T.....	53
2.3.4.4 Armaduras mínimas e máximas	54
2.3.5 Pilares de concreto armado	55
2.3.5.1 Dimensões mínimas dos pilares	56
2.3.5.2 Armaduras mínimas e máximas em pilares.....	56
2.3.5.3 Classificação dos pilares quanto à posição em planta	57
2.3.5.3.1 Pilares centrais ou intermediários	57
2.3.5.3.2 Pilares laterais ou de extremidade.....	57
2.3.5.3.3 Pilares de canto.....	57
2.4 ORÇAMENTAÇÃO	58
2.4.1 Estimativa de custo.....	59
2.4.1.1 Custo Unitário Básico (CUB).....	59
2.4.2 Orçamento preliminar	59
2.4.3 Orçamento analítico ou detalhado	59
 3 METODOLOGIA.....	 61
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	61

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....	61
3.2.1 Procedimento de coleta e interpretação de dados.....	61
3.2.2 Estudo de caso.....	62
3.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO.....	63
3.4 ORÇAMENTAÇÃO	64
3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4 CONCEPÇÃO E RESULTADOS.....	65
4.1 PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO	65
4.2 SISTEMA ESTRUTURAL COM LAJES MACIÇAS	66
4.2.1 Resultados	68
4.3 SISTEMA ESTRUTURAL COM LAJES NERVURADAS	71
4.3.1 Resultados	73
5 ORÇAMENTAÇÃO.....	79
5.1 ORÇAMENTAÇÃO DO SISTEMA COM LAJES MACIÇAS.....	79
5.2 ORÇAMENTAÇÃO DO SISTEMA COM LAJES NERVURADAS	82
6 ANÁLISE DOS RESULTADOS	87
6.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONSUMO DE MATERIAIS.....	87
6.1.1 Concreto	87
6.1.1.1 Lajes	87
6.1.1.2 Vigas.....	87
6.1.1.3 Pilares	88
6.1.2 Aço	89
6.1.2.1 Lajes	89
6.1.2.2 Vigas.....	89
6.1.2.3 Pilares	90
6.1.3 Fôrma.....	91
6.1.3.1 Lajes	91
6.1.3.2 Vigas.....	91
6.1.3.3 Pilares	92
6.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTOS	93
6.2.1 Comparação entre custos por materiais.....	93

6.2.2 Comparação entre o custo global.....	94
7 CONCLUSÃO.....	95
REFERÊNCIAS	96
ANEXO A	100
ANEXO B	102
APÊNDICE A	108
APÊNDICE B	110
APÊNDICE C	114
APÊNDICE D	116
APÊNDICE E	120

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura dos dias atuais tem exigido vãos cada vez maiores, isso devido a maior flexibilidade arquitetônica que isso possibilita, além de estruturas progressivamente mais altas. Desta forma, cada vez mais vem sendo necessário o emprego de novas técnicas construtivas, além de novas tecnologias para possibilitar materiais com resistências maiores.

Segundo Araújo (2010, v. 2), as edificações concebidas com lajes maciças são predominantemente residenciais, onde os vãos são menores. Uma alternativa a este modelo estrutural é a laje nervurada, que consegue vencer grandes vãos, superiores a 8 m, devido à eliminação do concreto abaixo da linha neutra, levando a uma redução de seu peso próprio e um melhor aproveitamento do concreto e do aço na estrutura.

Segundo Albuquerque (1999), a estrutura de uma edificação corresponde de 15% a 20% do custo total da construção, sendo a etapa de maior representatividade neste sentido. Desta forma, estudos para determinar qual solução estrutural melhor se aplica para cada caso acarreta em uma economia considerável no custo total da construção, sendo diretamente dependente da arquitetura – dimensão dos vãos, altura e área a ser construída, necessidades do cliente, mão de obra que será empregada, além do cronograma da obra. Esse conjunto de informações é o que vai direcionar o engenheiro responsável para a escolha que melhor se aplica.

Neste trabalho será feita uma análise entre as diferenças que a escolha de lajes maciças ou lajes nervuradas irão implicar no dimensionamento estrutural de um edifício de uso misto em concreto armado, com suas respectivas avaliações financeiras.

1.1 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para pesquisa do presente trabalho seguem apresentadas nos itens abaixo.

1.1.1 Questão de pesquisa

A utilização de lajes nervuradas em comparação com lajes maciças implica em economia na estrutura de um edifício de uso misto em concreto armado?

1.1.2 Objetivos da pesquisa

Os objetivos da pesquisa estão divididos em principal e específico, conforme os itens que segue.

1.1.2.1 Objetivo principal

Analisar as diferenças que a escolha de lajes maciças ou lajes nervuradas irão implicar no custo da estrutura de um edifício de uso misto em concreto armado.

1.1.2.2 Objetivo específico

Os objetivos específicos deste trabalho estão apresentados abaixo:

- a) dimensionar a estrutura para cada uma das duas situações de cálculo – com laje maciça e com laje nervurada, utilizando o *software* Eberick;
- b) comparar os quantitativos obtidos nos dois modelos de projeto estrutural;
- c) orçar os materiais e mão de obra necessários para a execução de cada um dos dois modelos estruturais, utilizando as tabelas do SINAPI, fornecidas pela Caixa e IBGE;
- d) determinar qual opção é mais viável financeiramente.

1.1.3 Hipótese

A utilização de lajes nervuradas implica em uma maior eficiência econômica na estrutura de um edifício de uso misto em concreto armado, quando em comparação com lajes maciças.

1.1.4 Pressuposto

O presente trabalho tem por pressuposto que:

- a) o dimensionamento estrutural utilizando o *software* Eberick apresenta resultados confiáveis, levando em conta as diretrizes regidas pelas Normas Brasileiras cabíveis;

- b) a orçamentação dos materiais e mão de obra necessários para a execução de cada um dos dois modelos estruturais utilizando as tabelas do SINAPI apresentam resultados confiáveis.

1.1.5 Premissas / delimitações

O projeto consiste em uma edificação mista de 13 pavimentos, tendo três subsolos de garagem, térreo com 4 salas comerciais, mezanino com academia e salão de festas para os moradores, e o restante são pavimentos tipo com 6 apartamentos cada. A área total construída da edificação é 4.811,47 m².

Nesta pesquisa não serão apresentadas todas as pranchas pertinentes ao projeto estrutural, será apresentado apenas referente ao pavimento tipo a planta de fôrmas, e exemplos de detalhamento das armaduras de lajes, vigas e pilares.

Do projeto arquitetônico será apresentado apenas a planta baixa do pavimento tipo.

No sistema estrutural com lajes nervuradas, algumas lajes que possuíam dimensões reduzidas foram concebidas como maciças.

Não foi considerada junta de dilatação nas estruturas.

1.1.6 Limitações

O trabalho limita-se ao dimensionamento da superestrutura, ou seja, de vigas e pilares de concreto armado, e de lajes maciças e nervuradas. As fundações não serão dimensionadas pois não foi possível acessar a sondagem do terreno.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo consiste na abordagem de considerações relevantes para este trabalho, como concreto armado, solicitações da estrutura, elementos do sistema construtivo, como lajes maciças e nervuradas, vigas e pilares, além da orçamentação de uma obra.

2.1 CONCRETO ARMADO

“O concreto armado surgiu em meados do século XIX com o advento da Revolução Industrial, que trouxe à luz o cimento Portland e o aço laminado.” (FUSCO, 2012, p. 13). Esta solução surgiu da necessidade de um material que, simultaneamente, fosse capaz de resistir aos esforços de compressão – cujo concreto tem grande resistência – e de tração – cujo aço tem grande resistência, e que apresentasse uma boa durabilidade. Desde então, as tecnologias de concreto estrutural só têm avançado, sendo este o material construtivo mais empregado nos dias atuais.

Para Fusco (1976, p.5), “A solidariedade entre a armadura e o concreto é o que caracteriza a existência do concreto armado.” O conjunto de concreto e armadura deve ter aderência de forma que resista às tensões de cisalhamento que irão agir no mesmo, para que assim, a estrutura comporte-se como uma só.

2.1.1 Características do concreto armado

De modo geral, as características mais significativas do concreto armado, segundo Fusco (2012) e Bastos (2006), são as seguintes:

- a) economia: os agregados gráúdo e miúdo utilizados no concreto são possíveis de serem obtidos de jazidas próximas dos locais das obras, assim, seus custos são barateados. Estruturas de concreto armado são mais baratas do que estruturas metálicas, e além disso, esse material necessita de equipamentos simples para preparo, transporte, adensamento e vibração, conseqüentemente, não exige mão de obra muito qualificada – tornando-a mais barata;
- b) resistência a agressões químicas do ambiente e durabilidade: o concreto é um material durável em virtude de suas propriedades físico-químicas, assemelhando-se às rochas naturais apesar de sua porosidade – existindo técnicas para diminuir esta porosidade ou até mesmo torná-lo impermeável. As agressões dos sulfatos ao

concreto e dos cloretos aos aços, além do ataque da poluição ambiental, devem ser estudadas conforme cada situação para se empregar o melhor método construtivo, o cimento e cobrimento de armadura adequados, e até mesmo aditivos químicos que sejam capazes de resistir a essas agressões;

- c) resistência a agressões físicas do ambiente: as estruturas de concreto armado têm maior resistência a choques, vibrações, desgaste mecânico, e até mesmo ao fogo em comparação com outras técnicas construtivas, como o aço;
- d) adaptabilidade de formas e utilizações: o concreto armado tem a vantagem de ser adaptável a qualquer forma construtiva. É um material estrutural que pode ser utilizado em toda a construção civil, como edificações, obras de saneamento, estações de tratamento de água, sistemas de esgotos, barragens, usinas hidrelétricas, prédios, pontes, viadutos e mais;
- e) peso próprio elevado: o concreto armado tem um peso específico de 25 kN/m^3 ;
- f) dificuldade para reformas: reformar estruturas de concreto armado é oneroso, além de causar vários transtornos em função do entulho e da sujeira. Em caso de reformas para mudança de *layout* e com isso demolição de elementos, faz-se necessário estudar a estrutura existente e recalculá-la, para verificar se a demolição é possível ou então, quais os reforços estruturais que deverão ser executados;
- g) coeficiente de dilatação: o coeficiente de dilatação do concreto varia entre $(0,9 \text{ a } 1,4) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, e do aço é de $1,2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, portanto, pouca diferença. Isso significa uma boa aderência entre os dois materiais, que se deformam junto.

2.1.2 Características dos materiais componentes do concreto armado

Como já mencionado, o concreto armado é composto de concreto e barras de aço. Esses materiais apresentam algumas características próprias, conforme trataremos nos itens a seguir.

2.1.2.1 Aços

O aço é uma liga metálica composta de ferro e carbono, muito utilizada na construção civil devido às suas propriedades de resistência e ductilidade. Segundo a NBR 7480:2007, existem 3 categorias de aços destinados a armaduras para concreto armado, o CA-25, CA-50 e

CA-60. Esses são caracterizados por apresentarem resistência característica ao escoamento (f_y) de 250 MPa, 500 MPa e 600 MPa, respectivamente. Essa resistência ao escoamento, de acordo com Rossatto (2015), pode ser explicada seguindo a Lei de Hooke que diz que o aço quando exposto a tração, a tensão solicitada e a deformação do material aumentam proporcionalmente, sendo essa sua fase elástica, até ele não responder mais proporcionalmente, ocorrendo deformações crescentes sem variação de tensão, sendo essa a fase plástica. Esse limite onde ocorrem deformações crescentes com tensão constante é o limite de escoamento, e é calculado dividindo-se a carga máxima suportada – antes de escoar – pela área da seção transversal inicial.

2.1.2.2 Cobrimento da armadura

Segundo a NBR 6118:2014, o cobrimento da armadura é dependente da classe de agressividade ambiental. A classe de agressividade I é fraca, com risco de deterioração estrutural insignificante, e se aplica a ambientes rurais ou submersos. A classe de agressividade II é moderada, com risco de deterioração estrutural pequeno, e se aplica a ambientes urbanos. A classe de agressividade III é forte, com grande risco de deterioração estrutural, e se aplica a ambientes marinhos ou industriais. A classe de agressividade IV é muito forte, com risco de deterioração estrutural elevado, e se aplica a ambientes industriais quimicamente agressivos ou sujeitos a respingos de maré.

Para garantir os cobrimentos mínimos dos elementos estruturais, a NBR 6118:2014 determina que o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}) acrescido de uma tolerância de execução (Δc), que para obras correntes é de 10 mm. Os cobrimentos nominais para elementos estruturais em concreto armado estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para tolerância de execução de 10 mm

Elemento estrutural	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

2.1.2.3 Resistência do concreto

Segundo a NBR 6118:2014 (p. 72) as resistências devem ser maiores que as solicitações, e “devem ser verificadas em relação a todos os estados limites e todos os carregamentos especificados para o tipo de construção considerado”.

2.1.2.3.1 Resistência característica à compressão

A NBR 6118:2014 diz que as estruturas de concreto armado devem ser projetadas e construídas com concreto de classe igual ou superior a C20. A classe C15 fica reservada apenas à fundações e obras provisórias. A classe C15 reserva-se para concretos com resistência característica a compressão (f_{ck}) de 15 MPa, enquanto que a classe C20 para concretos com f_{ck} de 20 MPa.

Ainda de acordo com a NBR 6118:2014 e a NBR 8953:2015, a escolha da resistência característica a compressão do concreto também é relacionada com a classe de agressividade ambiental, visando a durabilidade dos elementos, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade e classe de resistência do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

Nota:

(1) CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

(2) CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

2.1.2.3.2 Valores característicos das resistências

Os valores característicos das resistências (f_k) segundo a NBR 6118:2014, são os que, em um determinado lote de material, apresentam alguma probabilidade de serem ultrapassados, no sentido menos favorável para a segurança.

2.1.2.3.3 Valores de cálculo das resistências

Pelo determinado pela NBR 6118:2014, a resistência de cálculo (f_d) é calculada pela Equação 2.1, através dos valores característicos das resistências.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (2.1)$$

Onde:

f_k = valores característicos das resistências;

γ_m = coeficiente de ponderação das resistências.

2.1.2.3.4 Tensões resistentes de cálculo

Segundo a NBR 6118:2014, as tensões resistentes de cálculo normal (σ_{Rd}) e de cisalhamento (τ_{Rd}) são parâmetros para determinação das solicitações resistentes de cálculo, que independem diretamente das resistências medidas em ensaios de corpos-de-prova padronizados dos materiais empregados. Estas tensões são determinadas segundo teorias de resistência dos elementos estruturais considerados.

2.1.2.3.5 Resistência de cálculo do concreto

A resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) pode ser determinada de duas maneiras de acordo com a data em que será feita a verificação, a partir de feito o concreto, segundo a NBR 6118:2014. Para concretos verificados em 28 dias ou mais, a resistência de cálculo se dá pela Equação 2.2; e quando a verificação se dá em menos de 28 dias, adota-se a Equação 2.3.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.2)$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \quad (2.3)$$

Onde:

f_{ck} = resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias;

f_{ckj} = resistência característica à compressão do concreto aos x dias em que foi verificado;

γ_c = coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

2.1.2.3.6 Coeficientes de ponderação das resistências

Segundo a NBR 6118:2014, as resistências devem ser minoradas no estado limite último pelos coeficientes apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores dos coeficientes γ_c e γ_s

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

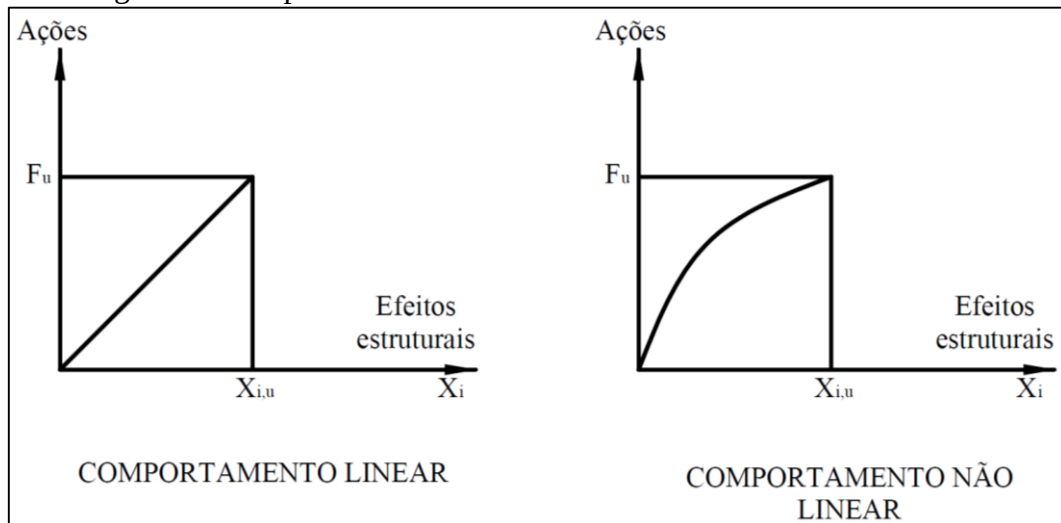
Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2004), para calcular a resistência de cálculo do concreto (f_{cd}) no estado limite último para obras normais em geral pode-se usar um coeficiente de ponderação $\gamma_c = 1,4$, e para calcular a resistência de cálculo do aço (f_{yd}) sob as mesmas condições pode-se usar um coeficiente de ponderação $\gamma_s = 1,15$.

2.1.2.4 Módulo de elasticidade do concreto e estado limite último (ELU)

Segundo Fusco (1976, p. 121), “Sob a ação de uma sollicitação qualquer, os corpos se deformam, isto é, mudam de forma. Se a remoção da causa que produziu a sollicitação do corpo corresponde à recuperação da forma original do mesmo, o material deste corpo é elástico.”

Fusco (1976) ainda diz que as estruturas de concreto apresentam dois comportamentos básicos, o linear e o não linear, ilustrados na Figura 1.

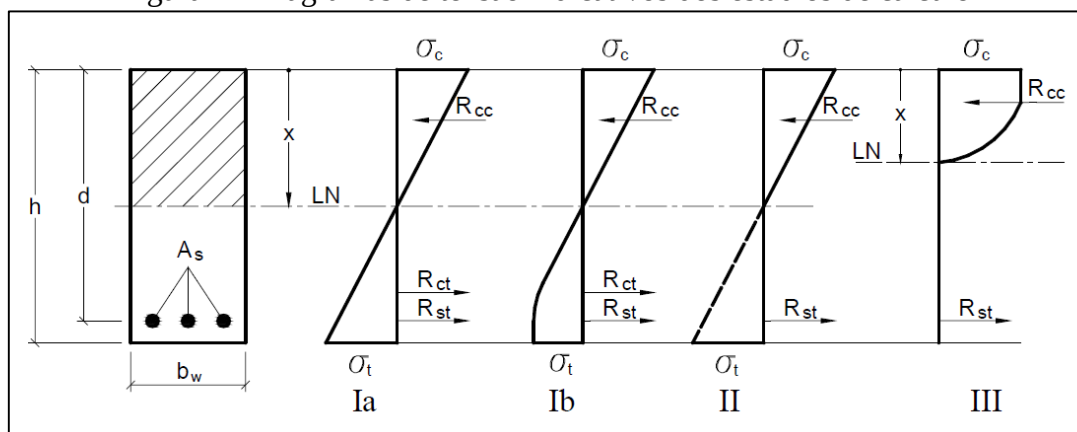
Figura 1 - Comportamentos básicos das estruturas de concreto armado



Fonte: adaptado de Fusco (1976).

Nas estruturas, o esgotamento da sua capacidade resistente caracteriza o estado limite último (ELU), que pode ser associado a uma fase de seu comportamento. Para as verificações de segurança das estruturas, considera-se que o esgotamento da capacidade resistente pode ocorrer pela ruptura do concreto ou pela excessiva deformação da armadura tracionada. Por isto, foram definidos comportamentos de estádios I, II e III, como os vários estágios de tensão pelo qual um elemento fletido passa, desde o carregamento inicial até a ruptura, conforme representados na Figura 2.

Figura 2 - Diagramas de tensão indicativos dos estádios de cálculo



Fonte: Bastos (2006).

De acordo com Fusco (1976) e Bastos (2006), no estágio Ia, a estrutura está submetida a um carregamento externo pequeno, portanto é admitido que as tensões são distribuídas de forma linear ao longo da seção. O concreto tracionado está no estado não fissurado.

Aumentando o carregamento externo, as tensões de tração perdem a linearidade, deixando de serem proporcionais às deformações. Já as tensões de compressão continuam se comportando de forma linear. A um certo valor do carregamento as tensões de tração superam a resistência do concreto à tração, iniciando o aparecimento de fissura. Este momento corresponde ao estágio Ib.

Segundo Fusco (1976) “No estágio II é admitida a linearidade física do aço e do concreto comprimido, considerando-se o concreto tracionado como totalmente fissurado.” Neste estado as tensões tanto de tração quanto compressão aumentam; a armadura é tracionada de forma a igualar ou superar a tensão de início de escoamento, e o concreto está comprimido de modo a estar na iminência de sua ruptura.

O estágio 3 é o estado limite último de ruptura do concreto, é quando ocorre a ruptura do concreto comprimido.

2.1.2.5 Estado limite de serviço (ELS)

Segundo o prescrito na NBR 6118:2014 (p. 55), “Estados-limites de serviço são aqueles 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.” Quando uma estrutura alcança um Estado Limite de Serviço, de acordo com Bastos (2006), mesmo que sua capacidade resistente não tenha se esgotado e que esta não tenha alcançado a ruína, ela não pode mais ser utilizada por não mais oferecer condições de conforto e durabilidade.

A NBR 6118:2014 aborda 7 estados limites, conforme segue:

- a) estado limite de formação de fissuras (ELS-F): estado em que se inicia a formação de fissuras. Tem-se que este limite é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a resistência a tração na flexão do concreto;
- b) estado limite de abertura de fissuras (ELS-W): estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos permitidos;
- c) estado limite de deformação excessiva (ELS-DEF): estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a sua utilização normal;
- d) estado limite de descompressão (ELS-D): estado no qual em um ou mais pontos da seção transversal a tensão normal é nula, não havendo tração no restante da seção. Este é usualmente verificado em concreto protendido;

- e) estado limite de descompressão parcial (ELS-DP): estado no qual garante-se a compressão na seção transversal, na região onde existem armaduras ativas. Este é usualmente verificado em concreto protendido;
- f) estado limite de compressão excessiva (ELS-CE): estado em que as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido. Este é usualmente verificado na aplicação da protensão do concreto;
- g) estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE): estado em que as vibrações atingem, os limites estabelecidos para a utilização normal da construção.

2.2 SOLICITAÇÕES

Um sistema estrutural está sujeito a variáveis externas e internas. As variáveis externas, de acordo com Fusco (1976), determinam o estado de utilização, quantificando as ações atuantes como peso próprio, cargas permanentes e variáveis, os recalques de apoio, e ações do vento.

Já as variáveis internas determinam o estado de desempenho, medindo efeitos como tensões, esforços solicitantes, deformações, deslocamentos, aberturas de fissuras etc.

2.2.1 Ações verticais

De acordo com a NBR 8681:2004, as ações verticais são classificadas segundo sua variabilidade no tempo em três categorias: ações permanentes, variáveis e excepcionais.

2.2.1.1 Ações permanentes

As ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção, podendo ser diretas ou indiretas, conforme descrições abaixo:

- a) ações permanentes diretas: conforme a NBR 8681:2004 (p. 3):

Ações permanentes diretas são os pesos próprios dos elementos de construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas.

A NBR 6120:1980 determina o peso específico dos materiais de construção, para parâmetros do peso próprio da estrutura. Estas determinações estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 - Peso específico dos materiais de construção

Materiais		Peso específico aparente (kN/m³)
1 Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e calcáreo	28
2 Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos sílico-calcáreos	20
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 Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriuva, ipê róseo	10
5 Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
6 Materiais diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Fonte: adaptado da NBR 6120:1980.

- b) ações permanentes indiretas: conforme a NBR 8681:2004 (p. 3) “As ações permanentes indiretas são a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.”

2.2.1.2 Ações variáveis

Conforme a NBR 8681:2004 (p. 3):

Ações variáveis são as cargas acidentais das construções, bem como efeitos, tais como forças de frenagem, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio, e, em geral, as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas.

Estas ações podem ocorrer a qualquer momento da vida útil das construções, e nem sempre podem ser previstas. Dessa forma, podemos classificá-las como normais ou especiais:

- a) ações variáveis normais: estas tem probabilidade de ocorrência grande o suficiente para serem previstas e obrigatoriamente consideradas no projeto estrutural. A NBR 6120:1980 determina as cargas acidentais mínimas que devem ser consideradas no projeto estrutural, de acordo com o uso e local. Estas determinações podem ser encontradas na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores mínimos das cargas verticais

(continua)

Local		Carga (kN/m ²)
1 Arquibancadas		4
2 Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam e as previstas em 2.2.1.5	-
3 Bancos	Escritórios e banheiros	2
	Salas de diretoria e de gerência	1,5
4 Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
	Sala para depósito de livros	4
	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	6
	(incluindo o peso das máquinas) a ser determinada em cada caso, porém com o valor mínimo de	7,5
5 Casas de máquinas		

(continuação)

Local		Carga (kN/m²)
6 Cinemas	Plateia com assentos fixos	3
	Estúdio e plateia com assentos móveis	4
	Banheiro	2
7 Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos	3
	Sala de assembleia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2
8 Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
9 Cozinhas não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
10 Depósitos	A ser determinada em cada caso, e na falta de valores experimentais conforme o indicado em 2.2.1.3	-
11 Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço, e lavanderia	2
12 Escadas	Com acesso ao público (ver 2.2.1.7)	3
	Sem acesso ao público (ver 2.2.1.7)	2,5
13 Escolas	Anfiteatro com assentos fixos	
	Corredor e sala de aula	3
	Outras salas	2
14 Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
15 Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
16 Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
17 Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
18 Garagens e estacionamentos	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo. Valores de Φ indicados em 2.2.1.6	3
19 Ginásios de esportes		5
20 Hospitais	Dormitórios, enfermarias, salas de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro	2
	Corredor	3

		(conclusão)
Local		Carga (kN/m²)
21 Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinado em cada caso, porém com o mínimo de	3
22 Lavanderias	Incluindo equipamentos	3
23 Lojas		4
24 Restaurantes		3
25 Teatros	Palco	5
	Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas	-
26 Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5
	Destinados a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica	-
27 Vestíbulo	Sem acesso ao público	1,5
	Com acesso ao público	3

Fonte: adaptado da NBR 6120:1980.

- b) ações variáveis especiais: são certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, nas estruturas cuja localização/classificação fazem com que estas devam ser consideradas.

2.2.1.3 Ações excepcionais

A NBR 8681:2004 considera como excepcionais ações como choques de veículos, incêndios, explosões, enchentes ou sismos excepcionais. São ações cuja duração é sempre curta, e sua probabilidade de ocorrência muito pequena.

2.2.2 Ações horizontais

São consideradas ações horizontais as ações do vento, sismos e desaprumo do edifício. As ações do vento são causadas pelas forças aplicadas do vento, que tem direção, sentido e velocidade. Conforme NBR 6123:1988, as velocidades características são dependentes de 3 fatores: o primeiro é o topográfico, que leva em consideração as variações do relevo do terreno;

o segundo leva em consideração a rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre ele; e o terceiro é o fator estatístico, que considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação.

De acordo com a NBR 6118:2014 as ações de vento e desaprumo devem ser consideradas de acordo com os seguintes critérios:

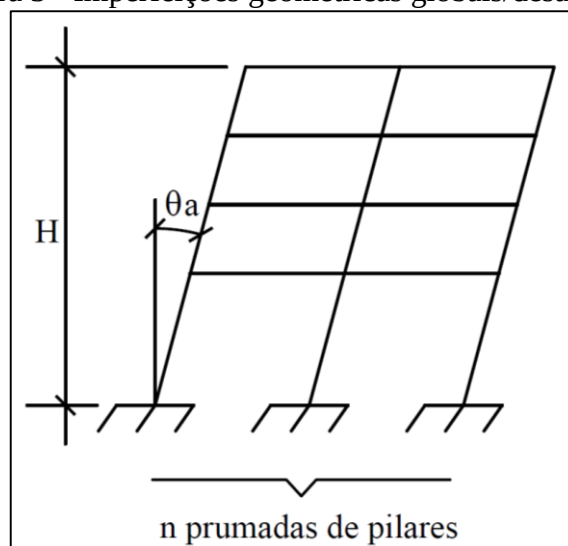
a) considera-se somente a ação do vento quando 30% da ação do vento for maior que a ação do desaprumo;

b) quando a ação do vento for inferior a 30% da ação do desaprumo, considera-se somente a ação do desaprumo, respeitando que para estruturas reticuladas e imperfeições locais o $\theta_{1\text{mín}} = 1/300$;

c) para os demais casos, as ações de vento e desaprumo são combinadas, sem ser necessário considerar $\theta_{1\text{mín}}$. Desta forma, admite-se considerar ambas as ações atuando na mesma direção e sentido, como que equivalentes a uma ação do vento, portanto, com carga variável, artificialmente amplificada para cobrir a superposição.

