

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Samantha Graff

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS ESTRUTURAIS
COMPOSTOS POR VIGAS E LAJES MACIÇAS OU
NERVURADAS EM EDIFÍCIOS**

Porto Alegre
junho 2015

SAMANTHA GRAFF

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS ESTRUTURAIS
COMPOSTOS POR VIGAS E LAJES MACIÇAS OU
NERVURADAS EM EDIFÍCIOS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: João Ricardo Masuero
Coorientadora: Virgínia Maria Rosito d'Avila Bessa

Porto Alegre
junho 2015

SAMANTHA GRAFF

**ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS ESTRUTURAIS
COMPOSTOS POR VIGAS E LAJES MACIÇAS OU
NERVURADAS EM EDIFÍCIOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pelos Coordenadores da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2015

Prof. João Ricardo Masuero
Dr. pelo PPGEC/UFRGS
Orientador

Profa. Virgínia M. Rosito d'Avila Bessa
Dra. pela UFRGS
Coorientadora

Prof. Jean Marie Désir
Dr. pela COPPE/UFRJ
Coordenador

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

**Prof. João Ricardo Masuero
(UFRGS)**
Dr. pela UFRGS

**Profa. Virgínia M. Rosito d'Avila Bessa
(UFRGS)**
Dra. pela UFRGS

**Prof. Roberto Domingo Rios
(UFRGS)**
Dr. pela UFRGS

**Profa. Paulete Fridman Schwetz
(UFRGS)**
Dra. pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Odair e Nilsa, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. João Ricardo Masuero, meu orientador, pela paciência e pelo conhecimento transferido ao longo de todo o trabalho.

Agradeço a Profa. Virgínia, por ter sido tão atenciosa nos momentos em que solicitei seu auxílio. És um exemplo para mim, pessoal e profissionalmente.

Agradeço às colegas Virginia, Flávia, Bruna, Luísa e Stéphanie, por estarem comigo desde o primeiro dia de aula, tornando a faculdade mais divertida.

Agradeço ao Engenheiro David Postal, da empresa Postal Engenharia, pelos conhecimentos transferidos, pela paciência e pelo auxílio constante ao longo da realização deste trabalho.

Agradeço especialmente a minha família, meus pais Odair e Nilsa, minha irmã Sabrina, meu irmão Gunnar e meu namorado Lucas pelo incentivo constante nesses últimos meses e por entenderem minha ausência frequente. Vocês são incríveis e meu amor por vocês é incondicional.

A todos que de alguma forma me auxiliaram e incentivaram nesta reta final, meus sinceros agradecimentos.

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

Nos últimos tempos, devido às evoluções arquitetônicas, os projetos estruturais têm exigido cada vez mais capacidade técnica por parte dos engenheiros. A grande variedade de opções a serem adotadas para resolver o pavimento de um edifício, por exemplo, seja ele comercial ou residencial, torna válido um estudo prévio sobre a solução que agrega mais aspectos positivos, em relação a consumo de materiais, custos e prazos de execução. O bom engenheiro deve ter capacidade de desenvolver um projeto seguro e funcional, com custo e prazo de execução compatíveis. Este trabalho procura estabelecer uma comparação de pavimentos de edifícios comerciais e residenciais executados com lajes maciças e nervuradas, quanto a aspectos técnicos e econômicos, visando constatar quais são as principais vantagens e desvantagens de cada solução estrutural abordada. Para tal, foi feita uma seleção de pavimentos de edifícios com características diferenciadas entre si, usualmente construídos na região de Nova Prata, e dimensionou-se os pavimentos para as duas soluções estruturais propostas, utilizando o *software* de cálculo e análise estrutural *Cypecad*. Dessa forma, foram obtidos os consumos de materiais (aço, concreto, fôrmas e escoramento) necessários para a execução de cada pavimento e, a partir disso, puderam ser calculados os custos para cada modelo, considerando material e mão de obra. Além disso, com base nas etapas de execução envolvidas em cada modelo estrutural, foi estimada a quantidade de homens-hora requeridos para a execução dos pavimentos, utilizando os consumos envolvidos em cada composição de serviço. De posse de todos os resultados, foram feitas as devidas comparações entre os pavimentos, e constatou-se que as lajes nervuradas apresentam, em geral, um menor consumo de materiais e também menor custo de execução. Além disso, a principal vantagem observada na laje nervurada foi em relação ao sistema de escoramento adotado na região de estudo, que permite o encaixe perfeito das cubetas de polipropileno, sem a necessidade do uso de compensados para modelar o pavimento. No entanto, por deixar à mostra as nervuras da laje, esta solução desagradou a alguns arquitetos. As lajes maciças, por sua vez, já possuem uma mão de obra treinada, pois foram o sistema estrutural mais utilizado durante anos, o que pode ser favorável durante a execução.