O cálculo do desaprumo é feito conforme a Figura 3, e as Equações 2.4 e 2.5 fornecidas pela NBR 6118:2014. A norma diz ainda que a comparação entre a ação do vento e do desaprumo pode ser feita com os momentos totais na base da construção e em cada direção e sentido da aplicação da ação do vento, com desaprumo calculado com θ_a , sem a consideração do $\theta_{1\text{mín}}$.

Figura 3 - Imperfeições geométricas globais/desaprumo



Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

$$\theta_1 = \frac{1}{100 * \sqrt{H}} \quad (2.4)$$

$$\theta_a = \theta_1 * \sqrt{\frac{1 + 1/n}{2}} \quad (2.5)$$

Onde:

$\theta_{1 \text{ mín}} = 1/300$ para estruturas reticuladas e imperfeições locais;

$\theta_{1 \text{ máx}} = 1/200$;

H = altura total da edificação (m);

n = número de prumadas de pilares no pórtico plano.

Quanto ao sismo, como citado anteriormente, é considerado como ação vertical e horizontal. Isso porque, segundo a NBR 15421:2006, nos casos em que se aplica, a edificação deve possuir um sistema estrutural capaz de fornecer rigidez, resistência e capacidade de dissipação de energia relativamente às ações sísmicas, no sentido vertical e em duas direções ortogonais horizontais, inclusive com um mecanismo de resistência a esforços de torção. As ações sísmicas horizontais podem atuar em qualquer direção de uma estrutura.

2.3 SISTEMA CONSTRUTIVO

Para Carvalho e Pinheiro (2009), alguns parâmetros devem ser considerados ao fazer a escolha do sistema estrutural mais adequado, tal como finalidade da edificação, cargas de utilização, projeto arquitetônico, tamanho dos vãos a vencer, disponibilidade de materiais, mão de obra e equipamentos, e custos.

Um sistema construtivo é caracterizado pelos materiais empregados em sua construção. Pode ser em aço, alvenaria estrutural, madeira, etc. Neste estudo, o sistema construtivo será em concreto armado. Trataremos individualmente dos elementos estruturais conforme itens seguintes.

2.3.1 Lajes de concreto armado

Segundo Cunha e Souza (1998) e Bastos (2015), lajes são elementos estruturais bidimensionais planos, geralmente horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira (espessura). As cargas das lajes são geralmente perpendiculares ao seu plano, constituídas pelo seu peso próprio, pela carga das alvenarias e dos revestimentos que nela se

encontrarem, e pelas ações acidentais, que são provenientes do uso da construção (pessoas, móveis e equipamentos), e sua função é transferir estes esforços para os apoios, que são as vigas.

As lajes possuem um papel importante na rigidez da estrutura frente às ações horizontais, comportando-se como diafragmas rígidos ou chapas, compatibilizando o deslocamento dos pilares em cada piso, ou seja, agindo no contraventamento. “A definição do tipo de laje a ser utilizado depende de considerações econômicas e de segurança, sendo uma função do projeto arquitetônico em análise.” (ARAÚJO, 2010, p. 2).

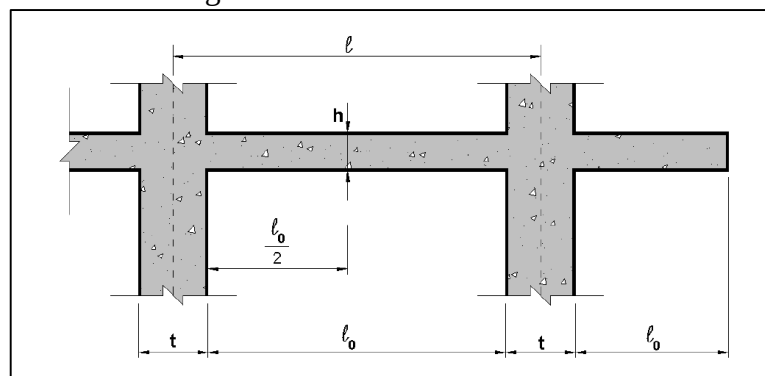
A NBR 6118:2014 define placas como “elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes. Placas com espessura maior que 1/3 do vão devem ser estudadas como placas espessas.”

2.3.1.1 Vãos teóricos

Para iniciar o cálculo de lajes, primeiro deve-se determinar o vão livre (l_0) e o vão teórico ou vão de cálculo (l), de acordo com a NBR 6118:2014.

O vão livre é a distância livre entre as faces dos apoios, e no caso de lajes em balanço é a distância entre a extremidade livre e a face do apoio. O vão livre está esquematizado na Figura 4.

Figura 4 - Vão livre e vão teórico



Fonte: Pinheiro, Muzardo e Santos (2003).

O vão teórico é a distância entre o centro dos apoios. Segundo a NBR 6118:2014, não é necessário adotar valores maiores que:

- em laje isolada: o vão acrescido de 60% da espessura da laje;
- em laje contínua: o vão livre acrescido de 60% da espessura da laje no painel considerado.

2.3.1.2 Classificações das lajes

As lajes em concreto armado podem ser classificadas quanto à sua forma (retangulares, quadradas, triangulares, circulares, etc.), quanto à sua natureza (maciças, nervuradas, pré-fabricadas, etc.), quanto ao tipo de apoio (engaste, apoio simples ou bordo livre) e quanto ao tipo de armação (em uma ou em duas direções).

2.3.1.2.1 Lajes classificadas de acordo com sua natureza

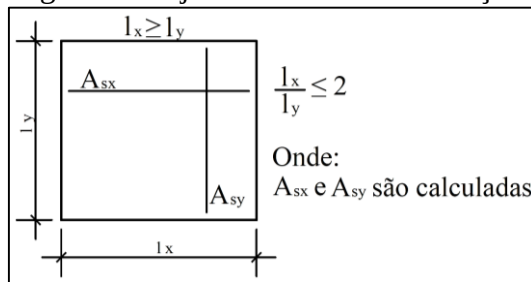
- a) lajes maciças: segundo a NBR 6118:2014 são lajes compostas de concreto e barras de aço, com espessuras que variam de acordo com as cargas que atuarão sobre ela. Este tipo de laje será empregado neste estudo, portanto, volta-se a falar dela no item 2.3.2;
- b) lajes nervuradas: segundo a NBR 6118:2014 (p. 97) lajes nervuradas são "lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte." Esse tipo de laje também será empregado neste estudo, portanto, voltaremos a falar dela no item 2.3.3;
- c) lajes pré-fabricadas: "são lajes que têm suas partes constituintes fabricadas em escala industrial no canteiro de uma fábrica. Pode ser de concreto armado ou de concreto protendido" (BASTOS, 2015, p. 75).

2.3.1.2.2 Lajes classificadas de acordo com a armadura

- a) laje de concreto armado em duas direções: segundo Araújo (2010), neste tipo de laje a relação entre os vãos maior e menor é igual ou inferior a 2. Desta forma, os momentos fletores nas duas direções devem ser calculados, pois ambos são relevantes, e o dimensionamento e a armação devem acontecer para as duas direções.

Modelo de armadura esquematizado na Figura 5.

Figura 5 - Laje armada em duas direções

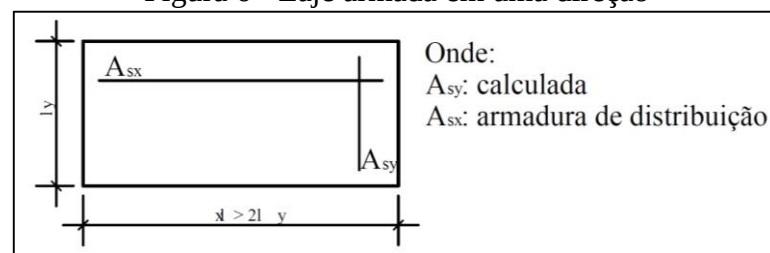


Fonte: adaptado de Araújo (2010).

- b) laje de concreto armado em uma direção: segundo Araújo (2010), neste tipo de laje a relação entre os vãos maior e menor é superior a 2. Desta forma, o momento fletor na direção do maior vão é pequeno e não é relevante para cálculo, bastando adotar para este sentido uma armadura de distribuição.

Modelo de armadura esquematizado na Figura 6.

Figura 6 - Laje armada em uma direção



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

2.3.1.2.3 Lajes classificadas de acordo com o tipo de apoio

Para o cálculo das deformações e dos esforços solicitantes nas lajes devem-se estabelecer os vínculos das mesmas com os seus apoios. Para Fusco (1976), as lajes apoiadas em vigas deveriam ser consideradas sobre apoios elásticos, já que as vigas também se deformam sob a ação do carregamento externo. Entretanto, para simplificar os cálculos e o projeto, considera-se que estes apoios não sofrem deslocamentos verticais.

Para os cálculos sem utilização de programas computacionais, faz-se uso de algumas tabelas admitidas segundo as condições de contorno usuais da Teoria das Placas, que consideram apenas três tipos possíveis de apoio: o engaste perfeito, apoio simples, ou bordo livre para lajes em balanço. Estas situações são possíveis admitindo-se que: nos bordos internos, quando há continuidade com lajes vizinhas, existe um engastamento perfeito; e que nos bordos externos, ou mesmo nos internos quando se tratar de lajes rebaixadas, existe a condição de apoio simples.

Quando da utilização de programas computacionais é possível considerar também o engaste elástico, que é o mais próximo da realidade. A condição de apoio simples ou engaste perfeito é uma idealização teórica que raramente ocorre na realidade.

Para facilitar a representação de apoio, adota-se a convenção utilizada na Figura 7.

Figura 7 - Convenção de estilo de linha para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre

Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
		

Fonte: Bastos (2015).

2.3.1.3 Métodos de dimensionamento

Conforme Araújo (2010), diversos métodos de cálculo são disponíveis na bibliografia, podendo-se citar os seguintes:

a) teoria das grelhas: método simplificado em que admite-se que o material da laje tem comportamento elástico linear;

b) teoria das linhas de ruptura: neste caso, considera-se que o material da laje tem comportamento rígido-plástico, onde o equilíbrio é garantido pela aplicação do princípio dos trabalhos virtuais, desprezando a contribuição das deformações elásticas;

c) teoria de flexão de placas: teoria “clássica” dos princípios da teoria da elasticidade, onde o comportamento do material é elástico linear. A solução do problema é obtida resolvendo-se uma equação diferencial de quarta ordem, juntamente com as condições de contorno;

d) analogia da grelha equivalente: dentre os métodos numéricos para análise de lajes de concreto armado, este é um dos mais utilizados, implementado em diversos *softwares* comerciais. Este método tem aplicabilidade para lajes poligonais de diversas formas, até mesmo para as vigas de apoio. Ele considera a laje associada a uma grelha equivalente, a qual é analisada com um programa baseado no método da rigidez;

e) método das diferenças finitas: neste método, considera-se que o material da laje tem comportamento elástico linear, porém é possível incluir a não linearidade física em sua análise. Este método foi bastante utilizado no passado, porém vem caído no desuso devido à dificuldade de generalização das condições de contorno e de carregamento;

f) método dos elementos finitos: método numérico bastante utilizado atualmente. Nele é possível considerar as não linearidades físicas e geométricas, as diferentes condições de contorno e de carregamento, diferentes formas, etc.

2.3.2 Lajes maciças

Para Araújo (2010), as lajes maciças são como placas com espessura uniforme, que se apoiam em todo contorno, este podendo ser em vigas ou alvenarias. Este tipo de laje predomina em edifícios cujos vãos são relativamente pequenos, como os residenciais.

Carvalho e Pinheiro (2009) afirmam que lajes maciças apoiadas em vigas são empregadas normalmente em pavimentos em que o menor vão a ser vencido pelas lajes é pequeno ou médio – inferior a 5 m, e que as cargas a serem suportadas não sejam muito elevadas. Isso porque este sistema é bastante rígido quanto aos deslocamentos verticais, e pode ser uma solução antieconômica se usado nestas condições, visto que a espessura da laje para atender ao estado limite último e ao critério de pequenos deslocamentos transversais certamente será elevada.

Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2003) nos edifícios usuais, as lajes maciças têm grande contribuição no consumo de concreto, sendo de aproximadamente 50% do total.

Quanto a espessura das lajes maciças, a NBR 6118:2014 diz que não devem ser menores que:

- a) 7 cm para coberturas que não sejam em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso que não sejam em balanço;
- c) 10 cm para lajes que sejam em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos cujo peso seja menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos cujo peso seja maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes protendidas apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas, e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas;
- h) 14 cm para lajes-cogumelo.

2.3.2.1 Dimensionamento de lajes maciças

Segundo Araújo (2010), para o dimensionamento de lajes considera-se os diversos painéis que compõe o pavimento em separado, como se fossem lajes isoladas. Isso porque o cálculo de lajes contínuas é extremamente complexo, mesmo para o caso de lajes apoiadas sobre vigas rígidas. Dessa forma, cada painel é tratado como uma laje individual, costumando dizer que um pavimento é composto de diversas lajes, na linguagem usual de projeto, e admitindo-se as condições de apoio já citadas no item 2.3.1.2.3.

2.3.2.1.1 Dimensionamento à flexão

Para realizar o dimensionamento das armaduras de flexão simples da laje, conforme NBR 6118:2014, utiliza-se a Equação 2.6, onde obtém-se a área de aço.

$$A_s = \frac{\alpha_c * \lambda * f_{cd} * b_w * x}{f_{yd}} \quad (2.6)$$

Onde:

α_c = parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão;

λ = relação entre a profundidade y e a profundidade efetiva x no diagrama retangular;

b_w = largura unitária (1,0 m);

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto;

f_{yd} = resistência de cálculo do aço;

x = altura da linha neutra, dado conforme Equação 2.7.

$$x = \frac{d}{\lambda} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_d}{\alpha_c * f_{cd} * b * d^2}} \right) \quad (2.7)$$

Onde:

d = altura útil da laje (distância do topo da laje até o eixo da armadura);

M_d = momento fletor de cálculo.

Para o cálculo do parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão (α_c), a norma define duas equações. A Equação 2.8 é utilizada para valores de f_{ck} iguais ou menores

que 50 MPa, e a Equação 2.9 é utilizada para valores de f_{ck} compreendidos entre 50 MPa e 90 MPa.

$$\alpha_c = 0,85 \quad (2.8)$$

$$\alpha_c = 0,85 * \left[1 - \frac{(f_{ck} - 50)}{200} \right] \quad (2.9)$$

Onde:

f_{ck} = resistência característica a compressão do concreto (MPa).

Para o cálculo da relação entre a profundidade y e profundidade efetiva x no diagrama retangular (λ), a norma define as Equações 2.10 para valores de f_{ck} iguais ou menores que 50 MPa, e a Equação 2.11 para valores de f_{ck} maiores que 50 MPa.

$$\lambda = 0,80 \quad (2.10)$$

$$\lambda = 0,80 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \quad (2.11)$$

Segundo a norma, para poder ser utilizada armadura simples deve-se respeitar o momento máximo limite, que é dado pela Equação 2.12.

$$M_{d_{lim}} = 0,25 * b_w * d^2 * f_{cd} \quad (2.12)$$

A norma dita ainda que a armadura mínima possível de ser utilizada deve ser determinada pelo dimensionamento da seção considerando um momento fletor também mínimo. A armadura mínima é calculada através da Equação 2.13, enquanto que o momento fletor mínimo é dado pela Equação 2.14.

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} * b_w * h \quad (2.13)$$

$$M_{d_{min}} = 0,80 * W_0 * f_{ctk} \quad (2.14)$$

Onde:

$\rho_{\min}$ = taxa mínima de armadura de flexão, dada pela Tabela 6;

h = altura total;

$f_{ctk,sup}$ = resistência característica superior do concreto à tração, dado pela Equação 2.15;

W_0 = módulo de resistência da seção transversal bruta do concreto.

Tabela 6 - Taxas mínimas de armadura de flexão

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^{(1)} (A_{s,\min}/A_c)$ em %							
	20	25	30	35	40	45	50	55
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211
Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^{(1)} (A_{s,\min}/A_c)$ em %							
	60	65	70	75	80	85	90	
Retangular	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256	

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

Nota: Os valores de $\rho_{\min}$ estabelecidos nesta Tabela pressupõe o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, $\rho_{\min}$ deve ser recalculado.

$$f_{ctk,sup} = 1,30 * f_{ct,m} \quad (2.15)$$

Onde $f_{ct,m}$ para concretos de classe igual ou inferior a C50 é dado pela Equação 2.16, e para concretos de classe igual ou superior a C55 é dado pela Equação 2.17.

$$f_{ct,m} = 0,30 * \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (2.16)$$

$$f_{ct,m} = 2,12 * \ln(1 + 0,11 * f_{ck}) \quad (2.17)$$

Ainda segundo a NBR 6118:2014, deve-se respeitar também a armadura máxima, que é dada conforme a Equação 2.18.

$$A_{s\max} = 0,04 * b_w * h \quad (2.18)$$

2.3.2.1.2 Dimensionamento ao cisalhamento

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), as lajes maciças e nervuradas podem necessitar de armadura transversal para resistir aos esforços de tração causados pela força cortante de cálculo (V_{sd}), quando esta estiver atuando sobre a laje e for menor ou igual à resistência de projeto ao cisalhamento (V_{Rd1}). Assim, segundo a NBR 6118:2014, dispensa-se o uso de armadura transversal em lajes quando ocorrer as condições ditas pela Equação 2.19.

$$V_{sd} \leq V_{Rd1} \quad (2.19)$$

A resistência de projeto ao cisalhamento (V_{Rd1}) é dada, segundo a norma, pela Equação 2.20.

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} * k * (1,2 + 40 * \rho_1) + 0,15 * \sigma_{cp}] * b_w * d \quad (2.20)$$

Onde:

τ_{Rd} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo, dada pela Equação 2.21;

f_{ctd} = resistência de cálculo do concreto à tração decorrente do cisalhamento, conforme Equação 2.22;

$f_{ctk,inf}$ = resistência característica inferior do concreto à tração, conforme Equação 2.23;

ρ_i = taxa geométrica de armadura longitudinal de tração, dada pela Equação 2.24;

σ_{cp} = tensão normal do concreto, dada pela Equação 2.25;

k = coeficiente que pode assumir os seguintes valores:

a) k = 1 para elementos onde 50% da armadura inferior não chega até o apoio;

b) k = (1,6 - d), não menor que 1, com d em metros, para os demais casos.

$$\tau_{Rd} = 0,25 * f_{ctd} \quad (2.21)$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (2.22)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,21 * f_{ck}^{2/3} \quad (2.23)$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w * d}, \text{ não maior que } 0,02; \quad (2.24)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{sd}}{A_c} \quad (2.25)$$

Onde:

A_{sl} = área da armadura de tração que se estende até não menos que o comprimento de ancoragem necessário além da seção considerada;

b_w = largura mínima da seção ao longo da altura útil d ;

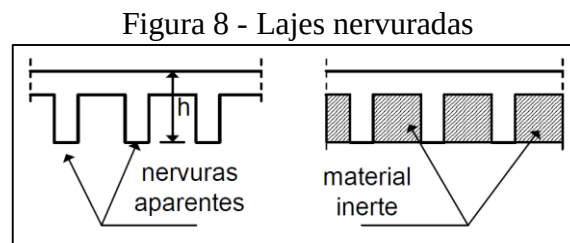
N_{sd} = força longitudinal na seção devida à protensão ou carregamento;

A_c = área da seção transversal de concreto.

Atendida a condição $V_{sd} \leq V_{Rd1}$, não será necessário o uso de armadura transversal (estribos). Caso contrário, é preciso verificar o esmagamento da biela de concreto e calcular a armadura transversal necessária, como indica a NBR 6118:2014.

2.3.3 Lajes nervuradas

Este tipo de laje, segundo Araújo (2010), é empregado para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8 m. São constituídas por nervuras que se cruzam, e nelas estão inseridas as armaduras longitudinais de tração. A principal vantagem dessa laje quando comparada com a maciça é a redução do peso próprio, já que se elimina uma parte do concreto que ficaria na zona tracionada. Neste caso, as nervuras ficam aparentes, mas podem ser dispostos materiais inertes entre elas, abaixo da mesa, de modo a torná-la plana, mas sem ter função estrutural, conforme representado na Figura 8.



Fonte: Araújo (2010).

Carvalho e Pinheiro (2009) citam outras vantagens da laje nervurada com relação a laje maciça:

- a) a tecnologia para execução de lajes nervuradas é a mesma empregada nas lajes maciças, não exigindo técnicas específicas para sua execução;
- b) as fundações das edificações construídas com esse tipo de laje são aliviadas, devido à redução do peso próprio pelo menor consumo de concreto e aço;
- c) lajes nervuradas têm capacidade de suporte mais elevada do que lajes maciças.

Porém, estas lajes apresentam algumas desvantagens, ainda segundo Carvalho e Pinheiro (2009). As principais são a maior dificuldade na passagem de tubulações e a demanda por alturas maiores do edifício e de cada andar.

A parte inferior da laje é a que sofre maior tração, e na parte superior, compressão. Como o concreto tem sua resistência à tração bastante baixa, pode-se admitir que os esforços na região inferior da laje são resistidos apenas pelo aço presente nas nervuras. É por este motivo que a laje nervurada não possui sua parte inferior maciça de concreto, pois este material nesta região da laje só irá agregar em custos, não em resistência. Como diretriz inicial de projeto, segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p. 18), “deve-se admitir que as lajes nervuradas funcionem sem engastes totais em seu em contorno, reduzindo os momentos negativos aos valores limitados pela capacidade resistente da nervura à compressão.”

Bocchi Júnior (1995) recomenda evitar engastes e balanços em lajes nervuradas, devido aos esforços de tração em sua face superior e aos esforços de compressão na face inferior, esta última por sua vez apresentando reduzida área de concreto. Conhecendo as propriedades do concreto, com alta resistência à compressão e baixa resistência à tração, seria necessário aumentar as seções, ou então projetar uma mesa na parte inferior, o que acarretaria em um aumento do peso próprio da estrutura e, consequentemente, elevação dos custos da obra.

A NBR 6118:2014 determina algumas condições mínimas para o dimensionamento das lajes nervuradas. Quanto à espessura da mesa, no caso de não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser no mínimo de 4 cm, e maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (vão livre). Já quando houverem tubulações embutidas com diâmetro igual ou inferior a 10 mm, o valor mínimo para a espessura deve ser de 5 cm. Para diâmetros de tubulação embutida maior que 10 mm, a mesa deve ter espessura mínima de 4 cm mais o diâmetro, ou 4 cm mais duas vezes o diâmetro, no caso de haver cruzamento destas tubulações.

A espessura mínima das nervuras admitida pela norma é de 5 cm, e ela ainda delimita que nervuras com espessura inferior a 8 cm não comportam armadura de compressão.

2.3.3.1 Dimensionamento de lajes nervuradas

Para o projeto das lajes nervuradas, devem ser obedecidas as seguintes condições prescritas pela NBR 6118:2014 (p. 75):

a) pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, e para verificação do cisalhamento da região das nervuras é permitida a consideração dos critérios de lajes maciças;

b) a verificação da flexão da mesa é exigida quando o espaçamento entre eixos de nervuras for entre 65 cm e 110 cm, e para verificação do cisalhamento da região das nervuras deve ser considerado como para vigas. Só é permitida a verificação do cisalhamento como lajes maciças se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for menor que 12 cm;

c) para lajes 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 as espessuras mínimas.

A norma diz ainda que as lajes nervuradas unidirecionais devem ser calculadas segundo a direção das nervuras, desprezadas a rigidez transversal e a rigidez à torção, e as lajes nervuradas bidirecionais, conforme NBR 14859-2:2016, podem ser calculadas, para efeito de esforços solicitantes, como lajes maciças, a partir de métodos elásticos. Segundo Araújo (2010), nos momentos fletores positivos as nervuras comportam-se como vigas T, e na mesa, onde são lajes contínuas, deve ser considerado laje maciça nos apoios intermediários.

Ainda segundo o autor, os esforços são calculados a partir da laje maciça equivalente, para assim determinar a espessura e a largura da laje nervurada. Os cálculos dão-se a partir da Equação 2.26 a 2.29.

$$\xi = \frac{l_{0x} * l_{0y}}{S_x * S_y} \quad (2.26)$$

$$h_e = [(1 - \xi) * h^3 + \xi * h_f^3]^{1/3} \quad (2.27)$$

$$b_l \geq \begin{cases} 0,1 * a \\ 0,5 * l_0 \end{cases} \quad (2.28)$$

$$b_f = b_w + 2 * b_l \quad (2.29)$$

Onde:

h = espessura total da laje;

h_f = espessura da mesa;

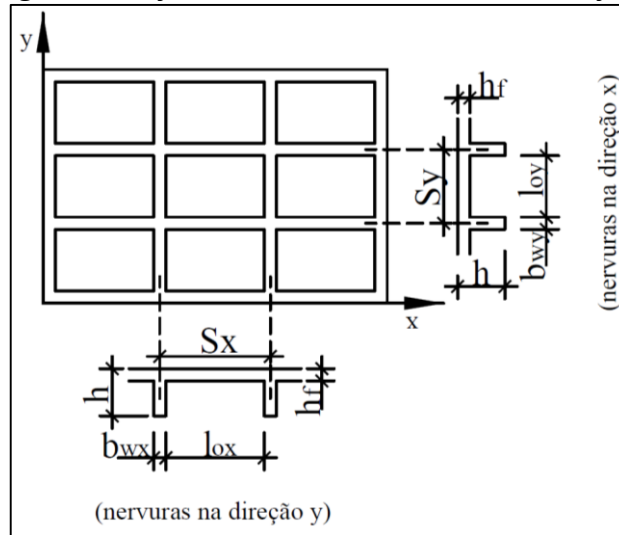
ξ = relação entre vão livre e vão de apoio da nervura;

a = vão total (admite-se que seja maior que 5 m);

l_0 = vão livre da nervura ≤ 100 cm.

Na Figura 9, está representada uma planta baixa e cortes esquemáticos de laje nervurada armada em duas direções.

Figura 9 - Laje nervurada armada em duas direções



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

Segundo a NBR 6118:2014, para o dimensionamento das armaduras de flexão estas são calculadas como vigas de seção T. Este dimensionamento é dado conforme o descrito por Araújo (2010), e disposto na Equação 2.30 a 2.35.

$$\beta_f = \frac{h_f}{d} \quad (2.30)$$

$$\beta_w = \frac{b_w}{b_f} \quad (2.31)$$

$$\xi_{lim} = \begin{cases} 0,45, & \text{se } f_{ck} \leq 35 \text{ MPa} \\ 0,35, & \text{se } f_{ck} > 35 \text{ MPa} \end{cases} \quad (2.32)$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 * f_{cd} \quad (2.33)$$

$$\mu_{lim} = \beta_f * \left(1 - \frac{\beta_f}{2}\right) + \beta_w * (0,8 * \xi_{lim} - \beta_f) * \left(1 - 0,45 * \xi_{lim} - \frac{\beta_f}{2}\right) \quad (2.34)$$

$$\mu = \frac{M_d}{b_f * d^2 * \sigma_{cd}} \quad (2.35)$$

Onde:

β_f e β_w = relação entre dimensões da seção T;

ξ_{lim} = profundidade relativa da linha neutra;

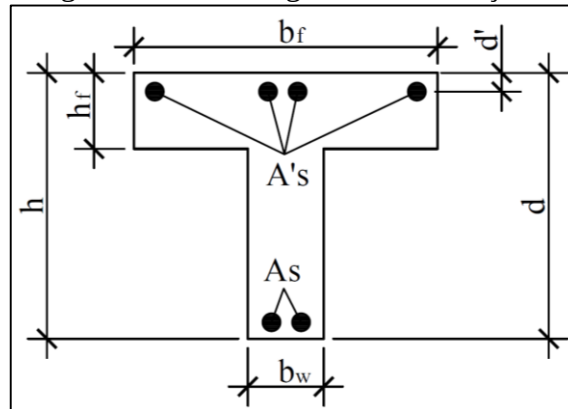
μ_{lim} = momento limite reduzido;

μ = momento solicitante reduzido;

σ_{cd} = tensão de cálculo do concreto.

Na Figura 10 está representada a geometria da seção T da laje nervurada.

Figura 10 - Corte e geometria da seção T



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

Ainda segundo Araújo (2010), quando o momento solicitante reduzido (μ) for menor ou igual ao momento limite reduzido (μ_{lim}), adota-se armadura simples. Já quando ocorre o inverso, o momento solicitante reduzido (μ) for maior que momento limite reduzido (μ_{lim}), adota-se armadura dupla. Para o caso de armadura simples, é necessário verificar se a mesa resiste ao momento fletor solicitante de cálculo (μ_f), que pode ser verificado pela Equação 2.36.

$$\mu_f = b_f * \left(1 - \frac{b_f}{2}\right) \quad (2.36)$$

Assim, se o momento fletor solicitante de cálculo (μ_f) for maior que o momento solicitante reduzido (μ), a mesa é capaz de resistir a esse esforço. Se assim for, calcula-se a taxa mecânica da armadura, conforme Equação 2.37 e 2.38.

$$\xi = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2 * \mu}) \quad (2.37)$$

$$\omega = 0,80 * \xi \quad (2.38)$$

Caso a mesa não resista ao momento fletor solicitante de cálculo ($\mu > \mu_f$), é preciso que parte da nervura contribua para resistir a este esforço. Desta a forma, a taxa de armadura é calculada pela Equação 2.39.

$$\omega = \beta_f * (1 - \beta_w) + 0,8 * \xi * \beta_w \quad (2.39)$$

Por fim, para determinar a área de armadura necessária Araújo (2010) utiliza-se da Equação 2.40.

$$A_s = \omega * b_f * d * \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (2.40)$$

Para os casos em que for necessário dimensionar armadura dupla, ou área de armadura de compressão, este é feito conforme Equação 2.41 a 2.45.

$$\delta = \frac{d'}{d} \quad (2.41)$$

$$\varepsilon'_s = 3,5\% * \left(\frac{\xi_{lim} - \delta}{\xi_{lim}}\right) \quad (2.42)$$

$$\sigma'_{sd} = E_s * \varepsilon'_s \quad (2.43)$$

$$\omega' = \frac{(\mu - \mu_{lim}) * f_{yd}}{(1 - \delta) * \sigma'_{sd}} \quad (2.44)$$

$$A'_s = \omega' * b_f * d * \frac{\sigma_{cd}}{f_{yd}} \quad (2.45)$$

Onde:

δ = parâmetro geométrico;

ε'_s = deformação na armadura de compressão;

σ'_{sd} = tensão na armadura de compressão;

E_s = módulo de elasticidade do aço = 20.000 kN/cm²;

ω' = taxa mecânica de armadura dupla;

A'_s = área necessária para armadura dupla.

Para o dimensionamento da armadura da mesa, considerando-a com vão igual ou menor que 65 cm, calcula-se a área do aço como armadura mínima em cada direção, conforme Equação 2.46.

$$A_{smin} = \rho_{min} * h_f \quad (2.46)$$

Assim como necessário nas lajes maciças, é preciso verificar também se as nervuras necessitam de armaduras transversais para resistência ao esforço cortante. Segundo a NBR 6118:2014, não será necessário armaduras transversais se for respeitada a condição de que a tensão convencional de cisalhamento (τ_{wd}) for menor ou igual à tensão de cisalhamento limite (τ_{wu}), conforme Equação 2.47 a 2.49.

$$\tau_{wd} = \frac{V_d}{b_w * d} \quad (2.47)$$

$$\alpha_v = 1 - \frac{f_{ck}}{250} \quad (2.48)$$

$$\tau_{wu} = 0,27 * \alpha_v * f_{cd} \quad (2.49)$$

Onde:

τ_{wd} = tensão convencional de cisalhamento;

V_d = esforço cortante;

τ_{wu} = tensão de cisalhamento limite;

α_v = coeficiente em função da resistência do concreto.

Caso a condição acima não se satisfaça, deverão ser dimensionadas as armaduras transversais. Estas são calculadas por metro linear de nervura, conforme Equação 2.50 a 2.54.

$$\psi_3 = 0,09, \text{ para flexão simples e flexo - tração} \quad (2.50)$$

$$\psi_3 = 0,09 * \left(1 - \frac{M_0}{M_d}\right) \leq 0,18, \text{ para flexo - compressão} \quad (2.51)$$

$$\tau_c = \psi_3 * (f_{ck})^{2/3} \quad (2.52)$$

$$\tau_d = 1,11 * (\tau_{wd} - \tau_c) \geq 0 \quad (2.53)$$

$$A_{sw} = 100 * b_w * \frac{\tau_d}{f_{yd}} \quad (2.54)$$

Onde:

τ_c = tensão em função da resistência à tração de cálculo do concreto;

τ_d = tensão de cálculo da armadura transversal;

A_{sw} = área de aço para estribos.

A norma também determina que a área de aço dos estribos deve ser igual ou maior que a mínima, determinada na Equação 2.55.

$$A_{sw,min} = \rho_{w,min} * 100 * b_w \quad (2.55)$$

Onde $\rho_{w,min}$ é determinado na Tabela 7.

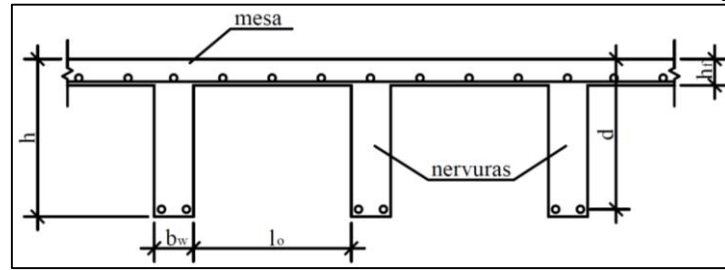
Tabela 7 - Valores de $\rho_{w,min}$ (%) para aço CA-50

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{w,min}$	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16

Fonte: adaptado NBR 6118 (2014).

Sendo dimensionado tudo isto, pode-se montar as armaduras das lajes nervuradas, conforme o esquematizado por Araújo (2010), pela Figura 11.

Figura 11 - Corte transversal com detalhamento de armaduras da laje nervurada



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

Porém, não basta dimensionar apenas as armaduras, ainda segundo o autor é necessário dimensionar também as armaduras de ancoragem nos apoios e as armaduras de canto. Para lajes que tenham armaduras de cisalhamento o cálculo é dado conforme Equação 2.56, e para lajes sem armaduras de cisalhamento é dado conforme Equação 2.57.

$$A_{s,cal} = \frac{0,5 * V_d}{f_{yd}} \quad (2.56)$$

$$A_{s,cal} = \frac{1,5 * V_d}{f_{yd}} \quad (2.57)$$

Tendo as áreas de aço calculadas, é possível calcular o comprimento básico de ancoragem e, por sua vez, o comprimento de ancoragem necessário, conforme Equação 2.58, 2.59 e 2.60.

$$l_b = \frac{\phi * f_{yd}}{4 * f_{bd}} \quad (2.58)$$

$$l_{b,nec} = l_b * \frac{A_{s,cal}}{A_{se}}, \text{ sendo que este valor } \quad (2.59)$$

deve ser maior ou igual ao $l_{b,min}$

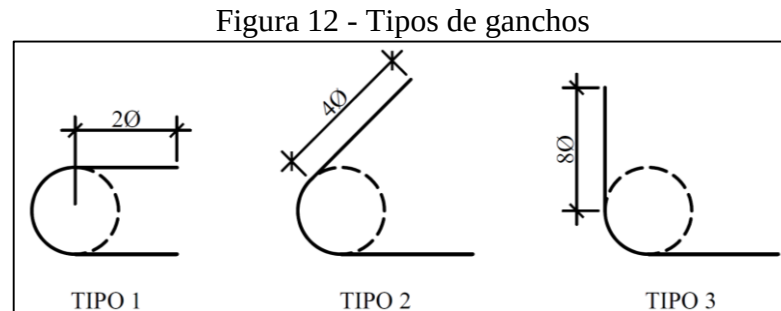
$$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 * l_b \\ 10 * \phi \\ 10 \text{ cm} \end{cases} \quad (2.60)$$

Onde:

A_{se} = área de aço efetivo de projeto;

ϕ = bitola de aço.

Conforme Araújo (2010), existem três tipos de ganchos que podem ser utilizados a partir dos comprimentos de ancoragem calculados acima. Estes encontram-se esquematizados na Figura 12.



Fonte: adaptado de Araújo (2010).

2.3.4 Vigas de concreto armado

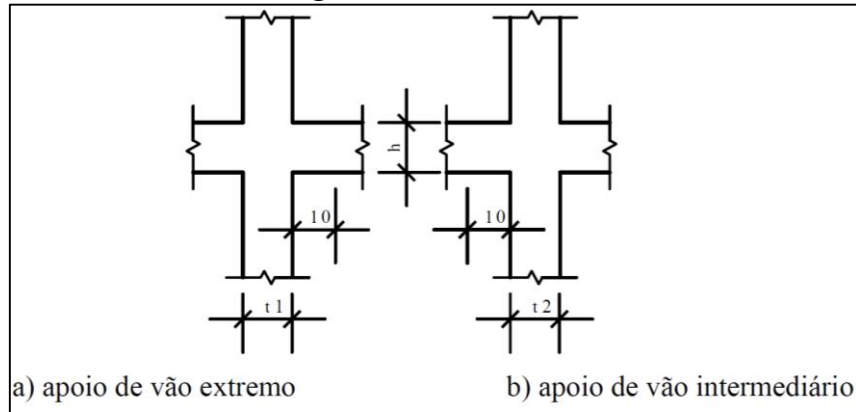
Segundo a NBR 6118:2014, vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. Elementos lineares, por sua vez, são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal. Por este motivo, vigas são consideradas barras que são, normalmente, retas e horizontais, que recebem ações das lajes, de outras vigas, de paredes de alvenaria, e eventualmente de pilares, etc.

Para Bastos (2006), a função das vigas é basicamente vencer vãos e transmitir as ações nelas atuantes para os apoios, geralmente os pilares. As ações que atuam sobre elas são geralmente perpendiculares ao seu eixo longitudinal, e podem ser concentradas ou distribuídas, além de também estarem sujeitas a forças normais de compressão ou de tração, na direção do eixo longitudinal. As vigas auxiliam também na estrutura de contraventamento, proporcionando a estabilidade global aos edifícios.

2.3.4.1 Vãos teóricos

A NBR 6118:2014 diz que o vão efetivo das vigas pode ser calculado segundo a Equação 2.61, considerando o representado na Figura 13.

Figura 13 - Vão efetivo



Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (2.61)$$

Onde:

a_1 = menor valor entre $\frac{t_1}{2}$ e $0,3.h$;

a_2 = menor valor entre $\frac{t_2}{2}$ e $0,3.h$.

2.3.4.2 Dimensionamento

A norma brasileira NBR 6118:2014 admite dois modelos para cálculo da armadura transversal, denominados Modelo de Cálculo I e Modelo de Cálculo II. Segundo Bastos (2017), “a treliça clássica de Ritter-Mörsch é adotada no Modelo de Cálculo I, e o Modelo de Cálculo II admite a chamada “treliça generalizada””.

Vigas são submetidas à força cortante, momento fletor, e fortuitamente forças axiais. Esta combinação pode causar o surgimento de fissuras inclinadas, que desencadeiam a ruptura por efeito de força cortante. Bastos (2017) afirma que diversas variáveis influenciam na ruptura, como a geometria, dimensões da viga, resistência do concreto, quantidade de armaduras longitudinal e transversal, características do carregamento, vão, etc.

Para fins de cálculo, as vigas também são analisadas conforme o regime elástico. No caso das vigas contínuas, considera-se o momento de inércia transversal geométrica, sem a inclusão das armaduras. Dessa forma, o cálculo é feito admitindo-se que toda a viga encontre-se no estágio I.

A NBR 6118:2014 diz que pode ser utilizado o modelo clássico de viga contínua, ou seja, simplesmente apoiada nos pilares, para o estudo das cargas verticais, porém deve-se atender:

a) não consideração de momentos positivos menores do que os que se obteriam no caso de haver engastamento perfeito da viga nos apoios internos;

b) quando a viga for solidária com o pilar intermediário, e a largura do apoio for maior que a quarta parte da altura do pilar, não pode ser considerado o momento negativo de valor absoluto menor do que aquele que apresentaria no caso de engastamento perfeito nesse apoio;

c) quando da não realização do cálculo da influência da solidariedade dos pilares com a viga, deve-se considerar momento fletor igual ao momento de engastamento perfeito multiplicado por coeficientes estabelecidos nos apoios extremos.

2.3.4.3 Largura colaborante de vigas de seção T

Quando a estrutura for modelada sem a consideração automática da ação conjunta de lajes e vigas, como o feito através dos métodos abordados neste trabalho, esse efeito pode ser considerado mediante a adoção de uma largura colaborante da laje associada à viga, compondo uma seção transversal T. Segundo a NBR 6118 (2014, p.87), “a consideração da seção T pode ser feita para estabelecer as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos na estrutura, de uma forma mais realista.”

Ainda segundo a norma, a largura colaborante (b_f) deve ser dada pela largura da viga (b_w) acrescida de no máximo 10 % da distância (a) entre pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que haja laje colaborante.

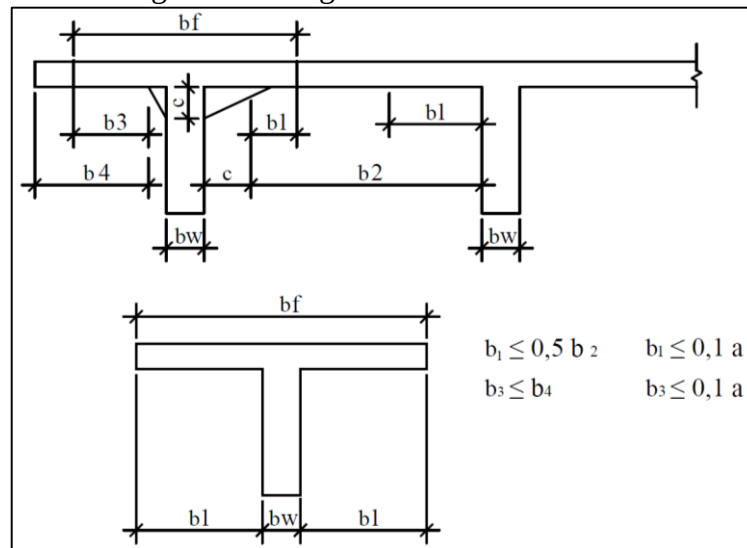
A distância (a) pode ser estimada em função do comprimento (l) do tramo considerado, segundo a NBR 6118:2014:

- a) para viga simplesmente apoiada: $a = 1,00 l$;
- b) tramo com momento em uma extremidade: $a = 0,75 l$;
- c) tramo com momentos nas duas extremidades: $a = 0,60 l$;
- d) tramo em balanço: $a = 2,00 l$.

A adoção de uma largura colaborante permite que vigas contínuas sejam calculadas com uma largura colaborante única para todas as seções, inclusive nos apoios sob momentos negativos, desde que essa largura seja calculada a partir do trecho de momentos positivos onde a largura resulte mínima.

Devem ser respeitados os limites b_1 e b_3 , conforme Figura 14.

Figura 14 - Largura de mesa colaborante



Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

2.3.4.4 Armaduras mínimas e máximas

Para determinar a armadura mínima de tração de um elemento estrutural, segundo a NBR 6118:2014, deve-se dimensionar a seção a um momento fletor mínimo, dado pela Equação 2.62. Além disso, deve-se respeitar a taxa mínima absoluta de 0,15%.

$$M_{d,min} = 0,8 * W_0 * f_{ctk,sup} \quad (2.62)$$

Onde:

W_0 = módulo de resistência da seção transversal bruta do concreto, relativo à fibra mais tracionada;

$f_{ctk,sup}$ = resistência característica superior do concreto à tração.

Para dimensionar a taxa mínima de armadura de flexão para vigas, pode-se utilizar a Tabela 8.

Tabela 8 - Taxas mínimas de armadura de flexão para vigas

(continua)

Forma da seção	Valores de $\rho_{min}^{(1)} (A_{s,min}/A_c)$ em %							
	$\omega_{min} \backslash f_{ck}$	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,035	0,150	0,150	0,173	0,201	0,230	0,259	0,288
T (mesa comprimida)	0,024	0,150	0,150	0,150	0,150	0,158	0,177	0,197

(conclusão)

Forma da seção	Valores de $\rho_{min}^{(1)} (A_{s,min}/A_c)$ em %							
		20	25	30	35	40	45	50
T (mesa tracionada)	0,031	0,150	0,150	0,153	0,178	0,204	0,229	0,255
Circular	0,070	0,230	0,288	0,345	0,403	0,460	0,518	0,575

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

Nota:

(1) Os valores de ρ_{min} estabelecidos nesta Tabela pressupõe o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{min} deve ser recalculado.

Os estribos para as forças cortantes, que devem estar inseridos na viga de forma a envolver as barras da armadura longitudinal de tração e estarem ancorados na face oposta, tem como limite mínimo de armadura ser maior ou igual a 5 mm, sem exceder 1/10 da largura da alma da viga.

A NBR 6118:2014 também direciona que, para vigas com altura superior a 60 cm, deve ser prevista armadura de pele em cada face da alma da viga, composta por barras de CA-50 e CA-60, com espaçamento não maior que 20 cm e devidamente ancorada nos apoios. A mínima armadura lateral deve ser 0,10% da área da seção transversal da viga, não sendo necessária uma armadura superior a 5 cm²/m por face.

2.3.5 Pilares de concreto armado

Segundo a NBR 6118 (2014, p. 84), pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.” Carvalho e Pinheiro (2009) dizem que sua função é receber as cargas de vigas ou lajes e transmiti-las às fundações. Os pilares usualmente têm seção transversal quadrada, retangular ou circular, e uma de suas dimensões é bem maior que as outras duas.

Esses elementos estão sujeitos principalmente a ações de compressão, e consequentemente, também estão sujeitos à flambagem. Este fenômeno, também chamado de efeito de segunda ordem, causa uma instabilidade no equilíbrio do elemento, ou seja, o estado de deformação da estrutura influi nos esforços internos (não-linearidade geométrica).

Segundo a NBR 6118:2014, o estado-limite último de instabilidade nas estruturas de concreto armado é atingido sempre que, ao aumentar a intensidade do carregamento aumentando as deformações, há elementos submetidos a flexo-compressão em que o aumento da capacidade resistente passa a ser inferior ao aumento da solicitação.

2.3.5.1 Dimensões mínimas dos pilares

A NBR 6118:2014 determina que a dimensão mínima para a seção de um pilar é de 19 cm, qualquer que seja sua forma. Ela admite casos especiais em que a menor dimensão pode ser inferior a 19 cm, porém maior que 14 cm. Para que isto seja possível, deve-se multiplicar os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional (γ_n), estes demonstrados na Tabela 9. Porém, a seção transversal do pilar segundo a norma não deve ser inferior a 360 cm².

Tabela 9 - Valores do coeficiente adicional γ_n

b (cm)	19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: adaptado da NBR 6118:2014.

2.3.5.2 Armaduras mínimas e máximas em pilares

Com o objetivo de evitar a ruptura frágil das seções transversais quando da formação da primeira fissura, a NBR 6118:2014 rege que deve ser considerado, para o cálculo das armaduras, um momento mínimo dado pelo valor correspondente ao que produziria a ruptura da seção de concreto simples. Este valor resultaria na armadura mínima.

Já a determinação de valores máximos para as armaduras é imprescindível para que se assegure as condições de ductilidade, e de se respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem às prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto.

A armadura longitudinal mínima deve respeitar a Equação 2.63:

$$A_{s,mín} = \left(0,15 * \frac{N_d}{f_{yd}} \right) \geq 0,004 * A_c \quad (2.63)$$

Onde:

N_d = força normal de cálculo;

A_c = área da seção do pilar.

A armadura máxima em pilares deve considerar também a sobreposição de armaduras existentes em regiões de emenda, conforme prescrito na norma. O cálculo se dá pela Equação 2.64.

$$A_{s,m\acute{a}x} = 0,08 * A_c \quad (2.64)$$

2.3.5.3 Classificação dos pilares quanto à posição em planta

“Classificar os pilares quanto à posição em planta é importante pois com isto, pode-se determinar como as excentricidades causadas pelo carregamento vertical em relação ao centro deverão ser consideradas e o tipo de solicitação a que ele estará submetido.” (CARVALHO; PINHEIRO, 2009, p. 321).

2.3.5.3.1 Pilares centrais ou intermediários

De acordo com Carvalho e Pinheiro (2009), os pilares centrais são aqueles localizados no interior do edifício, e submetidos principalmente a compressão simples por cargas verticais, sem sofrer flexão. Pela NBR 6118:2014, as vigas contínuas apoiadas em pilares centrais podem ser consideradas como simplesmente apoiadas, sem transmitir momentos para esses pilares.

2.3.5.3.2 Pilares laterais ou de extremidade

Carvalho e Pinheiro (2009) determinam que pilares laterais são os localizados nas bordas dos edifícios, e são solicitados por cargas concentradas verticais e momento fletor que são transmitidos pelas vigas na direção perpendicular (flexão composta), já na direção paralela à borda, como existe continuidade, não há transmissão de momentos para o pilar. Segundo a NBR 6118:2014, quando não for verificada a influência da solidariedade dos pilares com a viga, deve-se considerar na viga e nos tramos superior e inferior do pilar concorrentes nos apoios externos, momento fletor igual a uma parte do momento de engastamento perfeito.

2.3.5.3.3 Pilares de canto

Carvalho e Pinheiro (2009) classificam os pilares de canto como os localizados nos cantos do edifício, e ponto de interrupção das vigas que neles chegam em duas direções. São solicitados por cargas concentradas verticais e momentos fletores que são transmitidos pelas vigas. Os momentos transmitidos pelas vigas aos pilares de canto também podem ser determinados de maneira aproximada, como a NBR 6118:2014 determina para pilares laterais. “As ações nos pilares podem ser representadas pela força normal atuante e pela sua

excentricidade final (soma de várias excentricidades) em relação ao centro do pilar, indicando a ação dos momentos fletores.” (CARVALHO; PINHEIRO, 2009, p. 323).

2.4 ORÇAMENTAÇÃO

Uma obra tem seu custo influenciado por inúmeros fatores, e segundo Mattos (2006, p. 22), a orçamentação de uma obra “envolve a identificação, descrição, quantificação, análise e valorização de uma grande série de itens”. Um orçamento preciso é um grande fator de determinação do lucro de uma construtora, pois ele não abre espaço para erros, e os imprevistos durante a execução da obra são minimizados ao máximo – exceto os parâmetros que não podem ser determinados com total precisão, como as condições climáticas.

De forma geral, Mattos (2006) diz que um orçamento é composto de custos diretos, que são os de mão de obra de operários, materiais e equipamentos; custos indiretos, que são os das equipes de supervisão e apoio, despesas gerais do canteiro de obras e taxas; além dos custos dos impostos e o lucro.

A orçamentação é dada por diferentes etapas de trabalho, segundo Mattos (2006):

- a) estudo das condicionantes: esta etapa é onde ocorre a análise e interpretação de todos os projetos da obra, e de suas especificações técnicas, como padrão de acabamento e descrição dos materiais; verificação de prazos de obra e critérios de medição e pagamento; além de visitar o local onde será construída a obra, para verificar se é de fácil acesso, se a região apresenta boa infraestrutura, com fornecedores locais por exemplo;
- b) composição de custos: correta identificação de todos os serviços necessários à obra, para não se excluir nenhum serviço - ou o mais próximo disso – requerido por ela, além de um correto levantamento de quantitativos e levantamento dos preços;
- c) determinação do preço: nesta etapa é onde determina-se a lucratividade da obra, além do cálculo do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas), que é um fator de majoração.

Também pode-se classificar a orçamentação quanto a seu grau de detalhamento, podendo ser uma estimativa de custos, um orçamento preliminar, ou um orçamento analítico.

2.4.1 Estimativa de custo

Esta avaliação possibilita saber a ordem de grandeza do custo total do empreendimento, e é obtida através de dados históricos de projetos similares. Para obras, um indicador muito utilizado é o CUB (Custo Unitário Básico).

2.4.1.1 Custo Unitário Básico (CUB)

Segundo a Lei 4.591/64, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foi incumbida a padronizar normas e critérios para calcular o custo unitário de construção, execução de orçamentos e avaliação global da obra. De acordo com esta lei, os Sindicatos da Indústria da Construção de todos os estados devem divulgar todos os meses os custos unitários da construção na sua região por metro quadrado, de acordo com diferentes padrões construtivos.

De acordo com Mattos (2006), o CUB de cada projeto-padrão é calculado aplicando-se o preço de material e mão de obra nos coeficientes que constam nos quadros da NBR 12.721/2006. Os preços são os disponibilizados mensalmente pelos sindicatos, batizados de SINDUSCON. Além disso, nos valores de mão de obra são aplicados os percentuais de encargos trabalhistas de acordo com sua legislação própria.

2.4.2 Orçamento preliminar

Este é um pouco mais detalhado do que o método anterior, trabalhando-se com mais indicadores. Estes indicadores servem para auxiliar na análise da orçamentação, porém ainda de forma facilitada. Como exemplo de indicadores temos volume de concreto, peso da armação, área de forma, etc.

2.4.3 Orçamento analítico ou detalhado

Este tipo de orçamento é o mais preciso, sendo obtido através de cuidadosa pesquisa de preços e quantificação de insumos, para então aplicar composições de custos. Com ele é possível obter um valor preciso e coerente com o resultado final da obra, pois considera-se mão de obra, equipamentos, materiais envolvidos, além dos custos para manutenção do canteiro de obras, equipes técnica, administrativa, de suporte, além de taxas e emolumentos.

Para o orçamento analítico realizam-se composições de custos unitários para cada serviço de uma obra, conforme exemplo na Tabela 10, de uma composição da tabela SINAPI. Porém, é preciso que o levantamento de quantitativos seja dado de forma detalhada, assim cada composição é desmembrada em insumos, conforme Tabela 11.

Tabela 10 - Composição de custos de um serviço

Código	Descrição	Unidade	Origem de preço	Custo total
87482	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 19X19X39 cm (espessura 19 cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6 m ² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo manual. AF_06/2014	m ²	Atribuído São Paulo	57,73

Fonte: adaptado do SINAPI (2018).

Tabela 11 - Insumos da composição de um serviço

PARE	87482	Alvenaria de vedação de blocos cerâmicos furados na vertical de 19X19X39 cm (espessura 19 cm) de paredes com área líquida maior ou igual a 6 m² sem vãos e argamassa de assentamento com preparo manual. AF_06/2014	m²	Coefficiente
INSUMO	34548	Tela de aço soldada galvanizada/zincada para alvenaria, fio D=*1,20 a 1,70* mm, malha 15 x 15 mm, (C X L) *50 X 17,5* cm	m	0,4200
INSUMO	37395	Pino de aço com furo, haste = 27 mm (ação direta)	cento	0,0100
INSUMO	37594	Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical, 19 X 19 X 39 cm - 4,5 MPa (NBR 15.270)	un	13,3500
COMPOSIÇÃO	87369	Argamassa traço 1:2:8 (cimento, cal e areia média) para emboço/massa única/assentamento de alvenaria de vedação, preparo manual. AF_06/2014	m ³	0,0138
COMPOSIÇÃO	88309	Pedreiro com encargos complementares	h	0,8800
COMPOSIÇÃO	88316	Servente com encargos complementares	h	0,4400

Fonte: adaptado do SINAPI (2018).

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa classifica-se como uma pesquisa teórica com estudo de caso, onde através de teorias pesquisadas em materiais já publicados será feita a aplicação em um projeto arquitetônico definido e existente, com a finalidade de realizar o dimensionamento estrutural deste para dois sistemas construtivos diferentes, e suas respectivas avaliações financeiras. Desta forma, trata-se de uma pesquisa bibliográfica elaborada a partir de materiais já publicados. Quanto aos procedimentos, é uma pesquisa de fonte de papel.

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

3.2.1 Procedimento de coleta e interpretação de dados

Nesta pesquisa será realizada uma análise comparativa entre dois sistemas estruturais de concreto armado, com lajes maciças e lajes nervuradas, onde primeiramente foram definidos os sistemas a serem analisados. Esta escolha deu-se através de pesquisas em materiais já publicados, e desta pesquisa foi realizada a revisão bibliográfica de assuntos relevantes a este estudo, como concreto armado, solicitações atuantes na estrutura, lajes de concreto armado – maciças e nervuradas, vigas e pilares também em concreto armado, além de orçamentação. A revisão bibliográfica oferecerá suporte teórico necessário para o entendimento da pesquisa.

A partir de um projeto arquitetônico definido, será feito o lançamento e análise da estrutura para os dois sistemas escolhidos no *software* Eberick V9, este disponível para os estudantes da Universidade de Caxias do Sul em seus laboratórios de informática. Através da utilização do *software* será possível obter os esforços considerando o comportamento estrutural como um todo, e os detalhamentos e quantitativos de materiais para o projeto a ser executado, e com isso analisar e comparar estas informações entre os dois sistemas de lajes. Além da análise e comparação técnica, será comparado os custos entre os dois sistemas por meio de composições de preços da Tabela SINAPI.

3.2.2 Estudo de caso

Para realizar a comparação entre os projetos estruturais com alternância dos modelos de lajes, foi selecionado um projeto arquitetônico cedido pelo Arquiteto Luciano Cavallet. Este projeto foi aprovado pela Prefeitura Municipal de Bento Gonçalves em 2011, e já foi construído nesta cidade. Localiza-se na Rua Dr. Casagrande, bairro Cidade Alta, conforme Figura 15. De acordo com o zoneamento da cidade, está situado na ZC1 (Zona Comercial 1), cujas atividades possíveis e previstas são de residência unifamiliar e multifamiliar, comércio e serviços vinculados à residência, estabelecimentos de recreação, lazer e turísticos, comércio e serviços geradores de ruídos, comércio e serviços geradores de tráfego pesado, e de comércio e serviços diversificados. São permitidas edificações de até 14 pavimentos, com índice de área (IA) máximo de 3,5 e taxa de ocupação (TO) máxima de 80 %.