Palavras-chave: Lajes maciças. Lajes nervuradas.
Consumo de Materiais. Custos de Estrutura de um Pavimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa	22
Figura 2 – Comportamento das lajes	24
Figura 3 – Vão efetivo das lajes	27
Figura 4 – Dimensões limites para aberturas de lajes com dispensa de verificação	36
Figura 5 – Posicionamento das armaduras de flexão	37
Figura 6 – Laje maciça	39
Figura 7 – Laje nervurada com superfície plana	43
Figura 8 – Laje nervurada com nervuras aparentes	43
Figura 9 – Laje nervurada com mesa superior de concreto	44
Figura 10 – Laje nervurada invertida	44
Figura 11 – Laje nervurada dupla	45
Figura 12 – Lajes com nervuras nas duas direções	45
Figura 13 – Dimensões a observar na seção transversal de lajes nervuradas	47
Figura 14 – Distribuição dos estribos ao longo do vão	52
Figura 15 – Largura mínima das vigas	54
Figura 16 – Espaçamento mínimo das barras	55
Figura 17 – Disposição da armadura de pele	56
Figura 18 – Planta arquitetônica do pavimento comercial 1	59
Figura 19 – Planta arquitetônica do pavimento comercial 2	59
Figura 20 – Planta arquitetônica do pavimento residencial 1	60
Figura 21 – Sistema de escoramento em madeira das vigas	63
Figura 22 – Sistema de escoramento em madeira das lajes	63
Figura 23 – Sistema de escoramento para lajes nervuradas	64
Figura 24 – Sistema de reescoramento para lajes nervuradas	65
Figura 25 – Sistema de escoramento metálico para vigas	65
Figura 26 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento comercial 1	70
Figura 27 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento comercial 2 (Modelo 1) ..	77
Figura 28 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento residencial 1	84
Figura 29 – Custos dos pavimentos por metro quadrado	87
Figura 30 – Custos por serviço para pavimento comercial 1	88
Figura 31 – Custos por serviço para pavimento comercial 2 (Modelo 1)	89
Figura 32 – Custos por serviço para pavimento comercial 2 (Modelo 2)	89
Figura 33 – Custos por serviço para pavimento residencial 1	90

Figura 34 – Relação entre custo por metro quadrado e vão médio dos pavimentos	91
Figura 35 – Relação entre o volume de concreto e a área dos pavimentos	95
Figura 36 – Relação entre a quantidade de aço e a área dos pavimentos	95
Figura 37 – Relação entre a quantidade de aço e concreto dos pavimentos	96
Figura 38 – Quantidade de homens-hora por área de pavimento	97
Figura 39 – Pé-direito de um pavimento	98