Figura 15 - Localização da edificação objeto de estudo



Fonte: Google Earth (2018).

O projeto trata-se do Residencial Polaris, uma edificação mista de 13 pavimentos, tendo três subsolos de garagem, o primeiro pavimento com 4 salas comerciais e academia para os moradores, além de mezanino com salão de festas, e o restante são pavimentos tipo com 6 apartamentos. A área total construída da edificação é 4.811,47 m². A Figura 16 consiste de uma perspectiva do edifício, enquanto que na Figura 17 está representada a planta baixa do pavimento tipo. O Anexo A apresenta a planta baixa do pavimento tipo, o qual mais se repete.

Figura 16 - Perspectiva da edificação objeto de estudo



Fonte: Arquiteto Luciano Cavallet (2011).

Figura 17 - Planta baixa do pavimento tipo da edificação objeto de estudo



Fonte: Arquiteto Luciano Cavallet (2011).

3.3 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

O dimensionamento da estrutura de concreto armado foi realizado através do *software* Eberick V9 da empresa AltoQI. Para o dimensionamento estrutural será indispensável o uso de manuais fornecidos pela empresa fabricante, bem como a norma NBR 6118:2014. Para definir as ações do vento para a cidade de Bento Gonçalves será utilizada a NBR 6123:1988, e as sobrecargas serão determinadas conforme a NBR 6120:1980. A partir disso, será concebido o

projeto estrutural em concreto armado contendo todas as informações pertinentes a este estudo, quantitativos, planta de fôrmas e planta de armaduras.

3.4 ORÇAMENTAÇÃO

Devido à análise das estruturas ser baseada nos custos envolvidos em cada uma, é necessário que os orçamentos sejam tão precisos quanto possível. Desta forma, serão feitos orçamentos analíticos para os dois sistemas estruturais, que são baseados em valores unitários. Tais valores serão extraídos de tabelas de referência, neste estudo, será utilizado o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI 09/2018). O orçamento será realizado a partir de quantitativos de fôrmas, concreto e aço necessários para a concepção estrutural, sendo estas informações obtidas através do *software* Eberick. Todos os dados serão dispostos em planilhas eletrônicas, na qual apresentarão o memorial de levantamento.

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para cumprir o proposto nos objetivos deste estudo, faz-se necessária uma análise comparativa entre os resultados obtidos para cada um dos dois sistemas estruturais. Esta será feita através de tabelas e gráficos, de forma a melhor destacar os pontos relevantes na composição dos custos, e com o objetivo de demonstrar os possíveis benefícios da utilização de lajes nervuradas ao invés de lajes maciças, neste estudo de caso.

4 CONCEPÇÃO E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados primeiramente os parâmetros utilizados para o dimensionamento estrutural, e após, o levantamento de quantitativos para a concepção de cada um dos dois sistemas estruturais, obtido através do *software* Eberick.

4.1 PARÂMETROS DA EDIFICAÇÃO

A partir dos itens 2.1 e 2.2, é definido os parâmetros como: classe de agressividade ambiental, cobrimento nominal, cargas verticais e horizontais.

A classe de agressividade ambiental classifica-se como moderada (classe II), por estar localizada em área urbana, conforme item 6 da NBR 6118:2014. Assim, os cobrimentos nominais ficam sendo de 30 mm para pilares e vigas, e 25 mm para lajes.

Durante o lançamento da estrutura foram incluídos os esforços de cargas verticais. As cargas verticais permanentes consideradas foram as seguintes:

- a) Alvenaria de tijolos furados = 1300 kgf/m^3 ;
- b) Concreto armado = 2500 kgf/m^3 ;
- c) Revestimento = 100 kgf/m^3 ;
- d) Telhado = 100 kgf/m^3 .

As cargas verticais acidentais específicas para este estudo de caso, foram consideradas conforme segue:

- a) Despensa, áreas de serviço e lavanderias = 200 kgf/m^2 ;
- b) Dormitório, sala, copa, cozinha e banheiro = 150 kgf/m^2 ;
- c) Comércio = 400 kgf/m^2 ;
- d) Garagem = 300 kgf/m^2 ;
- e) Escadas com acesso ao público = 300 kgf/m^2 ;
- f) Casa de máquinas = 750 kgf/m^2 ;
- g) Reservatórios (3 unidades de 10000 L cada) = $878,22 \text{ kgf/m}^2$;
- h) Cobertura = 50 kgf/m^2 .

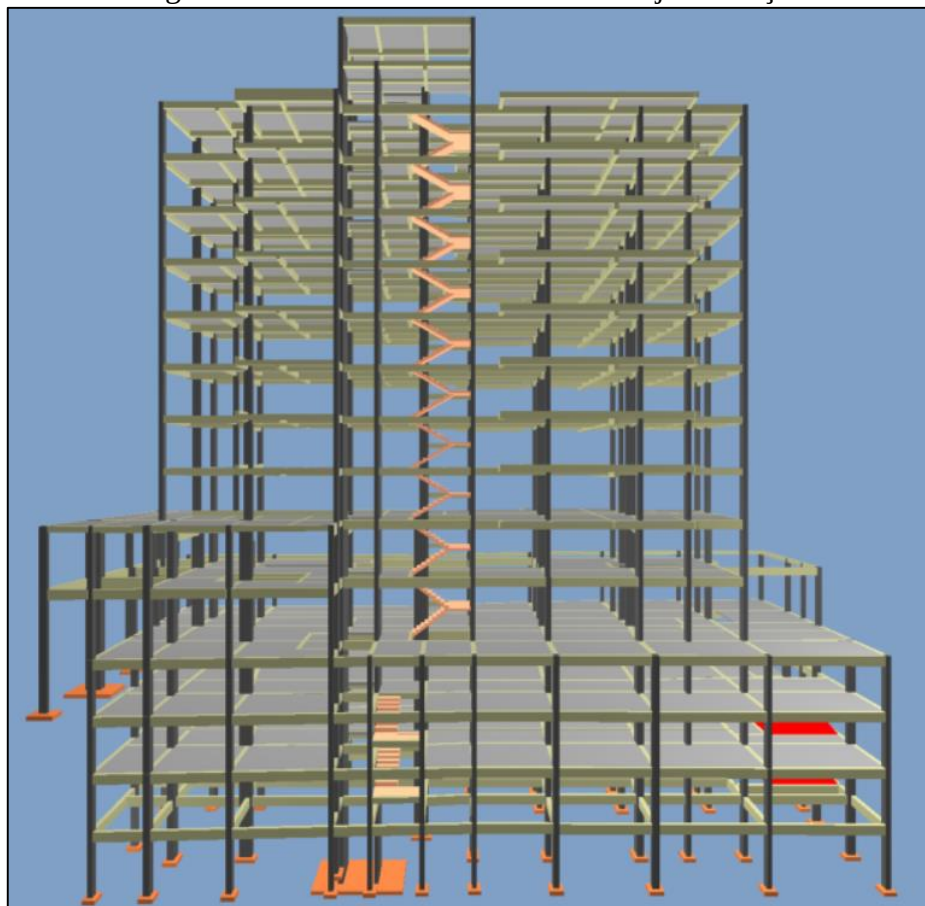
Para ações horizontais, visto que o empreendimento possui endereço no centro de Bento Gonçalves, a velocidade básica local do vento é de 45 m/s . Considera-se como parâmetro que o terreno é plano, e que as edificações vizinhas possuem alturas iguais ou menores que o mesmo, assim, o fator topográfico do terreno (S1) é igual a 1. Por estar localizado em área urbanizada, onde os terrenos são cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, a

categoria de rugosidade (S2) é IV, e a classe da edificação (S2) é B, devido à maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal estar entre 20 m e 50 m. O fator estatístico (S3) determinado foi 1,0, devido à edificação ser residencial e comercial com alto índice de ocupação.

4.2 SISTEMA ESTRUTURAL COM LAJES MACIÇAS

Para este dimensionamento, foi considerado f_{ck} para lajes, vigas e pilares de 35 MPa. A Figura 18 apresenta o modelo estrutural para lajes maciças.

Figura 18 - Vista 3D da estrutura com lajes maciças



Fonte: Eberick V9 (2018).

Na Tabela 12 estão apresentadas as cargas verticais médias de cada pavimento, que é dada pela razão entre todas as cargas verticais características (peso-próprio, permanentes e acidentais) pela área total estimada do pavimento.

Tabela 12 - Relação de cargas verticais por área de cada pavimento para o sistema com lajes maciças

Pavimento	Carregamentos verticais (kgf)	Área (m²)	Carga/área (kgf/m²)
Reservatório	23.180,00	36,79	630,19
Cobertura	73.820,00	35,72	2.066,40
Tipo 8	283.080,00	303,64	932,28
Tipo 7	400.240,00	303,33	1.319,48
Tipo 6	400.350,00	303,33	1.319,86
Tipo 5	400.250,00	303,33	1.319,52
Tipo 4	400.250,00	303,33	1.319,52
Tipo 3	400.250,00	303,33	1.319,52
Tipo 2	400.250,00	303,33	1.319,53
Tipo 1	400.880,00	303,33	1.321,58
Mezanino	502.670,00	392,68	1.280,11
Térreo	513.090,00	354,74	1.446,36
Subsolo 3	931.710,00	591,62	1.574,86
Subsolo 2	666.420,00	609,98	1.092,54
Subsolo 1	683.820,00	603,96	1.132,23
Fundação	318.190,00	-	-
TOTAL	6.798.450,00	5.049,8	1.345,58

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Os parâmetros de estabilidade obtidos na análise estrutural estão apresentados na Tabela 13, onde Gama-Z é o parâmetro para avaliação da estabilidade de uma estrutura.

Tabela 13 - Estabilidade global do sistema estrutural com laje maciça

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1.08 (lim 1.10)	1.06 (lim 1.10)
Deslocamento horizontal (cm)	0.74 (lim 2.69)	1.72 (lim 2.69)
Deslocamento máximo dos pilares do último pavimento (cm)	1.60	2.39
Deslocamento médio dos pilares do último pavimento (cm)	1.50	2.28
Deslocamento máximo dos pilares do último pavimento / altura total	1/2850	1/1910
Deslocamento médio dos pilares do último pavimento / altura total	1/3050	1/2002

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

4.2.1 Resultados

A partir da concepção estrutural realizada com o auxílio do *software* Eberick V9, analisaremos os resultados obtidos no que diz respeito ao resumo de materiais. No Apêndice A está representada a planta de fôrma do pavimento tipo para o sistema com lajes maciças, e no Apêndice B está apresentado o detalhamento de alguns dos elementos estruturais dimensionados para este sistema estrutural.

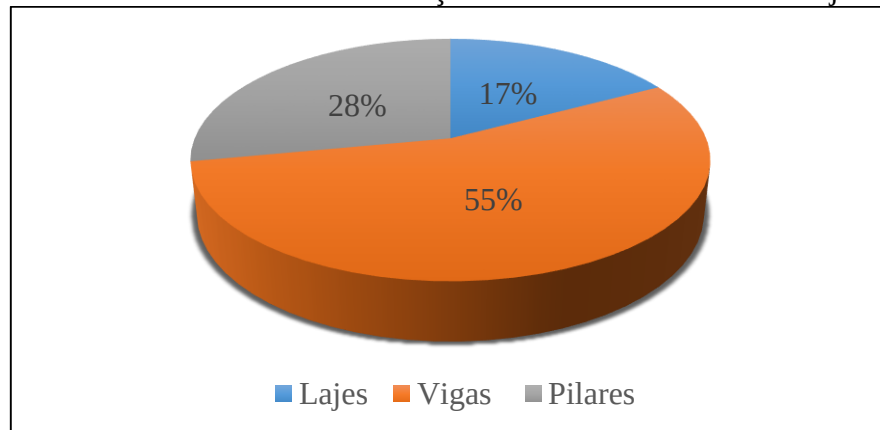
Nas Tabelas 14 a 17 estão apresentados os consumos de aço, concreto e fôrmas por elemento e por pavimento, e nas Figuras 19 a 21 estão apresentados os gráficos com os consumos percentuais de aço, concreto e fôrma, respectivamente.

Tabela 14 - Consumo de aço por elementos do sistema estrutural com lajes maciças

Consumo de aço + 10 % (kg)			
Pavimento	Elementos		
	Lajes	Vigas	Pilares
Reservatório	78	170,5	297,1
Cobertura	333,1	357,5	366,5
Tipo 8	630,1	2.123,2	1.222,8
Tipo 7	673,7	2.654,1	1.117,2
Tipo 6	676,2	2.748,1	1.024,7
Tipo 5	675,8	2.914,7	1.000,3
Tipo 4	676,2	3.102,2	1.026,8
Tipo 3	676,2	3.195,7	1.114,1
Tipo 2	676,2	3.345,9	1.214,3
Tipo 1	666,2	3.471,7	1.972,6
Mezanino	862,5	5.283,7	3.280,4
Térreo	900,5	4.231,2	4.181,8
Subsolo 3	2.441,1	6.593,3	3.173
Subsolo 2	2.694,2	3.374,1	2.097,6
Subsolo 1	2.734,8	3.064,4	2.013,9
Fundação	-	2.433	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 19 - Percentual de consumo de aço do sistema estrutural com lajes maciças



Fonte: Acervo da autora (2018).

Tabela 15 - Consumo de aço por bitola do sistema estrutural com lajes maciças

Aço	Diâmetro (mm)	Consumo de aço + 10 % (kg)			
		Vigas	Pilares	Lajes	Total
CA50	6,3	3.694,20	287,40	5.462,10	9.443,70
CA50	8	5.373,00	66,40	3.033,20	8.472,60
CA50	10	7.066,70	8.771,00	880,50	16.718,20
CA50	12,5	10.347,40	3.768,30	1.135,00	15.250,70
CA50	16	8.467,70	3.596,90	223,30	12.287,90
CA50	20	4.356,20	2.969,80		7.326,00
CA50	25	2.116,40			2.116,40
CA60	5	7.641,80	5.697,10	4.660,40	17.999,30

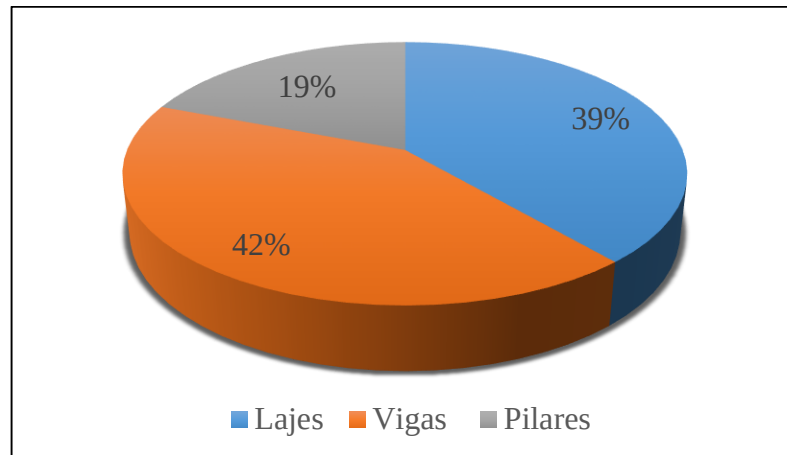
Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Tabela 16 - Consumo de concreto do sistema estrutural com lajes maciças

Consumo de concreto (m³)			
Pavimento	Elementos		
	Lajes	Vigas	Pilares
Reservatório	2,5	3,3	2,8
Cobertura	6,4	4,2	4
Tipo 8	26,8	30,3	12,6
Tipo 7 ao 2	26	28,6	12,6
Tipo 1	26	28,6	13
Mezanino	34,3	42,1	23,3
Térreo	20,9	39,2	29,7
Subsolo 3	61,2	58,5	26,3
Subsolo 2	73,1	49,4	23,9
Subsolo 1	71	47,9	23,9
Fundação	-	47	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 20 - Percentual de consumo de concreto do sistema estrutural com lajes maciças



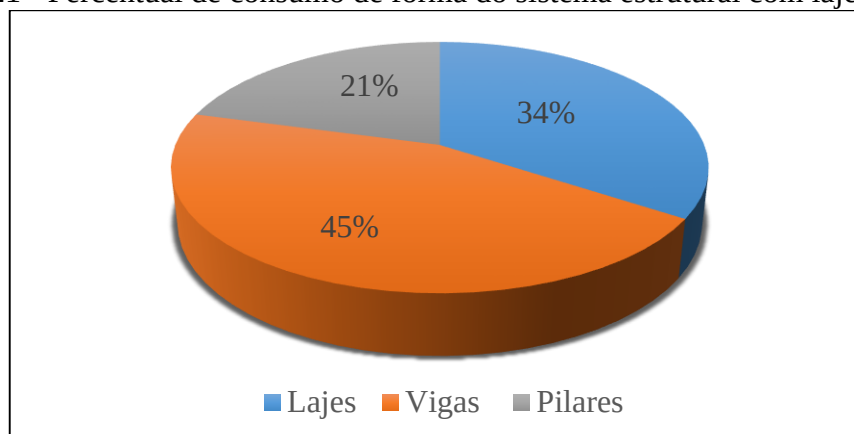
Fonte: Acervo da autora (2018).

Tabela 17 - Área de fôrma do sistema estrutural com lajes maciças

Pavimento	Área de fôrmas (m ²)		
	Elementos		
	Lajes	Vigas	Pilares
Reservatório	31,8	40,8	31,9
Cobertura	26,9	46,5	41,5
Tipo 8	257,4	343,3	144
Tipo 7 ao 2	257,6	322,6	144,3
Tipo 1	257,7	322,6	146,8
Mezanino	332,5	439,8	231,1
Térreo	206,1	401	306,6
Subsolo 3	508,7	556,6	267,6
Subsolo 2	557,2	494,6	249,1
Subsolo 1	551,6	483,4	249,1
Fundação	-	473	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 21 - Percentual de consumo de fôrma do sistema estrutural com lajes maciças



Fonte: Acervo da autora (2018).

A Tabela 18 abaixo apresenta os índices de consumo de materiais por elementos, por área e por volume de concreto.

Tabela 18 - Índices de consumo de materiais do sistema estrutural com lajes maciças

Elemento	Consumo por área			Consumo por volume de concreto	
	Concreto (m ³ /m ²)	Fôrma (m ² /m ²)	Aço (kg/m ²)	Fôrma (m ² /m ³)	Aço (kg/m ³)
Vigas	0,1	1,1	9,71	10,6	93,92
Pilares	0,05	0,56	5,52	10,72	104,79
Lajes	0,09	0,81	2,87	8,88	31,51
Escadas	0	0,04	0,18	10,29	49,03
Fundações	0,01	0,01	0,79	1,51	82,53
TOTAL	0,26	2,52	19,07	9,68	73,25

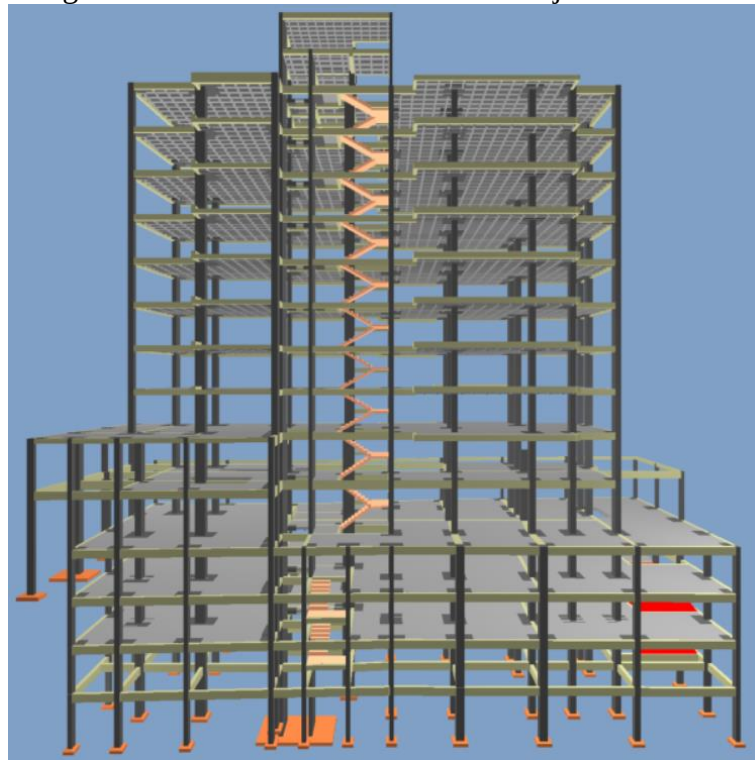
Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

4.3 SISTEMA ESTRUTURAL COM LAJES NERVURADAS

Para este dimensionamento, foi considerado f_{ck} para lajes, vigas e pilares de 35 MPa. O modelo com lajes nervuradas considera as lajes apoiadas sobre vigas nas extremidades e diretamente sobre os pilares centrais, prevendo capitéis nestes pilares. A Figura 22 apresenta o modelo estrutural para lajes nervuradas.

Foram adotadas lajes nervuradas com cubetas. Algumas lajes, por possuírem dimensões reduzidas, foram concebidas como maciças.

Figura 22 - Vista 3D da estrutura com lajes nervuradas



Fonte: Eberick V9 (2018).

Na Tabela 19 estão apresentadas as cargas verticais médias de cada pavimento, que é dada pela razão entre todas as cargas verticais características (peso-próprio, permanentes e acidentais) pela área total estimada do pavimento.

Tabela 19 - Relação de cargas verticais por área de cada pavimento para o sistema com lajes nervuradas

(continua)

Pavimento	Carregamentos verticais (kgf)	Área (m ²)	Carga/área (kgf/m ²)
Reservatório	24,13	36,63	658,56
Cobertura	60,11	35,96	1.671,69
Tipo 8	284,68	303,38	938,34
Tipo 7	422,3	303,33	1.392,22
Tipo 6	423,08	303,33	1.394,79
Tipo 5	423,43	303,33	1.395,95
Tipo 4	423,43	303,33	1.395,96
Tipo 3	423,43	303,33	1.395,95
Tipo 2	423,94	303,33	1.397,63
Tipo 1	422,75	303,33	1.393,68
Mezanino	501,26	392,18	1.278,15
Térreo	505,36	349,92	1.444,2
Subsolo 3	887,2	591,97	1.498,72

(conclusão)			
Subsolo 2	703,57	609,95	1.153,49
Subsolo 1	720,67	603,89	1.193,37
Fundação	314,76	-	-
TOTAL	6.964,1	5.047,19	1.379,8

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Os parâmetros de estabilidade obtidos na análise estrutural estão apresentados na Tabela 20, onde Gama-Z é o parâmetro para avaliação da estabilidade de uma estrutura.

Tabela 20 - Estabilidade global do sistema estrutural com lajes nervuradas

Parâmetro	x	y
Gama-Z	1,10 (lim 1,10)	1,08 (lim 1,10)
Deslocamento horizontal (cm)	1,3 (lim 2,69)	2,65 (lim 2,69)
Deslocamento máximo dos pilares do último pavimento (cm)	2,41	4,41
Deslocamento médio dos pilares do último pavimento (cm)	2,13	4,08
Deslocamento máximo dos pilares do último pavimento / altura total	1/1894	1/1035
Deslocamento médio dos pilares do último pavimento / altura total	1/2146	1/1118

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

4.3.1 Resultados

A partir da concepção estrutural realizada com o auxílio do *software* Eberick V9, analisaremos os resultados obtidos no que diz respeito ao resumo de materiais. No Apêndice C está representada a planta de fôrma do pavimento tipo para o sistema estrutural com lajes nervuradas, e no Apêndice D está apresentado o detalhamento de alguns dos elementos estruturais dimensionados para este sistema estrutural.

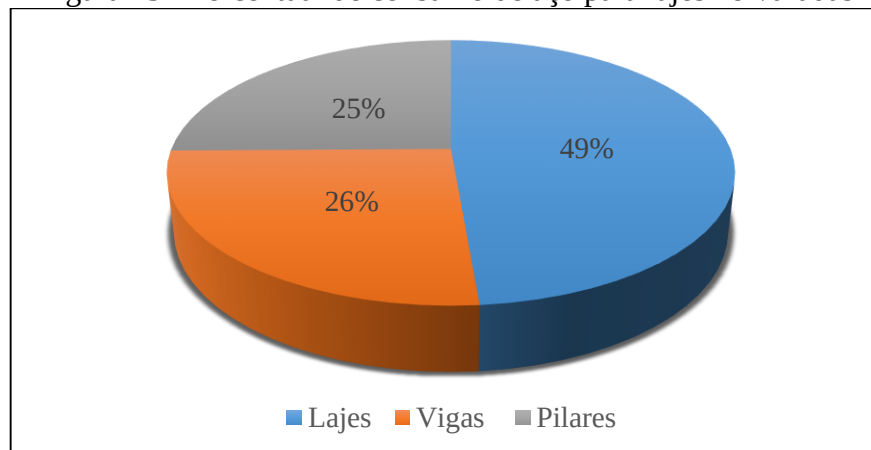
Nas Tabelas 21 a 23 estão apresentados os consumos de aço e concreto por elemento e por pavimento, e nas Figuras 23 e 24 estão apresentados os gráficos com os consumos percentuais de aço e concreto, respectivamente.

Tabela 21 - Consumo de aço por elementos do sistema estrutural com lajes nervuradas

Consumo de aço + 10 % (kg)			
Pavimento	Elementos		
	Lajes	Vigas	Pilares
Reservatório	123,9	177,7	220,9
Cobertura	110,4	394,8	744,4
Tipo 8	2116,5	1371,2	1459,2
Tipo 7	3905,7	872,6	1330,5
Tipo 6	3853,1	987,3	1150,5
Tipo 5	3858,3	1138	1193,4
Tipo 4	3863	1301,9	1215,9
Tipo 3	3856,9	1413,8	1205,1
Tipo 2	3858,4	1493,4	1276,2
Tipo 1	3910	1379,4	1675,1
Mezanino	4641,5	2023,2	3199,8
Térreo	2548,7	4433,8	5393,7
Subsolo 3	6710,8	7611,3	4314,8
Subsolo 2	7408,2	1910	2784,9
Subsolo 1	6323,4	1734,9	2400
Fundação	-	2430,4	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 23 - Percentual de consumo de aço para lajes nervuradas



Fonte: Acervo da autora (2018).

Tabela 22 - Consumo de aço por bitola do sistema estrutural com lajes nervuradas
(continua)

Aço	Diâmetro (mm)	Consumo de aço + 10 % (kg)			
		Vigas	Pilares	Lajes	Total
CA50	6,3	1.288,90	398,10	5.911,80	7.598,80
CA50	8	3.592,90	15,80	11.387,50	14.996,20
CA50	10	4.561,60	5.816,60	11.533,00	21.911,20
CA50	12,5	3.471,90	3.603,80	14.571,70	21.647,40

(conclusão)					
CA50	16	4.384,30	6.410,20	7.999,40	18.793,90
CA50	20	4.683,60	2.463,40		7.147,00
CA50	25	4.791,30	3.048,60		7.839,90
CA60	5	3.899,30	7.807,80	5.685,50	17.392,60

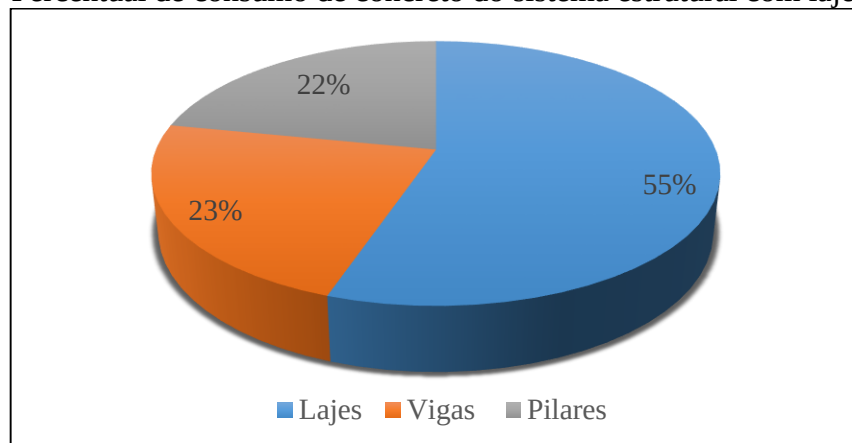
Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Tabela 23 - Consumo de concreto do sistema estrutural com lajes nervuradas

Consumo de concreto (m³)			
Pavimento	Elementos		
	Lajes	Vigas	Pilares
Reservatório	4,3	2	2,5
Cobertura	5	3,2	4,2
Tipo 8	40,5	15,9	18,6
Tipo 7 ao 2	53,2	11,8	18,6
Tipo 1	53,1	12	18,6
Mezanino	65,2	18	26,9
Térreo	33,8	30,6	33,9
Subsolo 3	87,9	39,3	31,9
Subsolo 2	108,3	25,8	29,5
Subsolo 1	89,8	25,1	29,5
Fundação	-	40,9	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 24 - Percentual de consumo de concreto do sistema estrutural com lajes nervuradas



Fonte: Acervo da autora (2018).