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores mínimos das cargas verticais	26
Quadro 2 – Classes de agressividade ambiental	28
Quadro 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	29
Quadro 4 – Limites para deslocamentos	31
Quadro 5 – Valores mínimos para armaduras passivas aderentes	33
Quadro 6 – Taxas mínimas de armadura de flexão	34
Quadro 7 – Consumo de materiais para pavimento comercial 1 com laje maciça	67
Quadro 8 – Custo global para pavimento comercial 1 com laje maciça	68
Quadro 9 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 1 com laje maciça	69
Quadro 10 – Consumo de materiais para pavimento comercial 1 com laje nervurada	70
Quadro 11 – Custo global para pavimento comercial 1 com laje nervurada	71
Quadro 12 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 1 com laje nervurada	72
Quadro 13 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)	73
Quadro 14 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)	74
Quadro 15 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)	74
Quadro 16 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)	75
Quadro 17 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)	76
Quadro 18 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)	76
Quadro 19 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 1)	78
Quadro 20 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 2)	78
Quadro 21 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 1)	79
Quadro 22 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 2)	80
Quadro 23 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 1)	81
Quadro 24 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 2)	81
Quadro 25 – Consumo de materiais para pavimento residencial 1 com laje maciça	82

Quadro 26 – Custo global para pavimento residencial 1 com laje maciça	82
Quadro 27 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento residencial 1 com laje maciça	83
Quadro 28 – Consumo de materiais para pavimento residencial 1 com laje nervurada ..	84
Quadro 29 – Custo global para pavimento residencial 1 com laje nervurada	85
Quadro 30 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento residencial 1 com laje nervurada	86
Quadro 31 – Custos de material e mão de obra em cada pavimento com laje maciça	92
Quadro 32 – Custos de material e mão de obra em cada pavimento com laje nervurada	93
Quadro 33 – Comparação entre os pés-direitos dos pavimentos	98

LISTA DE SÍMBOLOS

b_w – largura da nervura (cm)

l_{ef} – vão efetivo da laje (m)

l_0 – distância entre as faces internas dos apoios (m)

a_1 – menor valor entre $t_1/2$ e $0,3h$ (m)

t_1 – largura do apoio (ver figura 4) (m)

h – espessura da laje (m)

a_2 – menor valor entre $t_2/2$ e $0,3h$ (m)

t_2 – largura do apoio (ver figura 4) (m)

l – distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno (m)

ψ_1 – coeficiente para a ação do vento em combinação frequente

H – altura total do edifício (m)

H_i – desnível entre dois pavimentos vizinhos (m)

ρ_s – taxa de armadura de tração (%)

ρ_p – taxa de armadura ativa (%)

ρ_{min} – taxa mínima de armadura (%)

A_s – armadura de tração (cm²)

s – espaçamento dos estribos (cm)

$M_{d,min}$ – momento fletor mínimo de tração (kNm)

W_0 – módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada (m³)

$f_{ctk, sup}$ – resistência característica superior do concreto à tração (MPa)

A_s' – armadura de compressão (cm²)

A_c – área da seção transversal (cm²)

l_x – menor vão da laje (m)

l_y – maior vão da laje (m)

a_x – menor dimensão da abertura na laje (m)

a_y – maior dimensão da abertura na laje (m)

γ_n – coeficiente de majoração para lajes em balanço

d – altura útil da viga (cm)

h_f – altura da mesa de concreto (cm)

r_{inf} – rigidez de tramo inferior de pilar em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm³)

r_{sup} – rigidez de tramo superior de pilar em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm³)

r_{vig} – rigidez de uma viga em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm³)

x – altura da linha neutra (cm)

$A_{s,min}$ – armadura mínima de tração (cm²)

A_{sw} – área de estribos por metro de comprimento da viga (cm²/m)

A_{s1} – área da seção da barra (cm)

V_k – esforço cortante característico (kN)

$V_{k,min}$ – esforço cortante característico correspondente à armadura mínima (kN)

$V_{d,min}$ – esforço cortante correspondente à armadura mínima (kN)

$\rho_{w,min}$ – taxa de armadura mínima para estribos (%)

f_{yd} – tensão de escoamento do aço (MPa)

τ_c – parâmetro dado em função da resistência à tração do concreto (MPa)

f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão (MPa)

f_{ctm} – resistência média à tração do concreto (MPa)

f_{yk} – tensão de escoamento característica do aço (MPa)

e_0 – espaçamento entre as armaduras quando há mais de uma camada (cm)

e_v – espaçamento vertical entre as armaduras (cm)

e_h – espaçamento horizontal entre as armaduras (cm)

Φ – diâmetro das barras da armadura longitudinal (mm)

A_{sp} – armadura de pele (cm²)

Φ_t – diâmetro das barras do estribo (mm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	19
2.1 QUESTÃO DA PESQUISA	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	19
2.2.1 Objetivo principal	19
2.2.2 Objetivo secundário	19
2.3 PRESSUPOSTO	19
2.4 PREMISA	20
2.5 DELIMITAÇÕES	20
2.6 LIMITAÇÕES	20
2.7 DELINEAMENTO	21
3 CARACTERÍSTICAS DAS LAJES DE CONCRETO ARMADO	24
3.1 VINCULAÇÃO DAS LAJES	25
3.2 CARGAS ATUANTES NAS LAJES	26
3.3 VÃO EFETIVO DAS LAJES	27
3.4 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DAS LAJES.....	28
3.4.1 Classe de agressividade ambiental	28
3.4.2 Cobrimento nominal	29
3.4.3 Estados-limites	30
3.4.4 Deslocamentos limites	30
3.4.5 Taxas de armadura máximas e mínimas	33
3.5 ABERTURAS EM LAJES	35
3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DETALHAMENTO DAS ARMADURAS NAS LAJES.....	36
3.7 MÉTODO DE CÁLCULO DAS LAJES DE CONCRETO ARMADO	38
3.8 TIPOS DE LAJES	39
3.8.1 Lajes maciças	39
3.8.1.1 Classificação das lajes maciças	40
3.8.1.2 Vantagens e desvantagens das lajes maciças	41
3.8.1.3 Limites mínimos para lajes maciças	41
3.8.2 Lajes nervuradas	42
3.8.2.1 Classificação das lajes nervuradas	43
3.8.2.2 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas	46

3.8.2.3 Limites mínimos para as lajes nervuradas	47
3.8.2.4 Considerações de projeto para as lajes nervuradas	47
4 VIGAS	49
4.1 CARREGAMENTOS ATUANTES	49
4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE ESTRUTURAL EM VIGAS	50
4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ARMADURAS DAS VIGAS	51
4.4 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS	54
4.4.1 Largura mínima e largura efetiva	54
4.4.2 Cobrimento mínimo	54
4.4.3 Espaçamento das barras	55
4.4.4 Armadura de pele e armadura construtiva	56
4.4.5 Estribos	57
5 METODOLOGIA ADOTADA	58
5.1 ESCOLHA DOS PAVIMENTOS ESTUDADOS	58
5.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS	61
5.3 CUSTOS DE EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS	62
5.3.1 Custos para os modelos com laje maciça	63
5.3.2 Custos para os modelos com laje nervurada	64
5.4 PRAZOS DE EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS	66
6 RESULTADOS	67
6.1 PAVIMENTO COMERCIAL 1	67
6.1.1 Modelo com laje maciça	67
6.1.2 Modelo com laje nervurada	69
6.2 PAVIMENTO COMERCIAL 2	72
6.2.1 Modelos com laje maciça	72
6.2.2 Modelos com laje nervurada	77
6.3 PAVIMENTO RESIDENCIAL 1	82
6.3.1 Modelo com laje maciça	82
6.3.2 Modelo com laje nervurada	84
7 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	87
7.1 CUSTOS	87
7.2 CONSUMOS E ÍNDICES	95
7.3 PÉ-DIREITO DOS PAVIMENTOS	97
8 ANÁLISE FINAL E CONCLUSÕES	100