Na Tabela 24 está apresentado o quantitativo de fôrma, sendo que esta aborda somente as lajes maciças que foram utilizadas neste sistema em função de possuírem dimensões pequenas. O quantitativo das cubetas referentes às lajes nervuradas segue apresentado na Tabela 25, em quantidade e em área.

Tabela 24 - Área de fôrma do sistema estrutural com lajes nervuradas

Área de fôrma (m²)			
Pavimento	Elementos		
	Lajes maciças	Vigas	Pilares
Reservatório	0	24,9	27,4
Cobertura	0	35,5	43,7
Tipo 8	21,6	173	156,2
Tipo 7 ao 2	21,6	136,1	156,2
Tipo 1	21,6	138,1	156,2
Mezanino	23,9	188,3	224,3
Térreo	22	301,4	297,2
Subsolo 3	4	327,9	279,9
Subsolo 2	106,1	261,6	261,3
Subsolo 1	106	254,7	261,3
Fundação	-	412,3	-

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Tabela 25 - Quantitativos de cubetas para lajes nervuradas

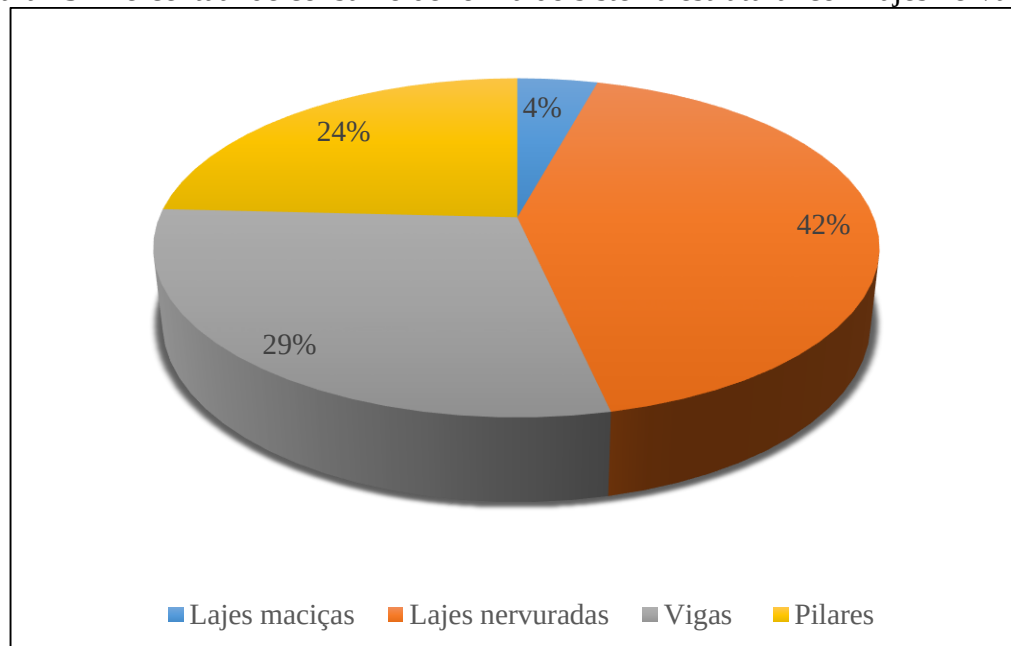
(continua)

Blocos de enchimento do tipo cubetas						
Pavimento	Nome	Dimensões (cm)			Quantidade	Área total (m²)
		hb	bx	by		
Reservatório	B18/60/60	18	60	60	73	26,28
	B18/30/60	18	30	60	12	2,16
	B18/60/30	18	60	30	14	2,52
Cobertura	B20/80/80	20	80	80	19	12,16
	B20/40/80	20	40	80	22	7,04
	B20/80/40	20	80	40	13	4,16
Tipo 8	B20/80/80	20	80	80	263	168,32
	B20/40/80	20	40	80	86	27,52
	B20/80/40	20	80	40	38	12,16
Tipo 2 ao 7	B20/80/80	20	80	80	265	169,6
	B20/40/80	20	40	80	73	23,36
	B20/80/40	20	80	40	46	14,72
Tipo 1	B20/80/80	20	80	80	266	170,24
	B20/40/80	20	40	80	73	23,36
	B20/80/40	20	80	40	46	14,72
Mezanino	B20/80/80	20	80	80	237	151,68
	B20/40/80	20	40	80	62	19,84
	B20/80/40	20	80	40	34	10,88
	B30/80/80	30	80	80	90	57,6
	B30/40/80	30	40	80	18	5,76
	B30/80/40	30	80	40	11	3,52

(conclusão)						
Térreo	B20/80/80	20	80	80	148	94,72
	B20/40/80	20	40	80	45	14,4
	B20/80/40	20	80	40	24	7,68
	B25/80/80	25	80	80	18	11,52
	B25/40/80	25	40	80	12	3,84
	B25/80/40	25	80	40	6	1,92
Subsolo 3	B20/80/80	20	80	80	520	332,8
	B20/40/80	20	40	80	169	54,08
	B20/80/40	20	80	40	73	23,36
Subsolo 2	B20/80/80	20	80	80	495	316,8
	B20/40/80	20	40	80	130	41,6
	B20/80/40	20	80	40	53	16,96
Subsolo 1	B20/80/80	20	80	80	493	315,52
	B20/40/80	20	40	80	129	41,28
	B20/80/40	20	80	40	47	15,04
ÁREA TOTAL (M²):						3.258,16

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

Figura 25 - Percentual de consumo de fôrma do sistema estrutural com lajes nervuradas



Fonte: Acervo da autora (2018).

A Tabela 26 abaixo apresenta os índices de consumo de materiais por elementos, por área e por volume de concreto.

Tabela 26 - Índices de consumo de materiais do sistema estrutural com lajes nervuradas

Elemento	Consumo por área			Consumo por volume de concreto	
	Concreto (m ³ /m ²)	Fôrma (m ² /m ²)	Aço (kg/m ²)	Fôrma (m ² /m ³)	Aço (kg/m ³)
Vigas	0,06	0,58	6,08	10,35	107,83
Pilares	0,07	0,59	6,48	8,64	94,85
Lajes	0,16	0,05	11,13	0,31	71,22
Escadas	0	0,04	0,18	10,29	48,54
Fundações	0,01	0,01	0,92	1,27	81,66
TOTAL	0,3	1,27	24,78	4,3	83,77

Fonte: Relatório Eberick V9 (2018).

5 ORÇAMENTAÇÃO

Com o quantitativo de materiais foi possível realizar a orçamentação, adotando valores estipulados pela SINAPI 09/2018. Estas tabelas foram utilizadas tanto para obtenção de custos unitários de material e mão de obra, quanto para especificar os coeficientes necessários para as funções da composição dos custos.

5.1 ORÇAMENTAÇÃO DO SISTEMA COM LAJES MACIÇAS

Na Tabela 27 está apresentado o orçamento para o sistema estrutural com utilização de lajes maciças, sendo que para a fôrma dos elementos foi considerada reutilização das mesmas 4 vezes, assim, foi considerado $\frac{1}{4}$ dos quantitativos deste material. As composições de cada item estão apresentadas no Apêndice E.

Tabela 27 - Orçamento do sistema estrutural com lajes maciças

(continua)

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA							
ITEM	CÓD. SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	QTD	UN	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	% DE CUSTO DA ETAPA
1.		CONCRETO	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 511.815,67	43%
1.1	92740	Concretagem de vigas e lajes, fck = 35 MPa, para lajes maciças ou nervuradas	1.000,3	m³	R\$ 415,35	R\$ 415.474,10	35%
1.2	92722	Concretagem de pilares, fck = 35 MPa	235,1	m³	R\$ 409,79	R\$ 96.341,57	8%
2.		ARMADURA	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 494.598,45	41,73%
2.1	92791	Aço CA-60, diâmetro de 5,0 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	13.338,9	kg	R\$ 6,46	R\$ 86.169,29	7,27%

(continuação)

2.2	92792	Aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	3.981,6	kg	R\$ 6,01	R\$ 23.929,42	2,02%
2.3	92793	Aço CA-50, diâmetro de 8 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	5.439,4	kg	R\$ 6,44	R\$ 35.029,74	2,96%
2.4	92794	Aço CA-50, diâmetro de 10 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	15.837,7	kg	R\$ 5,33	R\$ 84.414,94	7,12%
2.5	92795	Aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	14.115,7	kg	R\$ 4,97	R\$ 70.155,03	5,92%
2.6	92796	Aço CA-50, diâmetro de 16 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	12.064,6	kg	R\$ 4,90	R\$ 59.116,54	4,99%
2.7	92797	Aço CA-50, diâmetro de 20 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	7.326,0	kg	R\$ 4,66	R\$ 34.139,16	2,88%
2.8	92798	Aço CA-50, diâmetro de 25 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	2.116,4	kg	R\$ 5,38	R\$ 11.386,23	0,96%
2.9	92800	Aço CA-60, diâmetro de 5,0 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	4.660,4	kg	R\$ 6,06	R\$ 28.242,02	2,38%
2.10	92801	Aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	5.462,1	kg	R\$ 5,78	R\$ 31.570,94	2,66%
2.11	92802	Aço CA-50, diâmetro de 8 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	3.033,2	kg	R\$ 6,31	R\$ 19.139,49	1,61%

(conclusão)

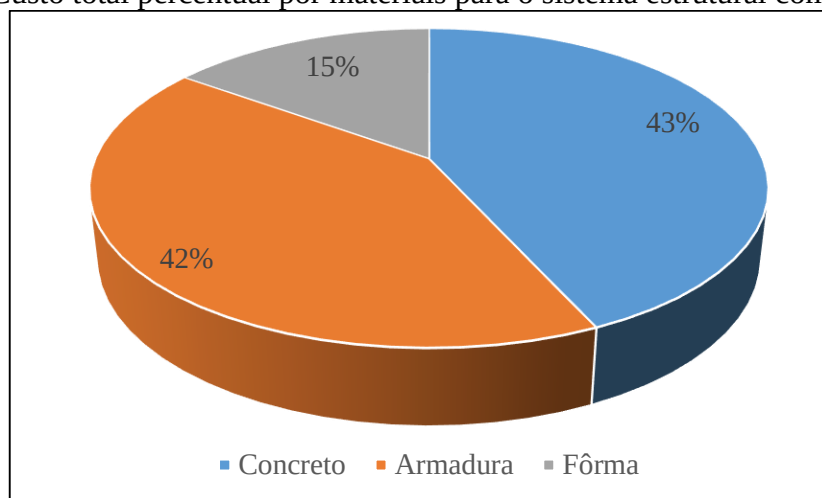
2.12	92803	Aço CA-50, diâmetro de 10 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	880,5	kg	R\$ 5,25	R\$ 4.622,63	0,39%
2.13	92804	Aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	1.135,0	kg	R\$ 4,93	R\$ 5.595,55	0,47%
2.14	92805	Aço CA-50, diâmetro de 16 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	223,3	kg	R\$ 4,87	R\$ 1.087,47	0,09%

3.		FÔRMA	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 178.916,57	15,09%
3.1	92486	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, 4 utilizações	746,9	m ²	R\$ 92,97	R\$ 69.436,97	5,86%
3.2	92448	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, 4 utilizações	981,1	m ²	R\$ 80,38	R\$ 78.856,80	6,65%
3.3	92413	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares, 4 utilizações	453,0	m ²	R\$ 67,60	R\$ 30.622,80	2,58%
TOTAL:						R\$ 1.185.330,69	100,00%

Fonte: Acervo da autora (2018).

A Figura 26 representa o custo percentual total de concreto, armadura e fôrma para o sistema estrutural com lajes maciças.

Figura 26 - Custo total percentual por materiais para o sistema estrutural com lajes maciças



Fonte: Acervo da autora (2018).

5.2 ORÇAMENTAÇÃO DO SISTEMA COM LAJES NERVURADAS

Para a orçamentação deste sistema, a SINAPI não fornece valores de aluguel de cubetas com as dimensões necessárias para o projeto em questão. Assim, foi solicitada a cotação do aluguel das cubetas com a empresa Atex Brasil – RS, o mesmo consta apresentado no Anexo B. O custo do aluguel dá-se pela quantidade de cubetas e de dias de locação, dessa forma, foi elaborada a Tabela 28 para ser possível verificar qual o custo mensal pela área de lajes.

Tabela 28 - Custo de locação de cubetas para lajes nervuradas

Cubetas	Qtd	Aluguel/un/dia	Aluguel total mensal	Área un cubetas	Área total (m²)	Aluguel mensal/m²
B18/60/60	73	R\$ 0,21	R\$ 459,90	0,36	26,28	R\$ 17,50
B18/30/60	26	R\$ 0,21	R\$ 163,80	0,18	4,68	R\$ 35,00
B20/80/80	4032	R\$ 0,39	R\$ 47.174,40	0,64	2580,48	R\$ 18,28
B20/40/80	1758	R\$ 0,39	R\$ 20.568,60	0,32	562,56	R\$ 36,56
B30/80/80	90	R\$ 0,43	R\$ 1.161,00	0,64	57,6	R\$ 20,16
B30/40/80	29	R\$ 0,43	R\$ 374,10	0,32	9,28	R\$ 40,31
B25/80/80	18	R\$ 0,40	R\$ 216,00	0,64	11,52	R\$ 18,75
B25/40/80	18	R\$ 0,40	R\$ 216,00	0,32	5,76	R\$ 37,50

Fonte: Acervo da autora (2018).

Com os valores de aluguel de cubetas mensais por área, foram alteradas as composições de montagem e desmontagem de fôrma das lajes nervuradas. Todas as composições utilizadas nos orçamentos estão apresentadas no Apêndice E.

Na Tabela 29 está apresentado o orçamento para o sistema estrutural com utilização de lajes nervuradas. Considerando que as cubetas poderão ser reaproveitadas 12 vezes, e que aquelas com dimensão 20/80/80 e 20/40/80 serão utilizadas em diferentes pavimentos, considerou-se a locação de $\frac{1}{12}$ destas. Para vigas, pilares e lajes maciças considerou-se reutilização da fôrma 4 vezes, assim, foi considerado $\frac{1}{4}$ dos quantitativos destes.

Tabela 29 - Orçamento do sistema estrutural com lajes nervuradas

(continua)

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA							
ITEM	CÓD. SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	QTD	UN	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL	% DE CUSTO DA ETAPA
1.		CONCRETO	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 579.241,39	44%
1.1	92740	Concretagem de vigas e lajes, fck = 35 MPa, para lajes maciças ou nervuradas	1.091,5	m³	R\$ 415,35	R\$ 453.353,98	34%
1.2	92722	Concretagem de pilares, fck = 35 MPa	307,2	m³	R\$ 409,79	R\$ 125.887,41	10%
2.		ARMADURA	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 639.688,80	48,39%
2.1	92791	Aço CA-60, diâmetro de 5,0 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	11.707,1	kg	R\$ 6,46	R\$ 75.627,87	5,72%
2.2	92792	Aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	1.687,0	kg	R\$ 6,01	R\$ 10.138,87	0,77%
2.3	92793	Aço CA-50, diâmetro de 8 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	3.608,7	kg	R\$ 6,44	R\$ 23.240,03	1,76%

(continuação)

2.4	92794	Aço CA-50, diâmetro de 10 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	10.378,2	kg	R\$ 5,33	R\$ 55.315,81	4,18%
2.5	92795	Aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	7.075,7	kg	R\$ 4,97	R\$ 35.166,23	2,66%
2.6	92796	Aço CA-50, diâmetro de 16 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	10.794,5	kg	R\$ 4,90	R\$ 52.893,05	4,00%
2.7	92797	Aço CA-50, diâmetro de 20 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	7.147,0	kg	R\$ 4,66	R\$ 33.305,02	2,52%
2.8	92798	Aço CA-50, diâmetro de 25 mm, cortado e dobrado, utilizado para vigas e pilares	7.839,9	kg	R\$ 5,38	R\$ 42.178,66	3,19%
2.9	92800	Aço CA-60, diâmetro de 5,0 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	5.685,5	kg	R\$ 6,06	R\$ 34.454,13	2,61%
2.10	92801	Aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	5.911,8	kg	R\$ 5,78	R\$ 34.170,20	2,58%
2.11	92802	Aço CA-50, diâmetro de 8 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	11.387,5	kg	R\$ 6,31	R\$ 71.855,13	5,44%
2.12	92803	Aço CA-50, diâmetro de 10 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	11.533,0	kg	R\$ 5,25	R\$ 60.548,25	4,58%
2.13	92804	Aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	14.571,7	kg	R\$ 4,93	R\$ 71.838,48	5,43%

(continuação)

2.14	92805	Aço CA-50, diâmetro de 16 mm, cortado e dobrado, utilizado para lajes	7.999,4	kg	R\$ 4,87	R\$ 38.957,08	2,95%
3.		FÔRMA	SUBTOTAL DO ITEM:			R\$ 84.382,29	7,79%
3.1	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B18/60/60	26,3	m²	R\$ 44,93	R\$ 1.180,78	0,09%
3.2	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B18/30/60	4,7	m²	R\$ 62,43	R\$ 292,18	0,02%
3.3	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B20/80/80, 12 utilizações	215,0	m²	R\$ 45,71	R\$ 9.829,67	0,74%
3.4	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B20/40/80, 12 utilizações	46,9	m²	R\$ 63,99	R\$ 2.999,89	0,23%
3.5	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B30/80/80	57,6	m²	R\$ 47,59	R\$ 2.741,24	0,21%
3.6	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B30/40/80	9,3	m²	R\$ 67,74	R\$ 628,64	0,05%

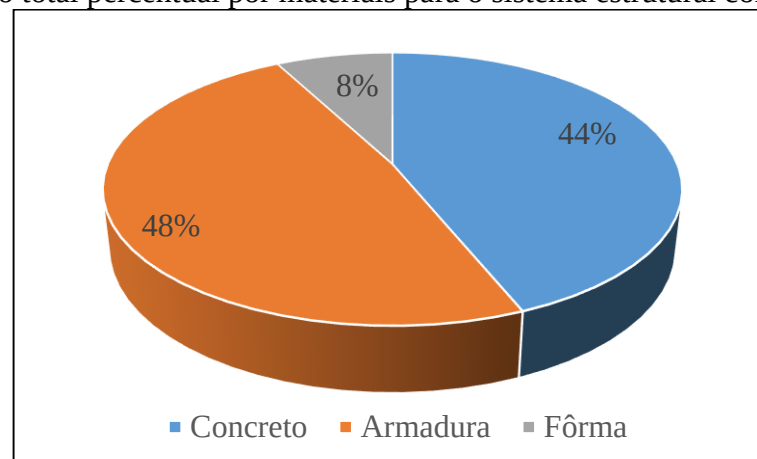
(conclusão)

3.7	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B25/80/80	11,5	m ²	R\$ 46,18	R\$ 532,00	0,04%
3.8	92497	Montagem e desmontagem de fôrma de laje nervurada, com cubeta e assoalho - B25/40/80	5,8	m ²	R\$ 64,93	R\$ 374,00	0,03%
3.9	92486	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça, 4 utilizações	81,7	m ²	R\$ 92,97	R\$ 7.595,65	0,57%
3.10	92448	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, 4 utilizações	563,5	m ²	R\$ 80,38	R\$ 45.290,11	3,43%
3.11	92413	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares, 4 utilizações	465,9	m ²	R\$ 67,60	R\$ 31.496,53	2,38%
TOTAL:						R\$ 1.321.890,88	100,00%

Fonte: Acervo da autora (2018).

A Figura 27 representa o custo percentual total de concreto, armadura e fôrma para o sistema estrutural com lajes nervuradas.

Figura 27 - Custo total percentual por materiais para o sistema estrutural com lajes nervuradas



Fonte: Acervo da autora (2018).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão feitas as comparações entre os dois sistemas estruturais, com lajes maciças e lajes nervuradas, tanto na questão de consumo de materiais, como concreto, aço e fôrma, quanto na questão orçamentária, comparando o custo de materiais e o custo total entre os dois sistemas.

6.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONSUMO DE MATERIAIS

A análise do consumo de materiais será dividida por materiais e por elementos estruturais, de forma a otimizar a comparação.

6.1.1 Concreto

Na Figura 28 é possível visualizar a comparação do consumo de concreto entre os dois sistemas estruturais e seus elementos, conforme está descrito nos itens 6.1.1.1 a 6.1.1.3.

6.1.1.1 Lajes

Apesar de as lajes nervuradas diminuïrem o consumo de concreto devido à eliminação do material abaixo da linha neutra, quando em comparação com lajes maciças, cuja espessura média é de 10 cm, observa-se um consumo maior de concreto, devido à maior altura solicitada para o elemento.

No sistema estrutural com lajes nervuradas, estes elementos consumiram 41 % a mais de concreto do que no sistema estrutural com lajes maciças.

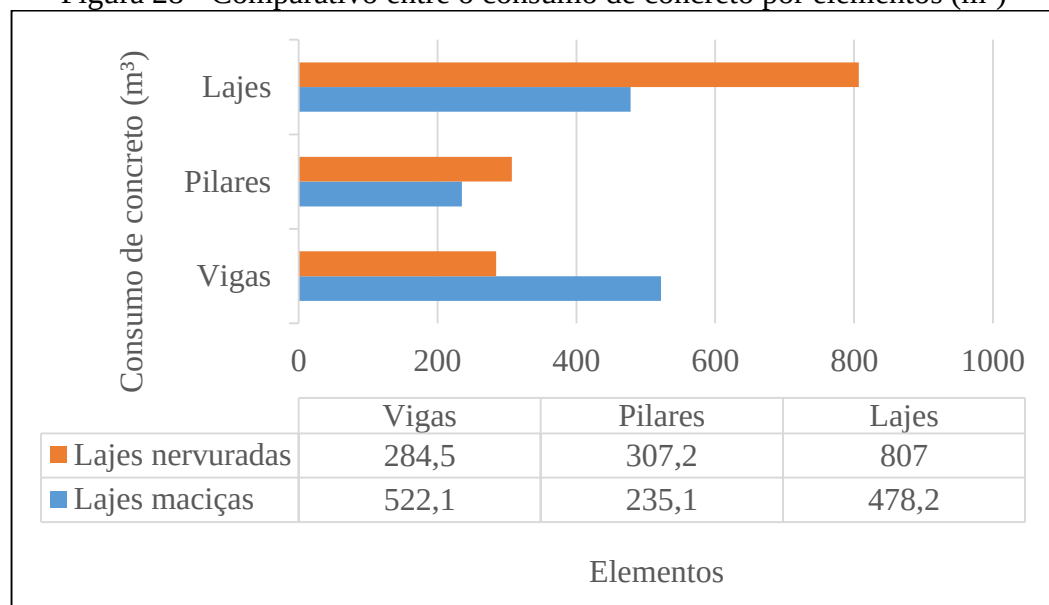
6.1.1.2 Vigas

O sistema estrutural com lajes nervuradas não requer o uso de vigas da mesma forma que o sistema com lajes maciças, dessa forma, foi considerado apenas vigas de bordo, vigas no contorno das lajes maciças de dimensões pequenas, vigas de transição em pavimentos onde nasçam pilares, e em pontos onde foi necessário para garantir a rigidez da estrutura. Dessa forma, no sistema estrutural com lajes maciças estes elementos consumiram 46 % a mais de concreto do que no sistema estrutural com lajes nervuradas.

6.1.1.3 Pilares

Os projetos com lajes nervuradas possibilitam a redução do número de pilares, propiciando um aumento dos vãos livres. Em contrapartida, pela questão de estabilidade global têm-se a necessidade de aumentar a seção dos pilares restantes. Por estas questões, o sistema estrutural com lajes nervuradas tem um consumo de 23 % a mais de concreto nos pilares do que o sistema com lajes maciças.

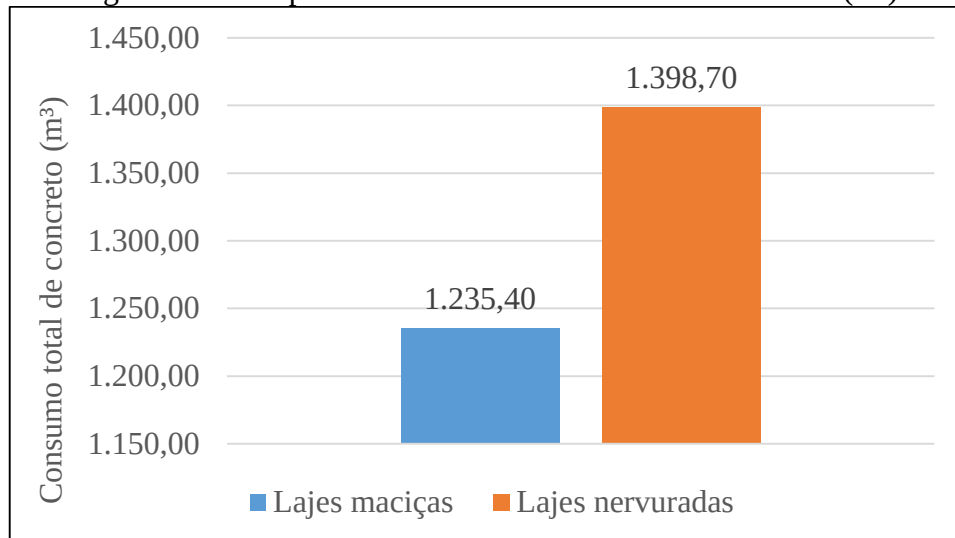
Figura 28 - Comparativo entre o consumo de concreto por elementos (m³)



Fonte: Acervo da autora (2018).

Na Figura 29 está apresentado um gráfico com o consumo total de concreto para as duas estruturas. Nele é possível verificar que o sistema com lajes nervuradas apresentou consumo de 12 % a mais de concreto do que o sistema com lajes maciças, cerca de 163 m³.

Figura 29 - Comparativo entre o consumo total de concreto (m³)



Fonte: Acervo da autora (2018).

6.1.2 Aço

Na Figura 30 é possível visualizar a comparação do consumo de aço entre os dois sistemas estruturais e seus elementos, conforme está descrito nos itens 6.1.2.1 a 6.1.2.3.

6.1.2.1 Lajes

O elemento com a maior disparidade entre os consumos de aço foram as lajes, onde as nervuradas consomem 73 % a mais deste material do que as maciças. Isto se deve ao fato de que as lajes nervuradas necessitam de armadura de punção, o que eleva o consumo de aço nestes elementos.

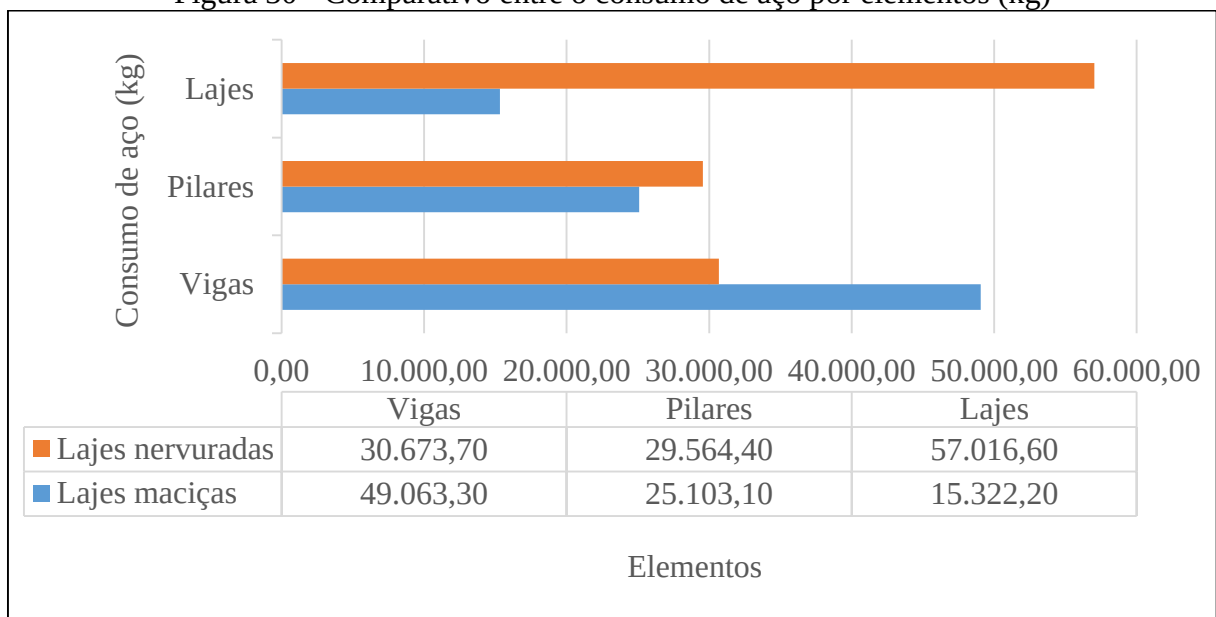
6.1.2.2 Vigas

O consumo de aço em vigas acaba por ser maior para o sistema com lajes maciças, isso porque estas lajes não vencem vãos com dimensões elevadas como as nervuradas, por isso, têm a necessidade de haver maior quantidade de vigas para servirem de apoio para estes elementos. O consumo de aço em vigas para o sistema de lajes maciças supera em 37 % o consumido para o sistema de lajes nervuradas.

6.1.2.3 Pilares

O consumo de aço em pilares para o sistema com lajes nervuradas supera em 15 % o previsto para lajes maciças. Da mesma forma como o visto para o consumo de concreto, no item 6.1.1.3, o sistema com lajes nervuradas possibilita a redução da quantidade de pilares, porém têm-se a necessidade de aumentar a seção dos pilares restantes. Dessa forma, há um maior consumo de aço para este sistema.

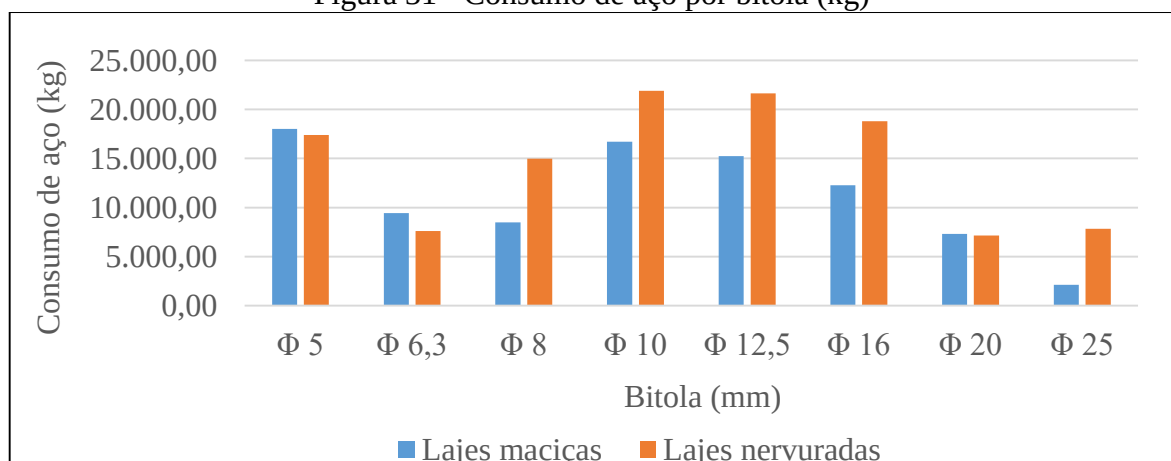
Figura 30 - Comparativo entre o consumo de aço por elementos (kg)



Fonte: Acervo da autora (2018).

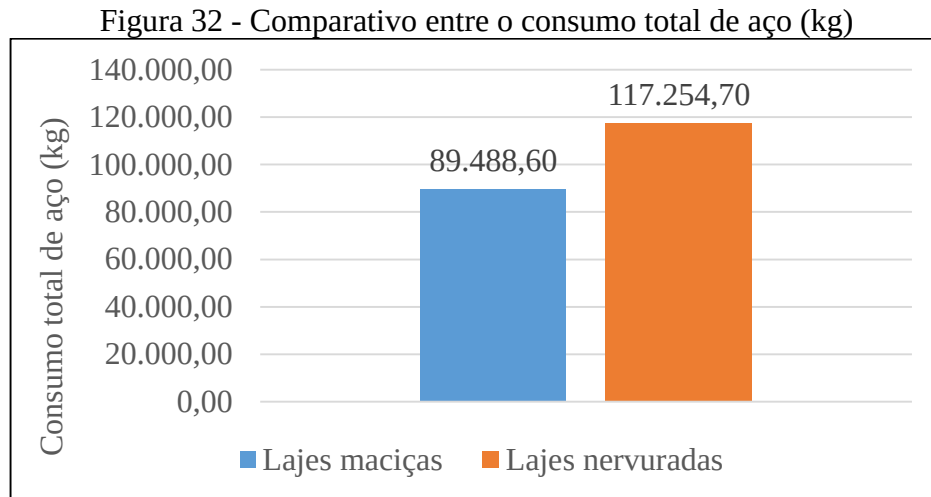
A Figura 31 apresenta o consumo total de aço por bitola para os dois sistemas estruturais. Esta diferença nas bitolas vai influenciar diretamente o orçamento.

Figura 31 - Consumo de aço por bitola (kg)



Fonte: Acervo da autora (2018).

Na Figura 32 está apresentado um gráfico com o consumo total de aço para as duas estruturas. Nele é possível verificar que o sistema com lajes nervuradas apresentou consumo de 24 % a mais de aço do que o sistema com lajes maciças, cerca de 27.767 kg.



Fonte: Acervo da autora (2018).

6.1.3 Fôrma

Na Figura 33 é possível visualizar a comparação do consumo de fôrma entre os dois sistemas estruturais e seus elementos, conforme está descrito nos itens 6.1.3.1 a 6.1.3.3.

6.1.3.1 Lajes

As lajes maciças apresentam um consumo de 14 % a mais de fôrma do que as lajes nervuradas.

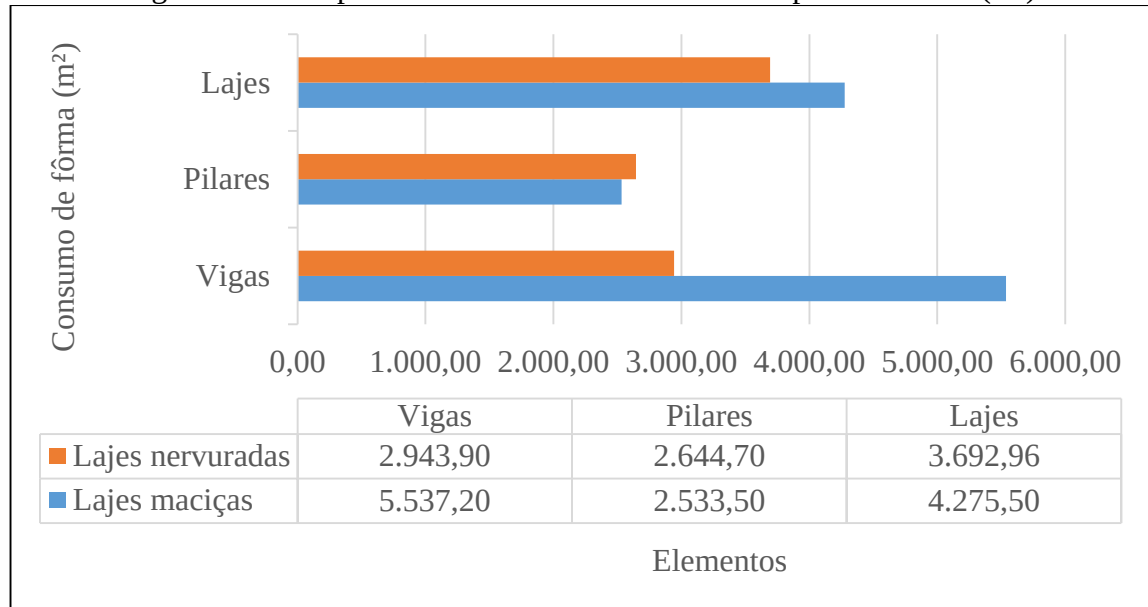
6.1.3.2 Vigas

Seguindo a tendência dos consumos de concreto e aço, para fôrma nota-se também um consumo maior na estrutura com lajes maciças, de 47 % a mais.

6.1.3.3 Pilares

Como nos consumos de concreto e aço, os pilares da estrutura com lajes nervuradas demandam uma maior quantidade de fôrma do que para a estrutura com lajes maciças, devido ao aumento de seção para este caso, sendo necessário 4 % a mais de fôrma para estes elementos.

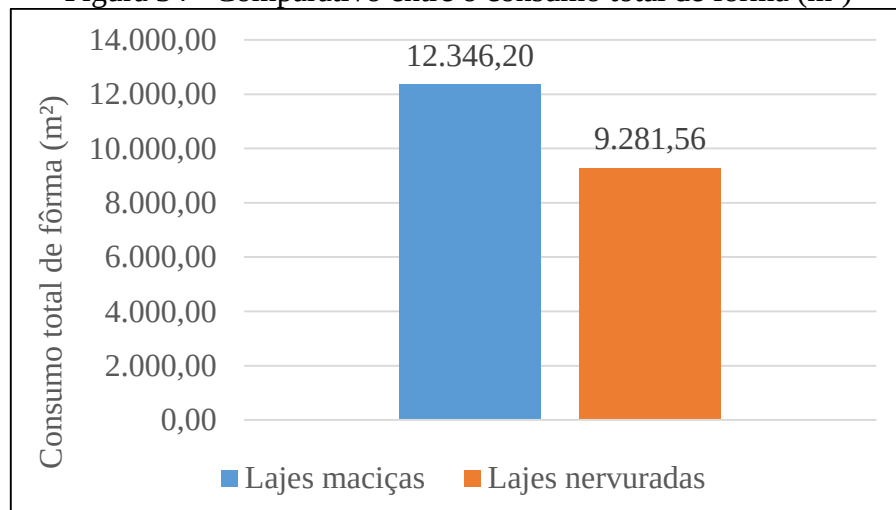
Figura 33 - Comparativo entre o consumo de fôrma por elementos (m²)



Fonte: Acervo da autora (2018).

Na Figura 34 está apresentado um gráfico com o consumo total de fôrma para as duas estruturas. Nele é possível verificar que o sistema com lajes maciças apresentou consumo de 25 % a mais de fôrma do que o sistema com lajes nervuradas, cerca de 3.065 m².

Figura 34 - Comparativo entre o consumo total de fôrma (m²)



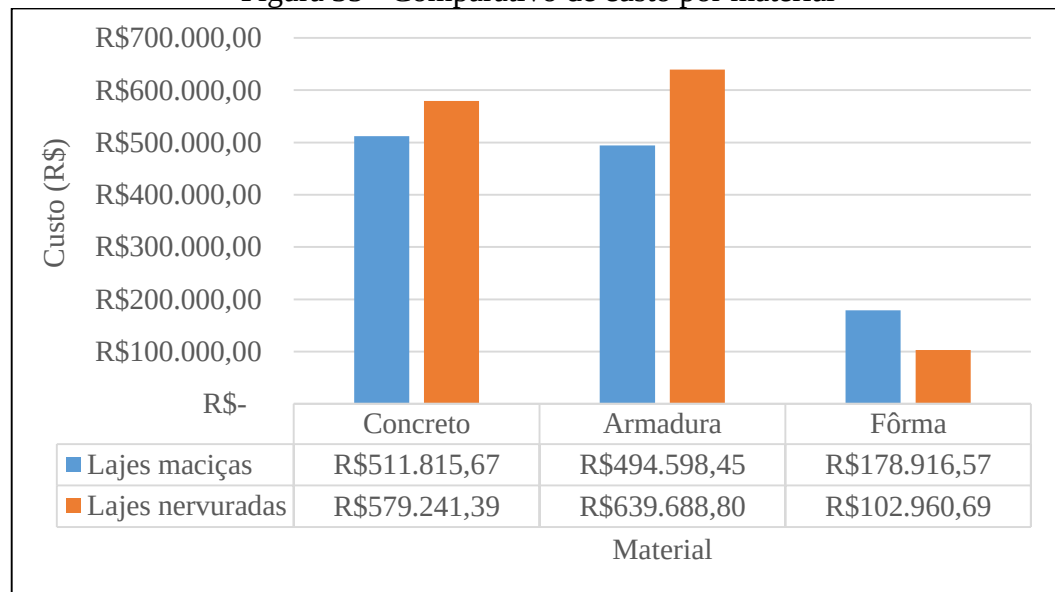
Fonte: Acervo da autora (2018).

6.2 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CUSTOS

6.2.1 Comparação entre custos por materiais

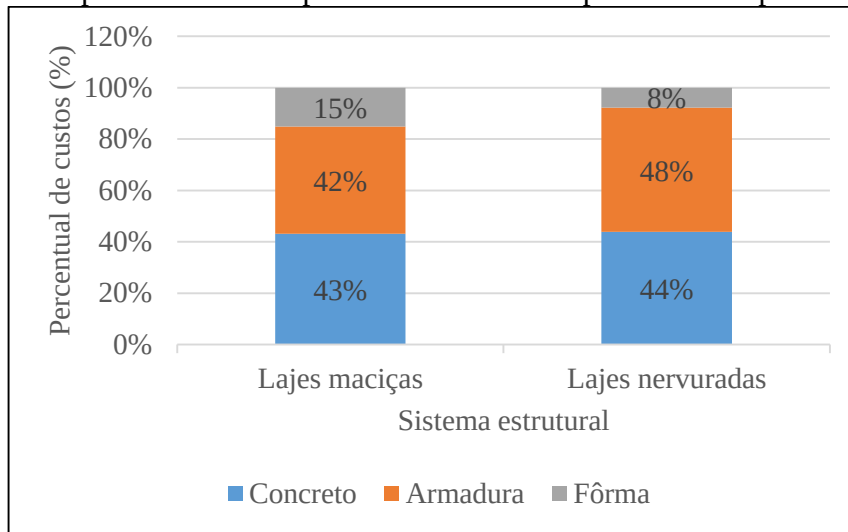
Na Figura 35 e na Figura 36 temos gráficos com o comparativo de custo por material para cada sistema, e seus percentuais, respectivamente. É possível verificar que em concreto e armadura o sistema de lajes nervuradas supera o sistema de lajes maciças, sendo 12 % mais oneroso em custo de concreto e 23 % mais oneroso em custo de aço. Já no quesito fôrma, a estrutura de lajes maciças supera a nervurada em 42% na questão de custos. Isto devido à vantagem que as cubetas propiciam, de poder reutilizá-las mais vezes do que a fôrma convencional de lajes maciças.

Figura 35 - Comparativo de custo por material



Fonte: Acervo da autora (2018).

Figura 36 - Comparativo entre os percentuais de custos por materiais para cada estrutura

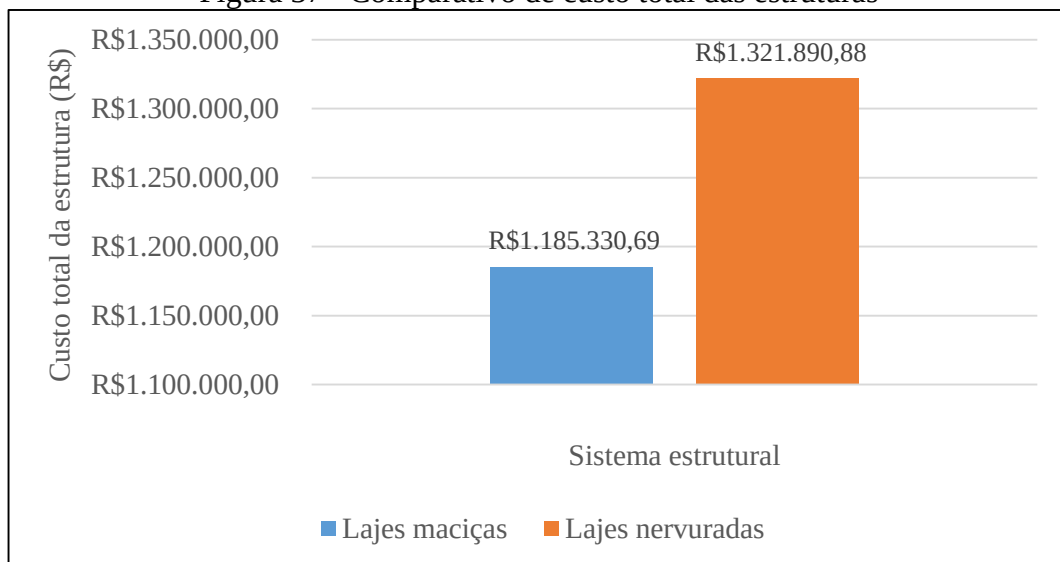


Fonte: Acervo da autora (2018).

6.2.2 Comparação entre o custo global

Na Figura 37, podemos perceber que a estrutura com lajes nervuradas apresenta-se mais cara do que a estrutura com lajes maciças. O custo total, incluindo material e mão de obra, da estrutura com lajes nervuradas é 10 % maior, o que significa que, neste estudo de caso, optando pelo sistema de lajes maciças têm-se uma economia de R\$ 136.560,19.

Figura 37 - Comparativo de custo total das estruturas



Fonte: Acervo da autora (2018).

7 CONCLUSÃO

Este estudo teve por finalidade analisar as diferenças que a escolha de lajes nervuradas implicaria no custo da estrutura de um edifício de uso misto em concreto armado, em comparação com lajes maciças, e se esta escolha traria vantagens econômicas. As lajes nervuradas podem causar uma redução considerável no consumo de concreto e aço, dependendo do caso em que se aplica, e a economia com fôrma é significativa, pois este sistema permite um aproveitamento muito maior deste material. Este sistema também permite uma maior amplitude de vãos, proporcionando *layouts* mais flexíveis.

Porém, para esse estudo de caso, conforme as informações e análises apresentadas, o sistema estrutural com lajes nervuradas tornou-se desvantajoso economicamente, sendo 10 % mais oneroso do que o sistema com lajes maciças, necessitando de um consumo muito maior de concreto e armadura. No consumo de fôrma esse sistema apresentou vantagem, porém não o suficiente para torná-lo vantajoso. Dessa forma, as lajes maciças apresentaram o maior custo-benefício, atendendo a todas as especificações do projeto arquitetônico de maneira mais econômica.

Para finalizar este estudo, trago como sugestão a novas pesquisas que seja feita esta análise para uma edificação de maior porte, que tenha necessidades arquitetônicas diferentes das apresentadas neste projeto, como por exemplo, em edificações industriais e culturais, que requerem maiores espaços livres entre vãos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 108 p. Dissertação, Engenharia de Estruturas – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003. v. 1.

_____. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v. 1.

_____. **Curso de Concreto Armado**. 2. ed. Rio Grande: Dunas, 2003. v. 2.

_____. **Curso de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v. 2.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

_____. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 12.721: Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 14.859-2: Lajes pré-fabricadas – Requisitos parte 2 – Lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 15.421: Projeto de estruturas resistentes a sismos – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de Aula da disciplina Estruturas de Concreto I – Fundamentos do Concreto Armado**. Curso de graduação em engenharia civil – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto I – Lajes de Concreto**. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2015. Disponível em:
<<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto II – Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2017. Disponível em:
<<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Cortante.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2018.

BOCCHI JÚNIOR, C. F. **Lajes nervuradas de concreto armado: projeto e execução**. 1995. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

BRASIL. Lei n. 4.591, de 16 de dezembro de 1964. Dispõe sobre o condomínio em edificações e as incorporações imobiliárias. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4591.htm>. Acesso em: 20 mai. 2018.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2009. 589 p. v. 2.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jason Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado – segundo a NBR 6118:2003**. 2. Ed. São Carlos: UFSCar, 2004. 374 p. il.

CUNHA, Albino Joaquim Pimenta da; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de. **Lajes em Concreto Armado e Protendido**. 2. ed. Rio de Janeiro: UERJ, 1998. 580 p.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2012. 199 p.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Estruturas de concreto – Fundamentos do projeto estrutural**. 1. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, Universidade de São Paulo, 1976. 298 p.

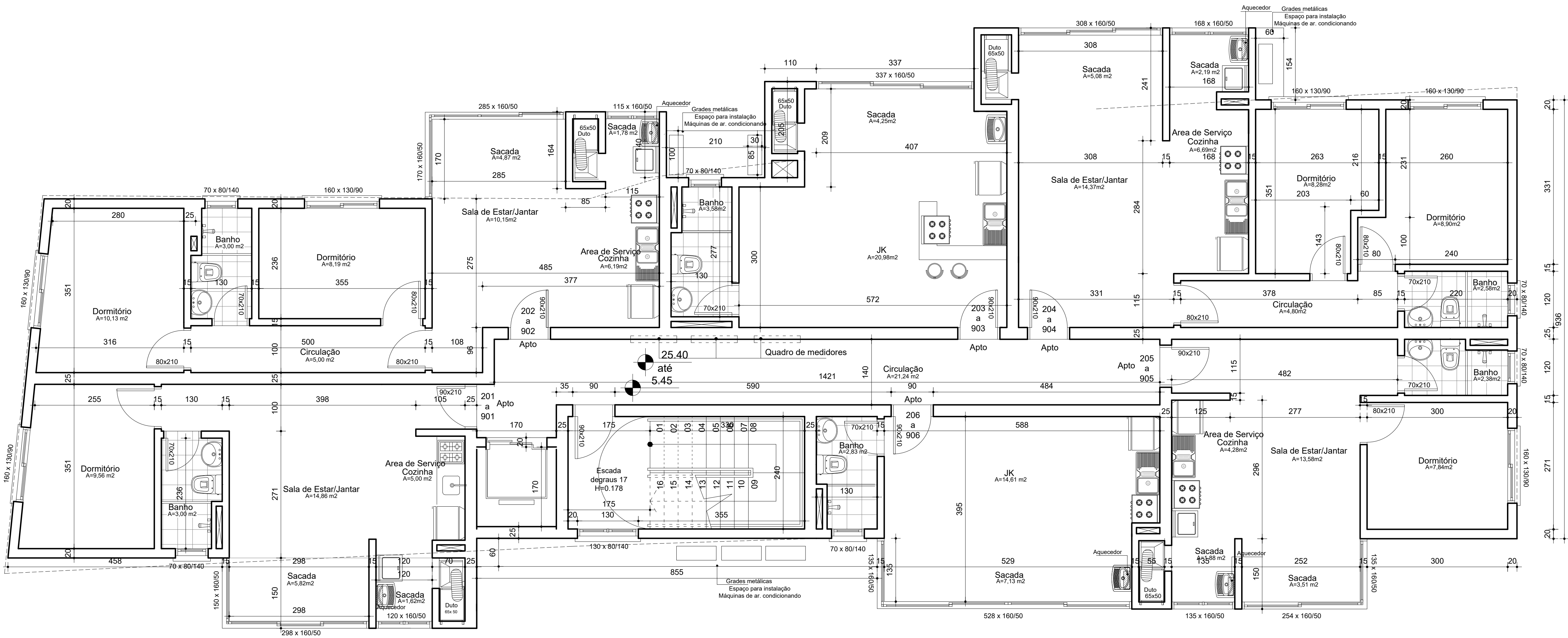
MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obra**. São Paulo: Editora Pini. 2006.
MASSARO JÚNIOR, M. **Manual de Concreto Armado**. Nobel: São Paulo, 1983. 2V.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P.. **Lajes maciças**. 2003. 29f. Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em:
<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf>. Acesso em 30 abr. 2018.

ROSSATTO, Bárbara Maier. **Estudo comparativo de uma edificação em estrutura metálica/concreto armado: Estudo de caso**. 2015. 90 p. Trabalho de conclusão de curso, engenharia civil - Universidade Federal de Santa Maria. 2015. Disponível em:
<http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2015/TCC_BARBARA%20MAIER%20ROSSATTO.pdf>. Acesso em 5 mai. 2018.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em:
<http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660>. Acesso em 09
out.2018.

ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO



PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TIPO (8x)
Área total: 314,03 m²

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
1/50

Orientador:
Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:
PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO

Responsável pelo projeto:
Arquiteto Luciano Cavallet

Disciplina:
Trabalho de conclusão de curso II

Turma:
CIV0226XA

prancha:
01/01

ANEXO B - COTAÇÃO DE CUBETAS

A ATEX é pioneira no Brasil em fôrmas para lajes nervuradas e esta sempre inovando e aprimorando sua qualidade para atender cada vez melhor o mercado.

Disponibilizamos a maior gama de fôrmas com mais de **92 opções** para que seu projeto se adeque as mais diferentes exigências e normas do mercado.



proposta
comercial



NOSSAS FÔRMAS ATENDEM AS NORMAS DE ABNT



ABNT 15200

As lajes **ATEX** atendem
as exigências da
NBR 15200 DA ABNT



ABNT 15575-3

Atendem a Norma de
Desempenho **NBR**
15575-3 Acústica

CACHOEIRINHA, 21 de Novembro de 2018.

Cliente: SRA. TAINARA BRUN

Contato:

Telefones: (54) 99656-2390

EMAIL: tainarabrun@gmail.com

Nº Proposta: 03114618

Revisão Nº: 01

Referente ao Empreendimento:

RESIDENCIAL MONTEVIDÉU - AV. OSVALDO ARANHA, 1178 - CIDADE ALTA - BENTO GONÇALVES / RS

ESTIMATIVA DE CONSUMO:

Concreto e Aço. *"Conforme o projetado".*

CONDIÇÕES COMERCIAIS

Valores e formas de pagamento:

PREÇO DE LOCAÇÃO:	FORMA ATEX 300x570x180	=	0,21 Un./Dia
	FORMA ATEX 400x800x200 PLUS	=	0,39 Un./Dia
	FORMA ATEX 400x800x250 PLUS	=	0,40 Un./Dia
	FORMA ATEX 400x800x300 PLUS	=	0,43 Un./Dia
	FORMA ATEX 600x570x180	=	0,21 Un./Dia
	FORMA ATEX 800x800x200 PLUS	=	0,39 Un./Dia
	FORMA ATEX 800x800x250 PLUS	=	0,40 Un./Dia
	FORMA ATEX 800x800x300 PLUS	=	0,43 Un./Dia

CONDIÇÕES DE PAGAMENTO: Medição no último dia de cada mês e na devolução do equipamento com pagamento 10 DIAS após.

VALIDADE DA PROPOSTA: 60 (sessenta) dias.

REAJUSTE: Conforme legislação em vigor.

DISPONIBILIDADE DAS FÔRMAS: ATÉ 30 DIAS APÓS ASSINATURA DO CONTRATO, INCLUSIVE PEDIDOS SUBSEQUENTES.

Frete: FOB.

Local de Retirada e Devolução do Equipamento:

Atex Brasil - RS - R: Cristiano José Nascimento 201 - Distrito Industrial, CEP: 94930-595, CACHOEIRINHA - RS,
Ou **unidade mais próxima com estoque disponível.**

O escoramento a ser aplicado poderá ser o convencional ou o específico para nosso sistema, excluindo o uso de fôrmas de compensado na área em que for aplicada a fôrma ATEX.

Diponibilizamos também o SISTEMA CABETEX que pode ser utilizado com qualquer tipo de cimbramento com barrotes.

SISTEMA CABETEX

O Sistema Cabetex é constituído de dois elementos:

- **Fôrmas Lineares** - Apoio e guia das fôrmas Atex
- **Cabetex** - Dispositivos para colocação de escoras fixas.

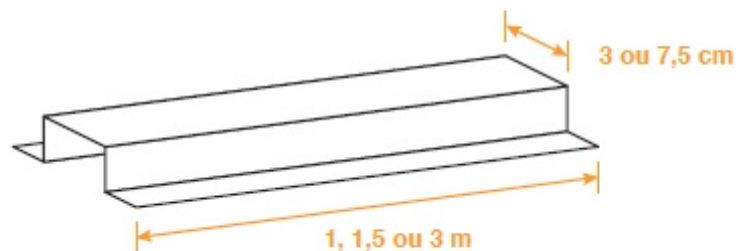
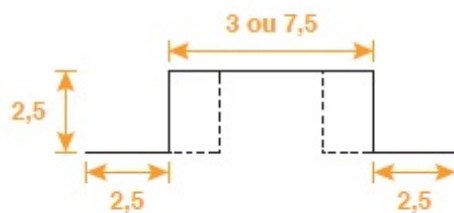
Este sistema pode ser empregado em qualquer tipo de escoramento e é disponibilizado nas larguras 3,0 e 7.5 cm
Conforme os esquemas de escoramento em anexo.

VANTAGENS DE USO

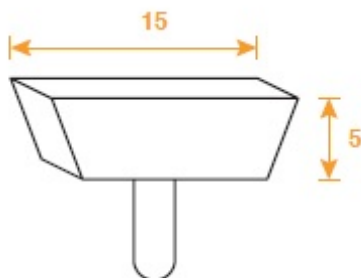
 **Simplicidade**

 **Aplicável a qualquer tipo de escoramento**

Fôrma Linear
3 ou 7,5

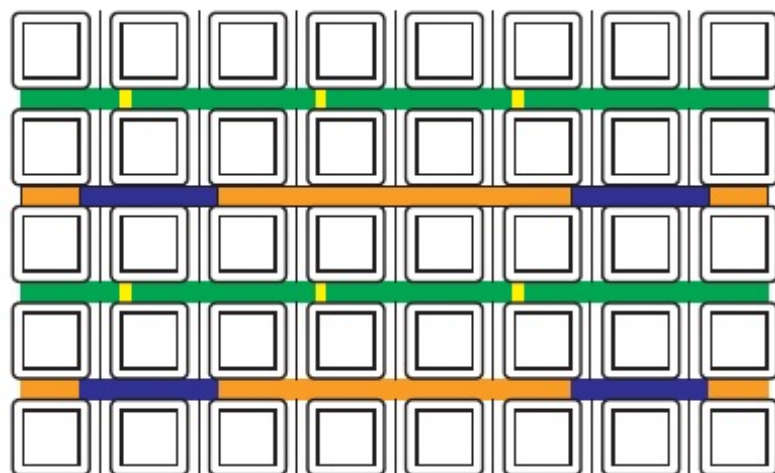


Cabetex
3 ou 7,5



Para família Atex: **600, 610, 610U, 650 e 660** utilizar a configuração 3.