REFERÊNCIAS	101
APÊNDICE A	102
APÊNDICE B	111
APÊNDICE C	116
APÊNDICE D	121

1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento das técnicas de construção civil tem sido responsável pela busca constante de novas alternativas e métodos construtivos. A evolução das formas arquitetônicas, que forçaram o aumento dos vãos, e o alto custo das fôrmas estão tornando as lajes maciças economicamente desfavoráveis, em muitos casos. Araújo (2014b) destaca que, nos casos em que o vão a ser vencido é muito grande, a solução em laje maciça pode ser antieconômica, uma vez que a espessura exigida passa a ser tão elevada que a maior parte do carregamento é constituída pelo peso próprio da laje.

Neste contexto, surge como alternativa as lajes nervuradas, que propiciam uma redução no peso próprio da estrutura e um melhor aproveitamento do aço e do concreto. Essas lajes permitem vencer um espaçamento maior entre pilares do que as lajes maciças, liberando espaços, e têm grande versatilidade de aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, bem como estacionamentos. Por outro lado, apresentam algumas desvantagens, como a dificuldade na passagem de tubulações e a demanda por alturas maiores do edifício e de cada andar (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

Carvalho e Pinheiro (2013) explicam que a ideia que levou ao surgimento dessas lajes é relativamente simples, já que as lajes maciças apresentam, para grandes vãos, uma pequena região de concreto comprimido no Estado Limite Último, e, dessa forma, há muito concreto abaixo da linha neutra que está tracionado, não colaborando na resistência à flexão. Com isso, parte desse concreto pode ser eliminada ou substituída por algum material inerte, mais leve e barato, como tabelas cerâmicas vazadas, blocos de concreto leve ou isopor, de forma a tornar plana a superfície externa.

No entanto, a busca pela redução de dimensões da estrutura, como a altura útil das lajes, exige o uso de concretos mais resistentes e métodos de cálculo cada vez mais eficientes, através do avanço no desenvolvimento de programas computacionais. Apesar de todo esse avanço tecnológico, é importante destacar que cabe sempre ao projetista conceber e definir a melhor estrutura para determinada situação, para que seu conhecimento, aliado a programas computacionais, resulte em uma estrutura segura, funcional e econômica.

Com base nisto, este trabalho tem como proposta a comparação de pavimentos de edifícios residenciais e comerciais executados com lajes maciças e nervuradas. Tal comparação será feita em relação ao consumo de materiais (aço, concreto, fôrmas), à velocidade de execução (homens-hora necessários), ao custo global de cada pavimento estudado, bem como à influência da escolha do sistema estrutural no pé-direito da edificação. Assim, pretende-se analisar as principais vantagens e desvantagens do uso de lajes maciças e nervuradas em diferentes pavimentos, de acordo com os critérios acima citados, visando facilitar a escolha do sistema estrutural mais adequado em cada caso.

O trabalho está estruturado em oito capítulos. No capítulo um foram apresentadas as considerações iniciais sobre o assunto, salientando sua importância para a engenharia civil. No capítulo dois são apresentadas as diretrizes do trabalho, compostas pela questão de pesquisa, objetivos, pressupostos, premissas, delimitações, limitações e delineamento do trabalho. No capítulo três são apresentadas as principais características das lajes de concreto armado, os critérios usados para seu dimensionamento, o método de cálculo utilizado, bem como as principais diferenças entre os sistemas estruturais utilizando lajes maciças e nervuradas, salientando as vantagens e desvantagens de cada um desses modelos. No capítulo quatro são apresentadas as principais características das vigas e seus critérios de dimensionamento.