Para família Atex: **600U, 700, 740, 800, 800U e 900** utilizar a configuração 7,5.



 Cabetex

 Fôrma linear de 1,0 m

 Fôrma Linear de 1,5 m

 Fôrma Linear de 3,0 m

 Fôrma Atex

Algumas fôrmas bidirecionais da Atex podem ser utilizadas em lajes unidirecional com a utilização dos anuladores de nervuras:



O Anulador de Nervura, também chamando de Saddles, foi desenvolvido para a execução de laje nervurada unidirecional. Utilizando esta peça entre as fôrmas para Laje Atex bidirecional, elimina-se a nervura que seria formada entre elas moldando, assim, uma laje nervurada unidirecional.

O Sistema do Anulador de Nervura Atex® consiste em 2 peças:

- Anulador — Peça principal para ser encaixada entre duas Fôrmas Atex®.
- Tirante — Peça que fixa as abas inferiores do Anulador garantindo suas medidas e resistências aos esforços.

O Anulador de Nervura Atex® possui um sistema de fixação único desenvolvido de maneira a garantir um encaixe perfeito com as fôrmas. Esta fixação evita qualquer tipo de deformação do conjunto e mantém o posicionamento correto do anulador durante o processo de concretagem.

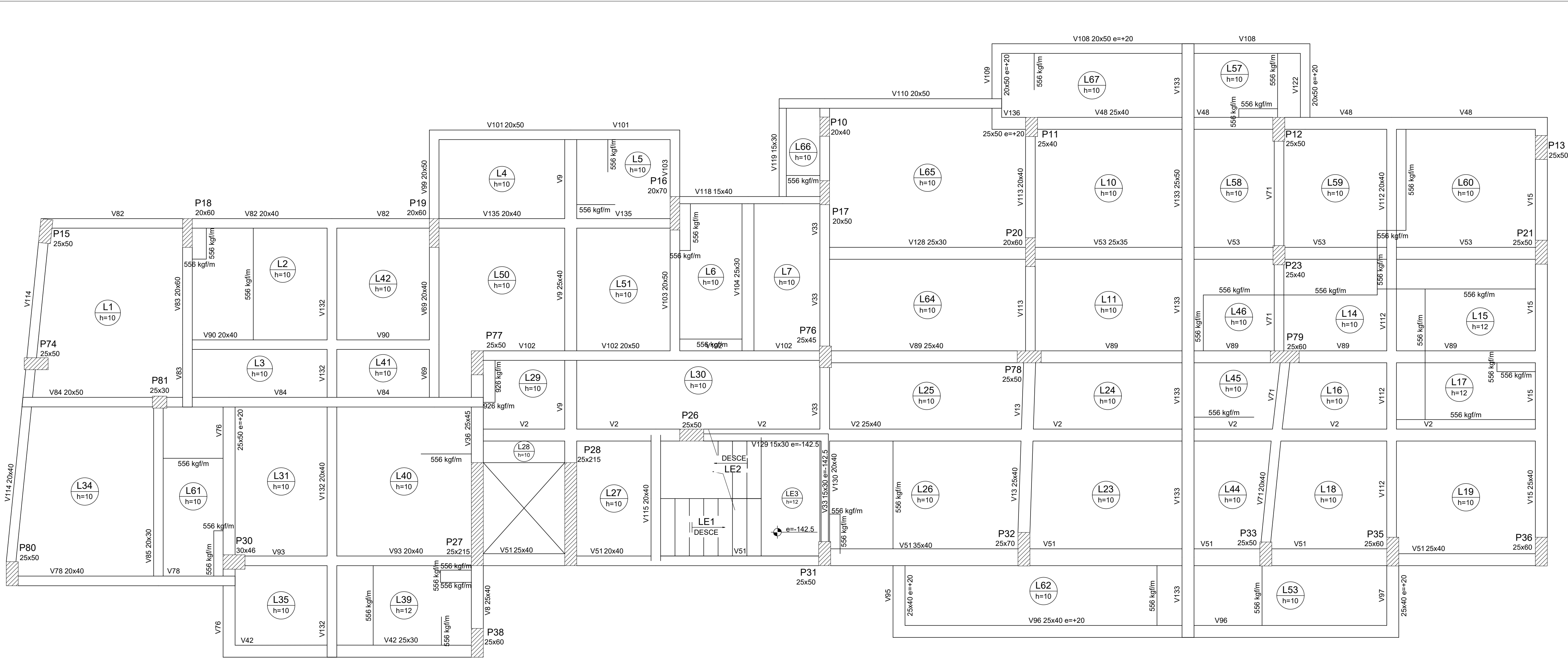
Colocamos-nos ao seu inteiro dispor para maiores informações.

Atenciosamente,

ANGELO CARÍSIO NASCIUTTI
Gerente Comercial

ITATIAIA COMÉRCIO E REPRESENTAÇÕES LTDA
Representante - RS - (51)3366-2946
(51)9834-3359 / (51)8595-0104atexrs@atex.com.br

APÊNDICE A – PLANTA DE FÔRMA LAJES MACIÇAS



Fôrma do pavimento Tipo (1 ao 7)

escala 1:50

Vigas			
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V2	25x40	V95	25x40
V8	25x40	V96	25x40
V9	25x40	V97	25x40
V13	25x40	V99	20x50
V15	25x40	V101	20x50
V33	20x40	V102	20x50
V36	25x45	V103	20x50
V42	25x30	V104	25x30
V48	25x40	V108	20x50
V51	25x40	V109	20x50
	20x40	V110	20x50
	35x40	V112	20x40
	25x40	V113	20x40
V53	25x35	V114	20x40
V69	20x40	V115	20x40
V71	20x40	V118	15x40
V76	25x50	V119	15x30
V78	20x40	V122	20x50
V82	20x40	V128	25x30
V83	20x60	V129	15x30
V84	20x50	V130	15x30
V85	20x30	V132	20x40
V89	25x40	V133	25x50
V90	20x40	V135	20x40
V93	20x40	V136	25x50

Características dos materiais	
fck (kgf/cm²)	Ecs (kgf/cm²)
350	352835
Dimensão máxima do agregado = 19 mm	

Legenda dos Pilares	
	Pilar que morre
	Pilar que passa
	Pilar que nasce
	Pilar com mudança de seção

Lajes					
Nome	Tipo	Altura (cm)	Nome	Tipo	Altura (cm)
L1	Maciça	10	L35	Maciça	10
L2	Maciça	10	L39	Maciça	12
L3	Maciça	10	L40	Maciça	10
L4	Maciça	10	L41	Maciça	10
L5	Maciça	10	L42	Maciça	10
L6	Maciça	10	L44	Maciça	10
L7	Maciça	10	L45	Maciça	10
L10	Maciça	10	L46	Maciça	10
L11	Maciça	10	L50	Maciça	10
L14	Maciça	10	L51	Maciça	10
L15	Maciça	12	L53	Maciça	10
L16	Maciça	10	L57	Maciça	10
L17	Maciça	12	L58	Maciça	10
L18	Maciça	10	L59	Maciça	10
L19	Maciça	10	L60	Maciça	10
L23	Maciça	10	L61	Maciça	10
L24	Maciça	10	L62	Maciça	10
L25	Maciça	10	L64	Maciça	10
L26	Maciça	10	L65	Maciça	10
L27	Maciça	10	L66	Maciça	10
L28	Maciça	10	L67	Maciça	10
L29	Maciça	10	LE1	Maciça	12
L30	Maciça	10	LE2	Maciça	12
L31	Maciça	10	LE3	Maciça	12
L34	Maciça	10			

Pilares			
Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
P10	20 x 40	P30	30 x 46
P11	25 x 40	P31	25 x 50
P12	25 x 50	P32	25 x 70
P13	25 x 50	P33	25 x 50
P15	25 x 50	P35	25 x 60
P16	20 x 70	P36	25 x 60
P17	20 x 50	P38	25 x 60
P18	20 x 60	P74	25 x 50
P19	20 x 60	P76	25 x 45
P20	20 x 60	P77	25 x 50
P21	25 x 50	P78	25 x 50
P23	25 x 40	P79	25 x 60
P26	25 x 50	P80	25 x 50
P27	25 x 215	P81	25 x 30
P28	25 x 215		



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data: Novembro/2018

Orientador:
Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:
FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO (1 AO 7)
LAJES MACIÇAS

Responsible pelo projeto:
Tainara Brun

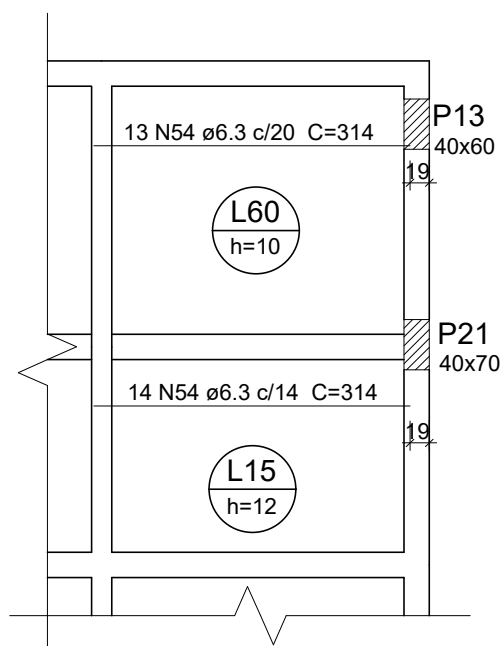
Disciplina:
Trabalho de conclusão de curso II

prancha:

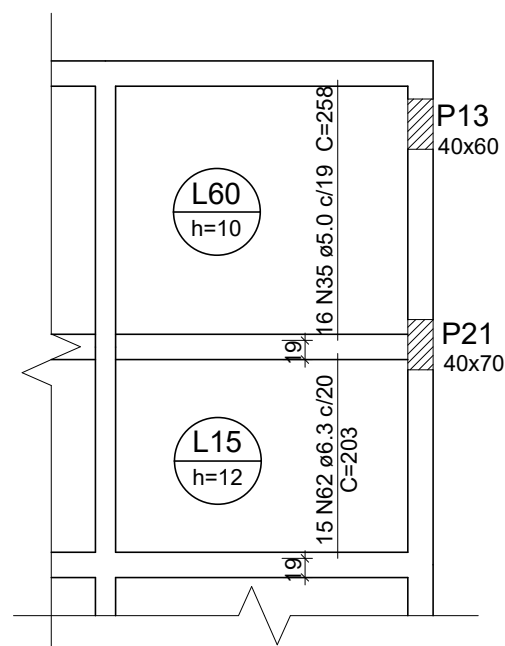
01/01

Turma:
CIV0226XA

APÊNDICE B – DETALHAMENTO DE ARMADURAS – LAJES MACIÇAS



Armação positiva horizontal
escala 1:50



Armação positiva vertical
escala 1:50



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
1/50

Orientador:

Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE LAJES MACIÇAS - PAVIMENTO TIPO (1 AO 7)

prancha:

01 /01

Responsável pelo projeto:

Tainara Brun

Disciplina:

Trabalho de conclusão de curso II

Turma:

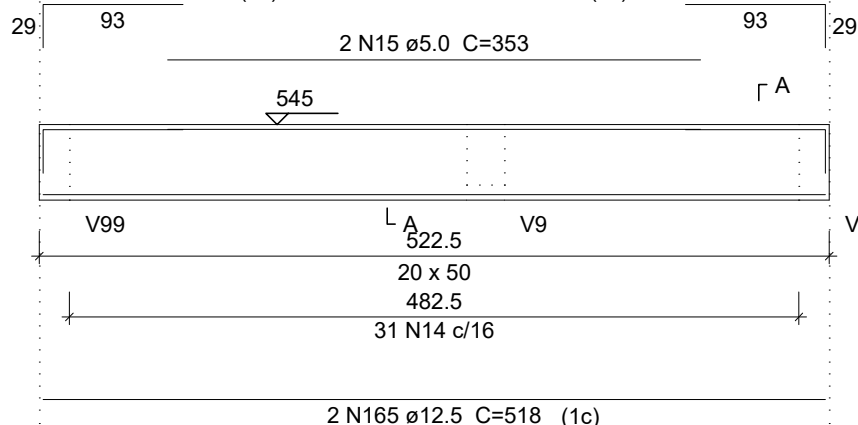
CIV0226XA

V101

ESC 1:50

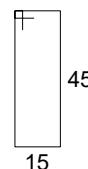
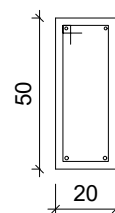
2 N114 Ø10.0 C=120 (1c)

(1c) 2 N114 Ø10.0 C=120



SEÇÃO A-A

ESC 1:25



31 N14 Ø5.0 C=132

Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	10.0	4.8	3.3
CA60	12.5	10.4	11
CA60	5.0	47.7	8.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50	14.2		
CA60	8.1		

Volume de concreto (C-35) = 0.52 m³
Área de forma = 6.27 m²



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
Indicada

Orientador:

Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE VIGAS - PAVIMENTO TIPO - LAJES MACIÇAS

Responsável pelo projeto:

Tainara Brun

Disciplina:

Trabalho de conclusão de curso II

Turma:

CIV0226XA

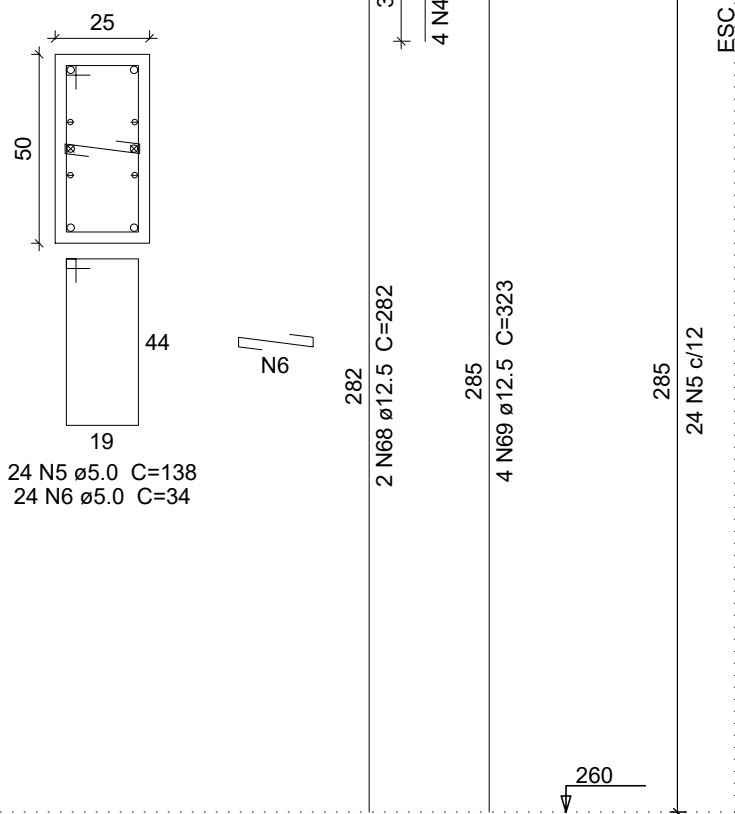
prancha:

01 /01

P26

TIPO 1 - L7

ESC 1:20



Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	10.0	2.4	1.6
	12.5	18.6	19.7
CA60	5.0	41	7

PESO TOTAL (kg)	
CA50	21.3
CA60	7

Volume de concreto (C-35) = 0.36 m³
Área de forma = 4.28 m²



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES
NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
Indicada

Orientador:

Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE
PILARES - PAVIMENTO TIPO - LAJES MACIÇAS

prancha:

01 /01

Responsável pelo projeto:

Tainara Brun

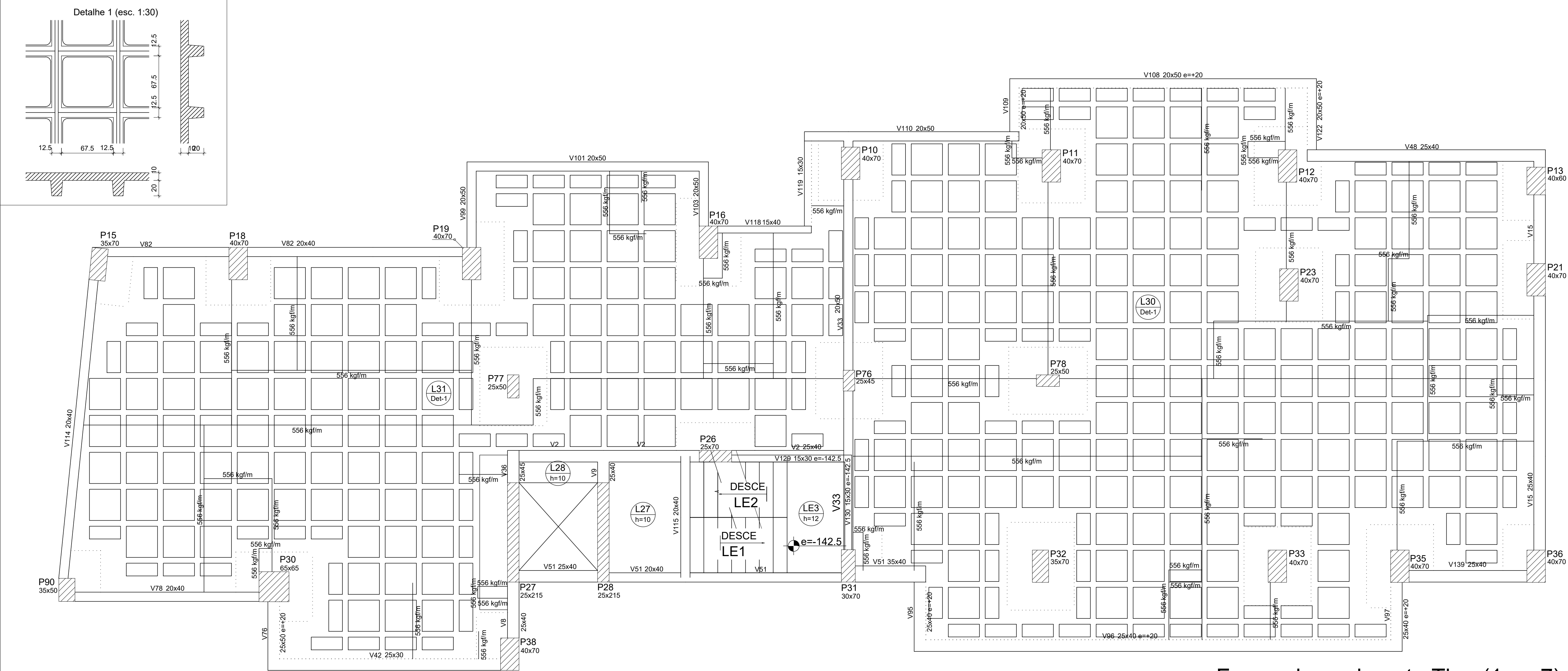
Disciplina:

Trabalho de conclusão de curso II

Turma:

CIV0226XA

APÊNDICE C – PLANTA DE FÔRMA LAJES NERVURADAS



Forma do pavimento Tipo (1 ao 7)

escala 1:50

Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
V2	25x40	V97	25x40
V8	25x40	V99	20x50
V9	25x40	V101	20x50
V15	25x40	V103	20x50
V33	20x50	V108	20x50
V36	25x45	V109	20x50
V42	25x30	V110	20x50
V48	25x40	V114	20x40
V51	25x40	V115	20x40
		V118	15x40
		V119	15x30
V76	25x50	V122	20x50
V78	20x40	V129	15x30
V82	20x40	V130	15x30
V95	25x40	V139	25x40

Nome	Tipo	Altura (cm)
L27	Maciça	10
L28	Maciça	10
L30	Nervurada	30
L31	Nervurada	30
LE1	Maciça	12
LE2	Maciça	12
LE3	Maciça	12

Ítem	Ítem
(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
350	352835

Dimensão máxima do agregado = 19 mm

	Pilar que morre
	Pilar que passa
	Pilar que nasce
	Pilar com mudança de seção

Nome	Seção (cm)	Nome	Seção (cm)
P10	40 x 70	P28	25 x 215
P11	40 x 70	P30	65 x 65
P12	40 x 70	P31	30 x 70
P13	40 x 60	P32	35 x 70
P15	35 x 70	P33	40 x 70
P16	40 x 70	P35	40 x 70
P18	40 x 70	P36	40 x 70
P19	40 x 70	P38	40 x 70
P21	40 x 70	P76	25 x 45
P23	40 x 70	P77	25 x 50
P26	25 x 70	P78	25 x 50
P27	25 x 215	P90	35 x 50

Detalhe	Tipo	Nome	Dimensões (cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
1	Cubetas	B20/80/80	20	80	80	266
		B20/40/80	20	40	80	73
		B20/80/40	20	80	40	46



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data: Novembro/2018

Escala: 1/50

Orientador: Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto: FÔRMA DO PAVIMENTO TIPO (1 AO 7) LAJES NERVURADAS

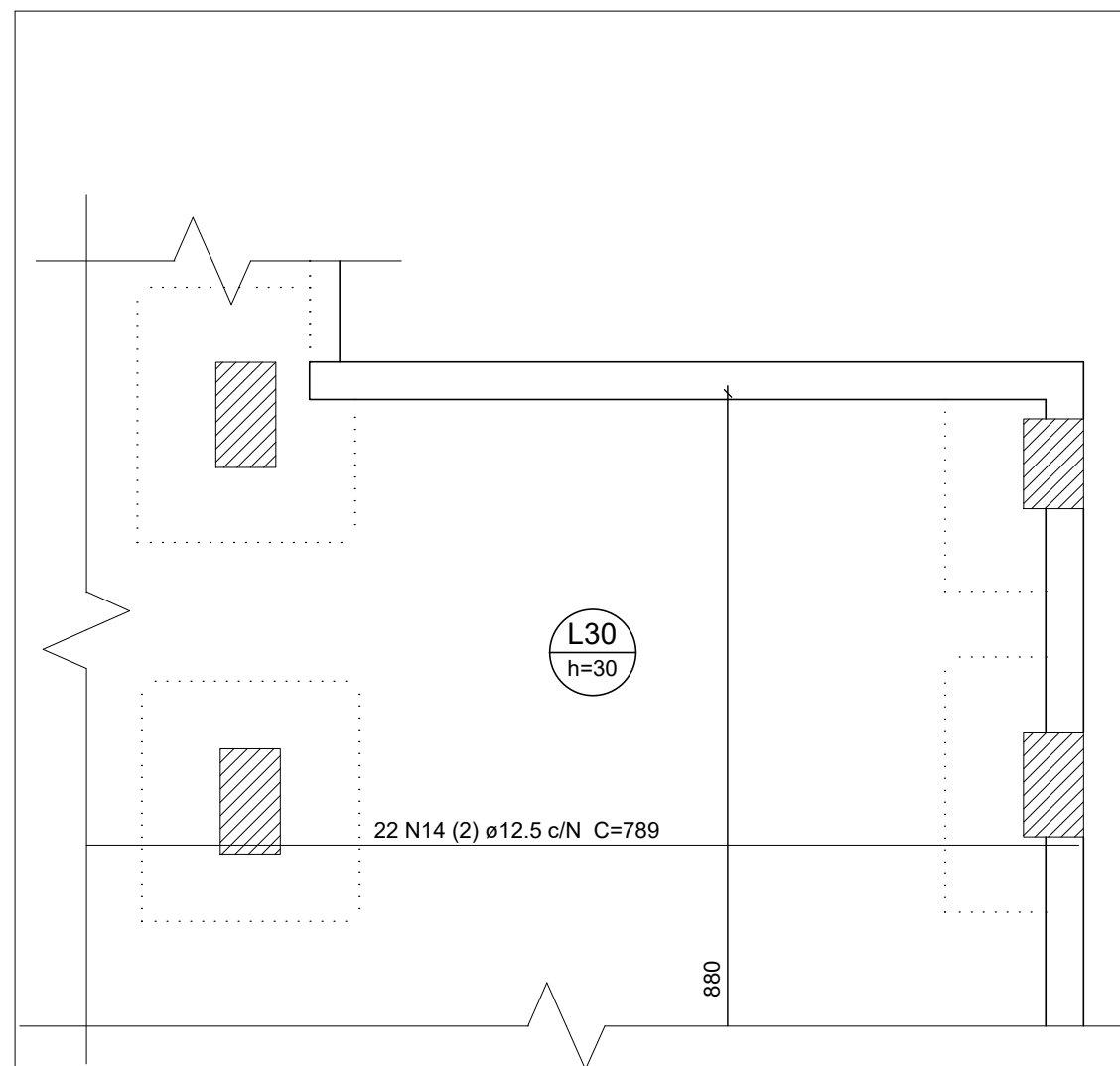
Responsável pelo projeto: Tainara Brun

Disciplina: Trabalho de conclusão de curso II

prancha: 01/01

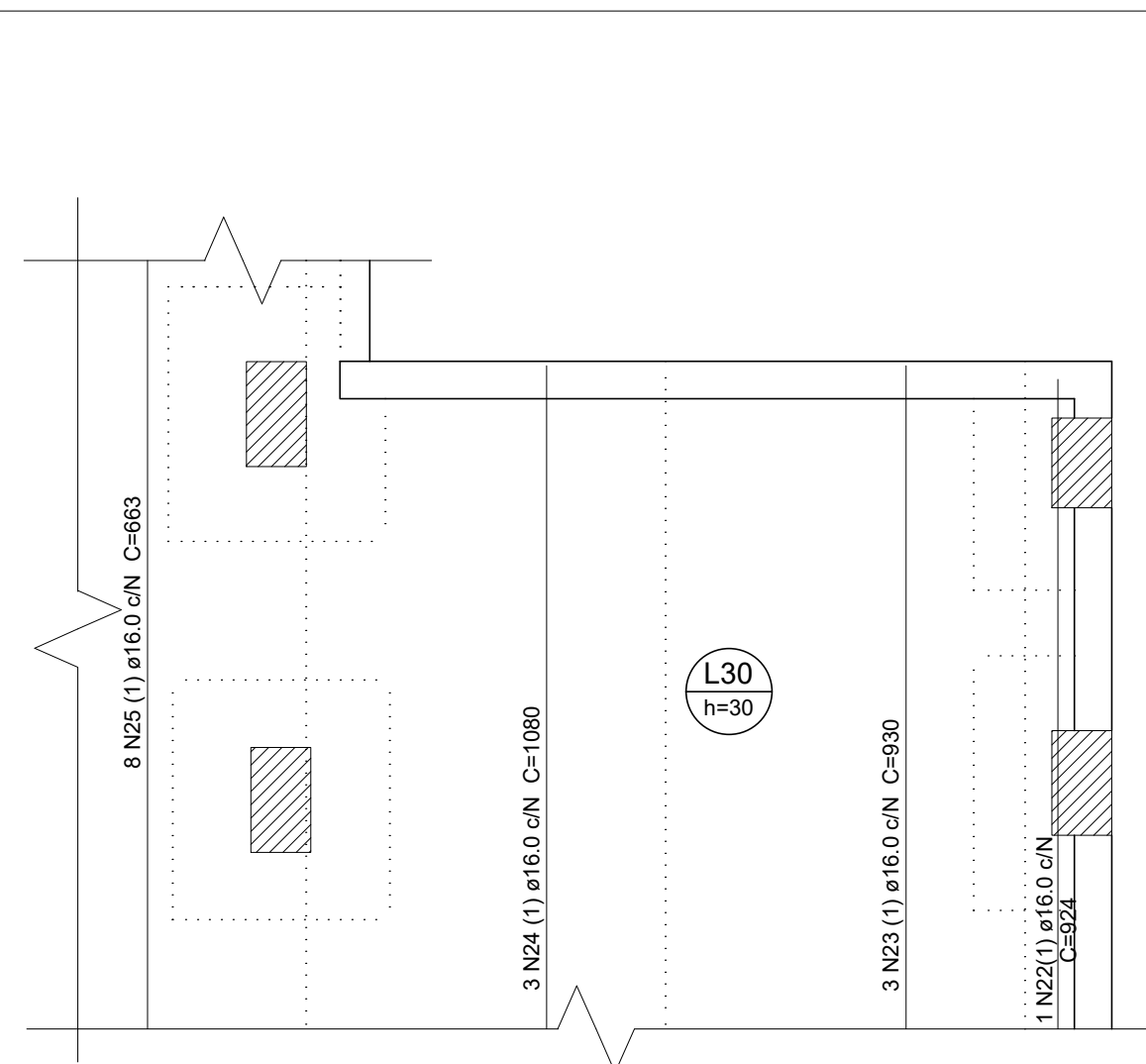
Turma: CIV0226XA

APÊNDICE D – DETALHAMENTO DE ARMADURAS – LAJES NERVURADAS



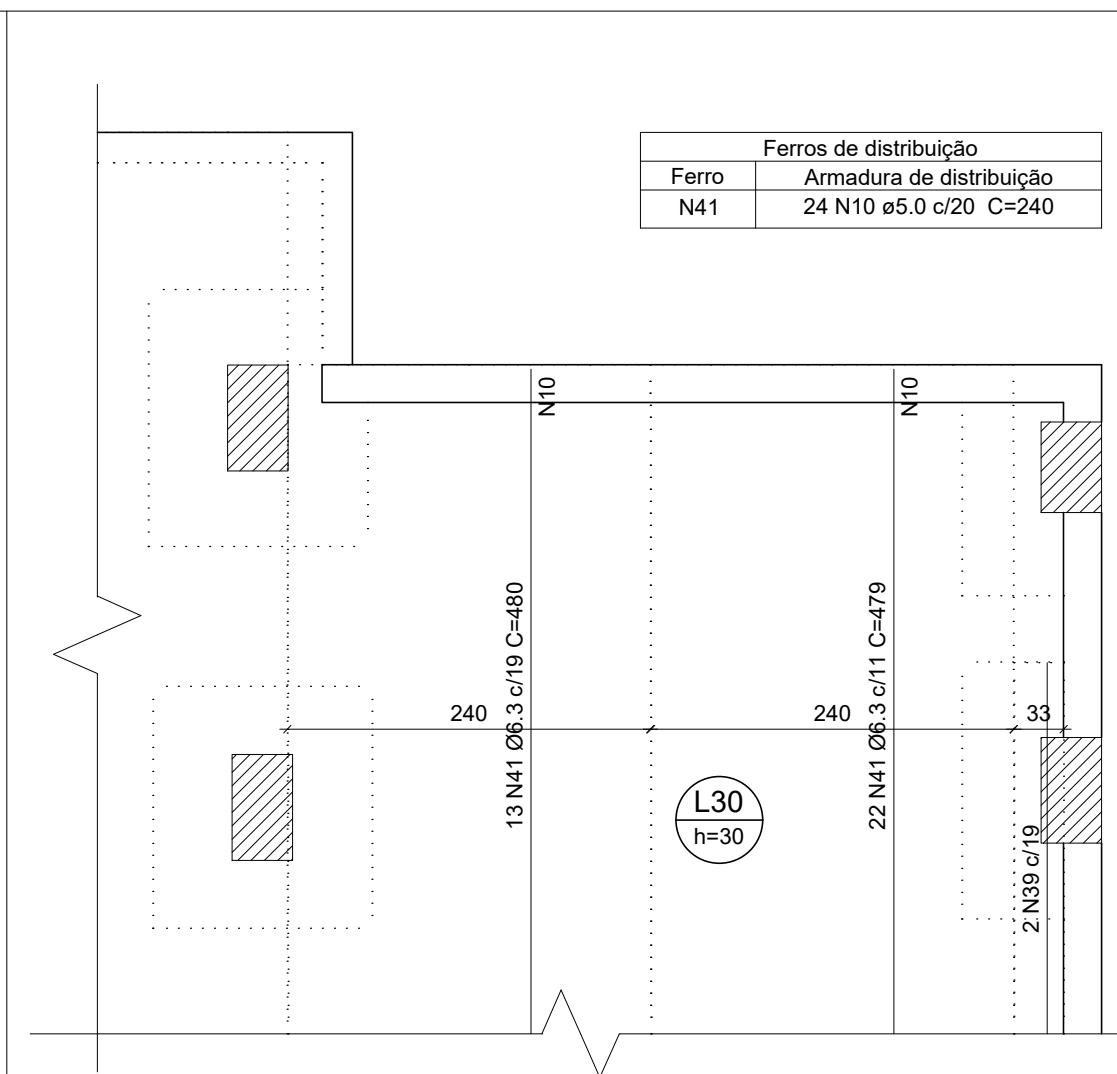
Armação positiva das lajes do pavimento tipo 1 (Eixo X)

escala 1:50



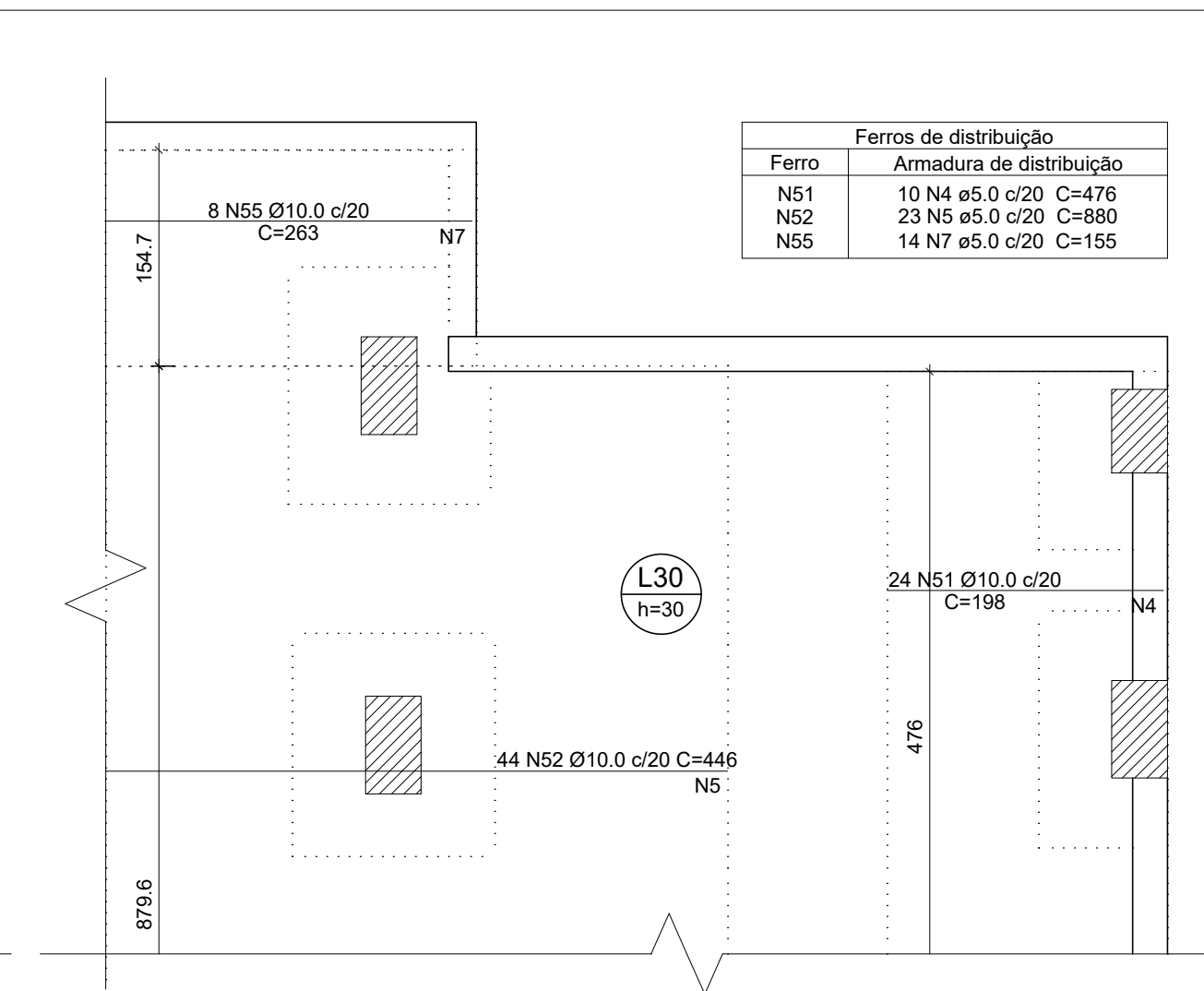
Armação positiva das lajes do pavimento tipo 1 (Eixo Y)

escala 1:50



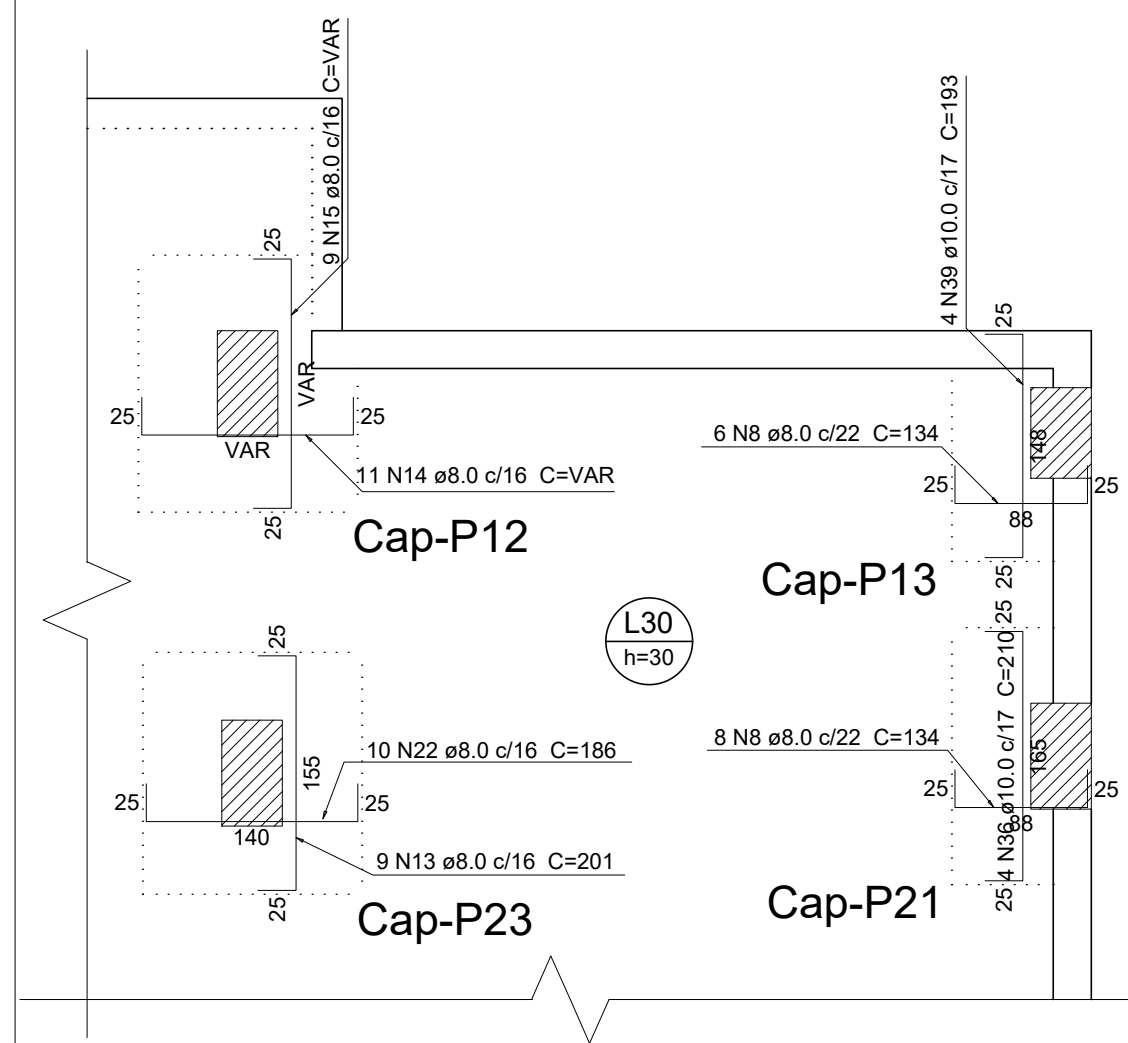
Armação negativa das lajes do pavimento tipo 1 (Eixo Y)

escala 1:50



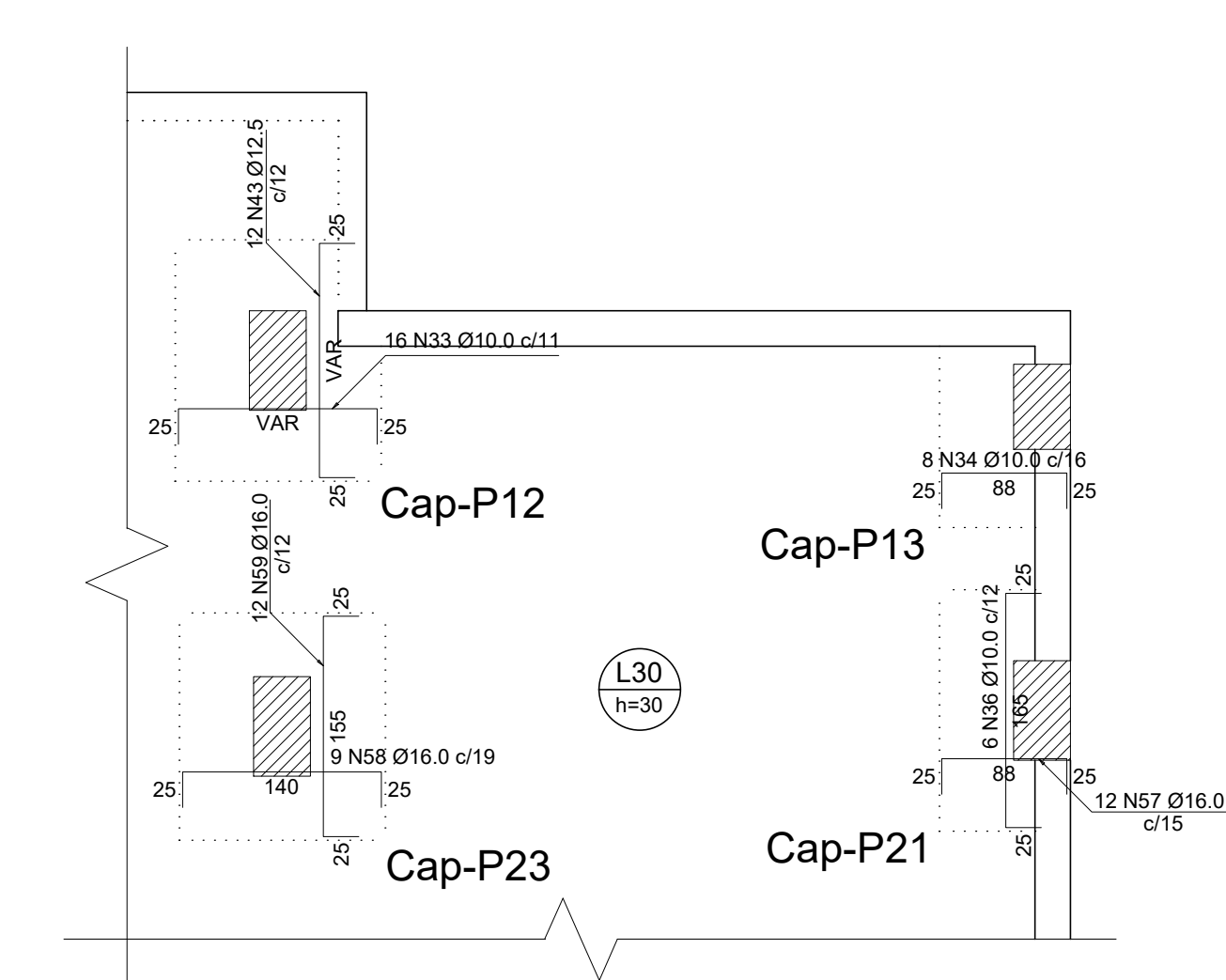
Armação negativa das lajes do pavimento tipo 1 (Eixo X)

escala 1:50



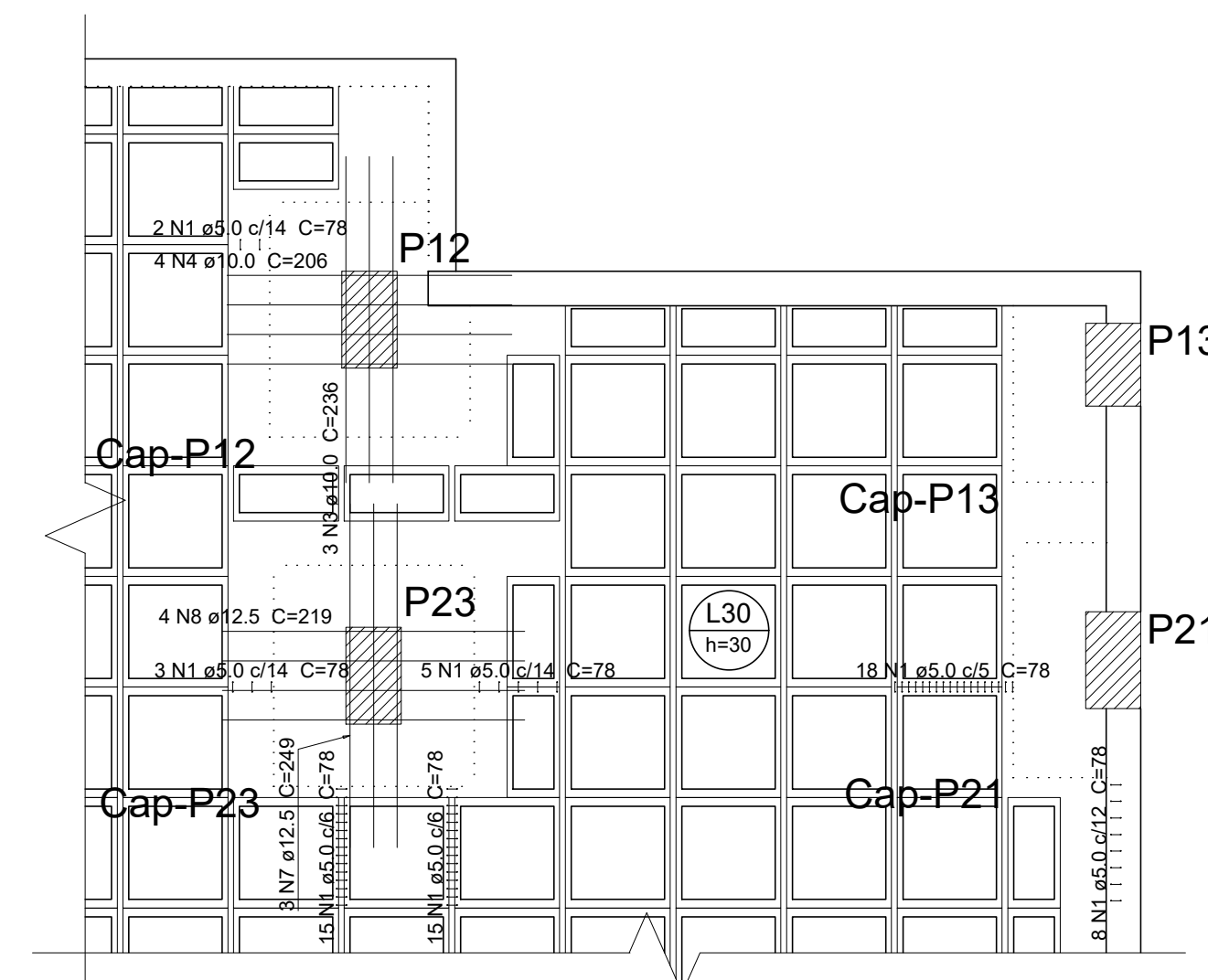
Armação positiva das regiões maciças do pavimento tipo 1

escala 1:50



Armação negativa das regiões maciças do pavimento tipo 1

escala 1:50



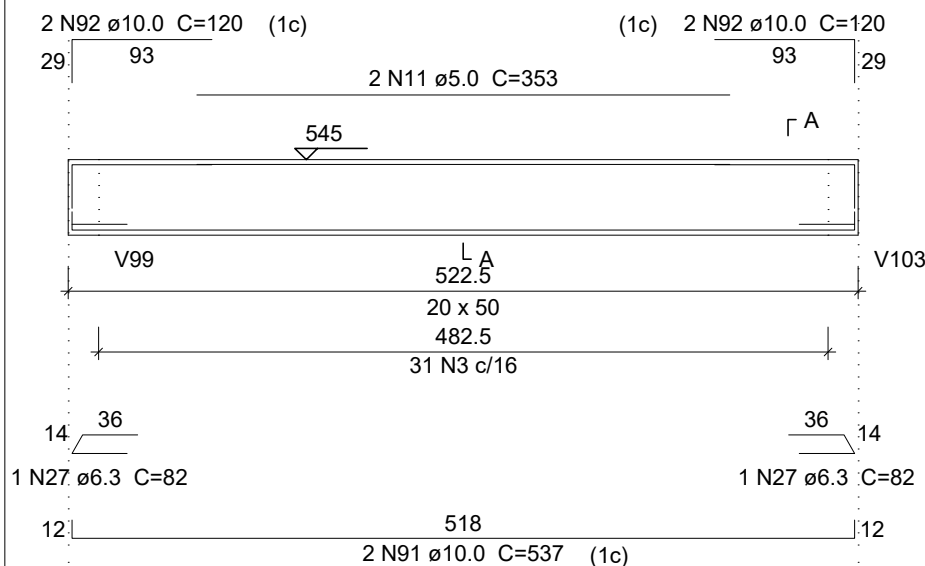
Detalhamento de punção e cisalhamento das lajes do pavimento tipo 1 (Nível 545)

escala 1:50

	UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS		
COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.		Data: Novembro/2018 Escala: 1/50	
Orientador: Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo			
Assunto: EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE LAJES NERVURADAS - PAVIMENTO TIPO (1 AO 7)	prancha: 01 /01		
Responsável pelo projeto: Tainara Brun		Turma: CIV0226XA	
Disciplina: Trabalho de conclusão de curso II			

V101

ESC 1:50



Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	6.3	1.6	0.4
CA60	10.0	15.5	10.5
CA60	5.0	47.7	8.1
PESO TOTAL (kg)			
CA50	11		
CA60	8.1		

Volume de concreto (C-35) = 0.52 m³
Área de forma = 6.27 m²



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
Indicada

Orientador:

Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE VIGAS - PAVIMENTO TIPO - LAJES NERVURADAS

Responsável pelo projeto:

Tainara Brun

Disciplina:

Trabalho de conclusão de curso II

Turma:

CIV0226XA

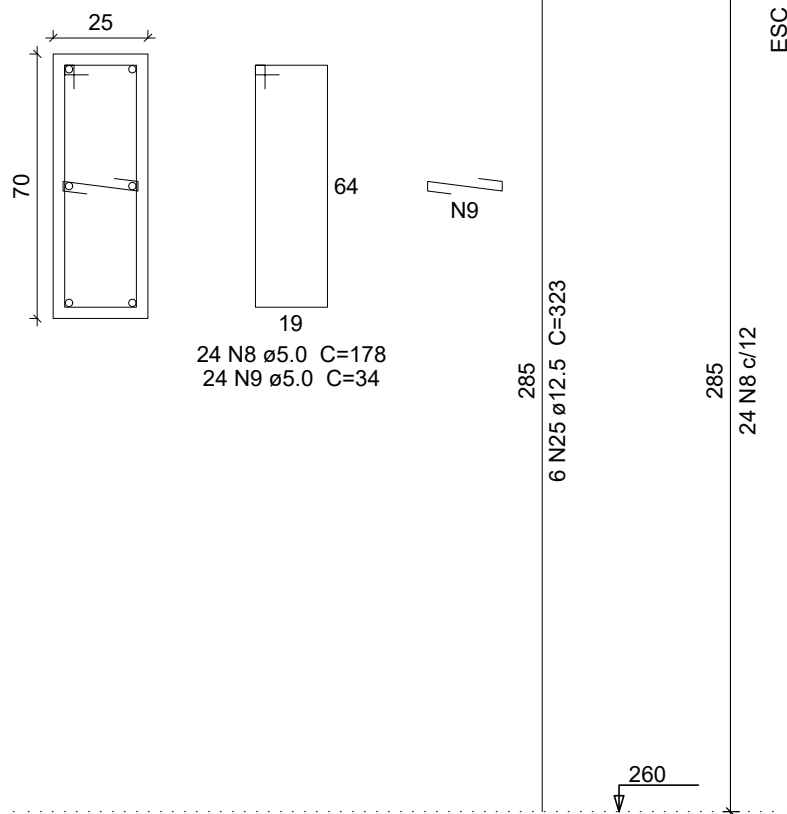
prancha:

01 /01

P26

TIPO 1 - L7

ESC 1:20



Resumo do aço

AÇO	DIAM (mm)	C.TOTAL (m)	PESO + 10 % (kg)
CA50	12.5	19.4	20.5
CA60	5.0	50.6	8.6
PESO TOTAL (kg)			
CA50	20.5		
CA60	8.6		

Volume de concreto (C-35) = 0.50 m³

Área de forma = 5.42 m²



UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL - RS

COMPARAÇÃO ENTRE LAJES MACIÇAS E LAJES NERVURADAS: ANÁLISE ECONÔMICA.

Data:
Novembro/2018

Escala:
Indicada

Orientador:

Prof Me. Rodrigo Fabiano Montemezzo

Assunto:

EXEMPLO DE DETALHAMENTO DE ARMADURAS DE PILARES - PAVIMENTO TIPO - LAJES NERVURADAS

Responsável pelo projeto:

Tainara Brun

Disciplina:

Trabalho de conclusão de curso II

Turma:

CIV0226XA

prancha:

01 /01

APÊNDICE E – COMPOSIÇÕES ORÇAMENTÁRIAS UTILIZADAS

(continua)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92740	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=35 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM GRUA DE CAÇAMBA DE 500 L EM EDIFICAÇÃO DE MULTIPAVIMENTOS ATÉ 16 ANDARES, COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M³	
INSUMO	11145	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C35, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	1,1030000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1920000
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,7690000
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6500000
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,0930000
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,1000000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 415,35

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92722	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 35 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MAIOR QUE 0,25 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M³	
INSUMO	11145	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C35, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	1,1030000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1740000
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1740000
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,0450000
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,0560000
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,1180000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 409,79
FUES	92791	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	39	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	1,0700000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0108000

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0769000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 6,46
FUES	92792	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	1,0700000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0059000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0420000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 6,01
FUES	92793	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0032000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0224000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 6,44
FUES	92794	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0018000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0125000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 5,33

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92795	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	31	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0010000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0070000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 4,97
FUES	92796	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 16,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	27	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0037000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 4,90
FUES	92797	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 20,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	29	ACO CA-50, 20,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1400000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0020000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 4,66
FUES	92798	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 25,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	
INSUMO	28	ACO CA-50, 25,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1400000

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0011000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 5,38
FUES	92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	
INSUMO	39	ACO CA-60, 5,0 MM, VERGALHAO	KG	1,0700000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0082000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0581000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 6,06
FUES	92801	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	
INSUMO	32	ACO CA-50, 6,3 MM, VERGALHAO	KG	1,0700000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0044000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0310000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 5,78
FUES	92802	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	
INSUMO	33	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0023000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0162000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 6,31
FUES	92803	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
INSUMO	34	ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0012000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0088000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 5,25
FUES	92804	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	
INSUMO	31	ACO CA-50, 12,5 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0007000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0048000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 4,93
FUES	92805	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 16,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	
INSUMO	27	ACO CA-50, 16,0 MM, VERGALHAO	KG	1,1100000
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0025000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 4,87
FUES	92486	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0170000

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
INSUMO	6193	TABUA DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, CEDRINHO OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,8390000
INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,0650000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4960000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,7020000
COMPOSICAO	92271	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM. AF_12/2015	M2	0,3660000
COMPOSICAO	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA. AF_12/2015	M	1,0900000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 92,97
FUES	92448	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM PONTALETE DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0170000
INSUMO	6193	TABUA DE MADEIRA NAO APARELHADA *2,5 X 20* CM, CEDRINHO OU EQUIVALENTE DA REGIAO	M	0,3280000
INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,0660000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3090000

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,6860000
COMPOSICAO	92270	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, COM MADEIRA SERRADA, E = 25 MM. AF_12/2015	M2	0,4190000
COMPOSICAO	92273	FABRICAÇÃO DE ESCORAS DO TIPO PONTALETE, EM MADEIRA. AF_12/2015	M	1,8790000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 80,38
FUES	92413	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MAIOR QUE 0,25 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0170000
INSUMO	40304	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA DUPLA 17 X 27 (2 1/2 X 11)	KG	0,0270000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3760000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,0520000
COMPOSICAO	92269	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA PILARES E ESTRUTURAS SIMILARES, EM MADEIRA SERRADA, E=25 MM. AF_12/2015	M2	0,2750000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 67,60

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 18/60/60 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 44,93

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 18/30/60 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 62,43

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 20/80/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 45,71

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 20/40/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 63,99

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 30/80/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 47,59

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 30/40/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 67,74

(continuação)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 25/80/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 46,18

(conclusão)

CLASSE/TIPO	ITEM SINAPI	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	COEFICIENTE
FUES	92497	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 12 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,0080000
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,3970000
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,0300000
COTAÇÃO ATEX	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES 25/40/80 CM	MES	1,0000000
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1620000
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,8830000
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,1220000
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 64,93

Fonte: SINAPI (2018).