O capítulo cinco apresenta os pavimentos dos edifícios escolhidos para a análise e aborda as etapas de seu dimensionamento, que irão fornecer o consumo de aço, concreto e fôrmas necessários, além do procedimento usado para a estimativa dos custos e prazos em cada modelo, enquanto o capítulo seis apresenta os resultados encontrados para cada um dos pavimentos, em cada sistema estrutural. Os resultados obtidos para os sistemas com lajes maciças e nervuradas são comparados por meio de gráficos e tabelas no capítulo sete, no qual é feita uma análise das principais vantagens e desvantagens em cada caso. Por fim, no capítulo oito, apresenta-se uma análise final dos resultados e as conclusões.

O apêndice A apresenta as composições de serviços utilizadas para estimar o custo dos pavimentos, os apêndices B e C apresentam as plantas de fôrmas dos pavimentos com laje maciça e com laje nervurada, respectivamente, e o apêndice D apresenta um exemplo das plantas de armaduras das lajes de um dos pavimentos calculados.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais as principais vantagens e desvantagens do uso de lajes maciças ou nervuradas em pavimentos de edifícios comerciais e residenciais com características distintas entre si?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a comparação de sistemas estruturais utilizando lajes maciças e nervuradas em algumas configurações de edifícios típicas da cidade de Nova Prata, RS, com relação aos custos, consumo de materiais, demanda de mão de obra e influência sobre o pé-direito da edificação.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a caracterização de cada pavimento estudado em ambos os sistemas estruturais no que se refere aos aspectos técnicos e econômicos acima citados.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o *software Cypecad* fornece resultados adequados para o cálculo de pavimentos com lajes maciças e nervuradas, de acordo com as exigências das normas técnicas vigentes, em especial a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

NORMAS TÉCNICAS, 2014), desde que seja corretamente modelado e com critérios ajustados apropriadamente.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que um dado projeto arquitetônico pode ser executado utilizando diferentes sistemas estruturais, cabendo aos agentes envolvidos na execução da edificação (incorporador, construtor, projetista estrutural e arquiteto) a escolha do modelo mais adequado em cada caso.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de pavimentos de alguns edifícios comerciais e residenciais com lajes maciças e nervuradas, representativos dos edifícios usualmente construídos na região de Nova Prata, localizada no interior do Rio Grande do Sul.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) análise e dimensionamento estrutural realizado com o auxílio do *software Cypecad*, que utiliza o método dos elementos finitos;
- b) composições unitárias de serviços utilizando informações retiradas do TCPO (TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS, 2012);
- c) estimativa de custos de materiais e mão de obra utilizando preços médios de mercado, praticados na região de Nova Prata, foco deste trabalho;
- d) utilização de dimensões e custos de cubetas para lajes nervuradas de apenas uma empresa fornecedora, que atua na região de Nova Prata;
- e) utilização de concreto de uma única classe (C30) e os aços CA-50 ($\phi \geq 6,3\text{mm}$) e CA-60 ($\phi < 6,3\text{mm}$);
- f) adoção do sistema de escoramento utilizado na região de estudo para cada modelo (escoramento em madeira para lajes maciças e escoramento metálico para lajes nervuradas);
- g) adoção do ritmo de obra usualmente empregado na região de estudo (concretagem de uma laje a cada 20 ou 30 dias, dependendo da área do pavimento);

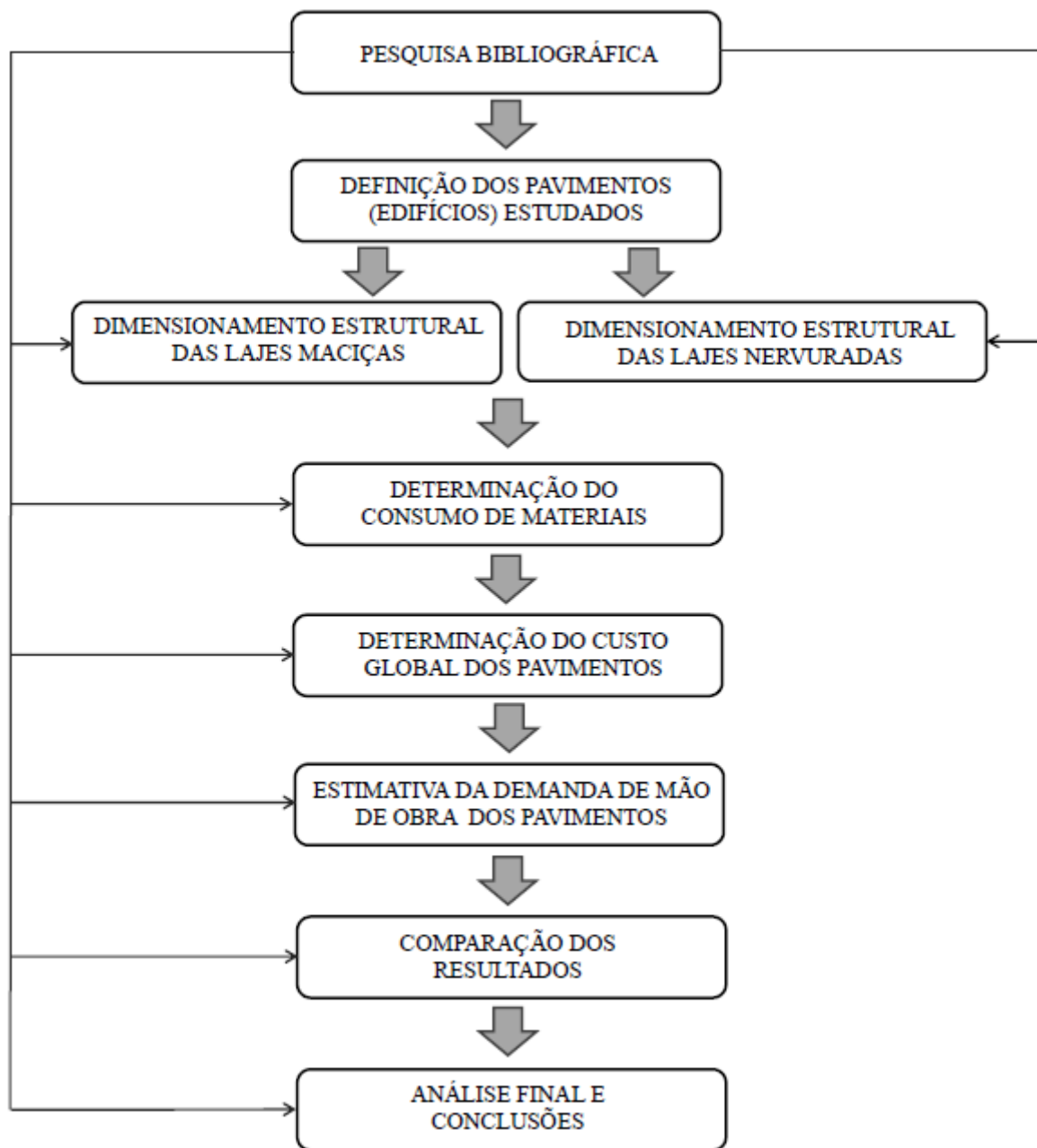
- h) adoção de altura máxima para os edifícios usualmente encontrados na região de estudo (10 andares);
- i) dimensionamento dos pavimentos apenas para cargas verticais estáticas;
- j) análise e dimensionamento de cada pavimento estudado restritos às lajes e suas respectivas vigas.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição dos pavimentos (edifícios) estudados;
- c) dimensionamento estrutural das lajes maciças;
- d) dimensionamento estrutural das lajes nervuradas;
- e) determinação do consumo de materiais;
- f) determinação do custo global dos pavimentos;
- g) estimativa da demanda de mão de obra nos pavimentos, através da quantidade de homens-hora requeridos;
- h) comparação dos resultados;
- i) análise final e conclusões.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

A primeira etapa do trabalho, denominada **pesquisa bibliográfica**, compreende a coleta dos dados e informações necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, a fim de obter embasamento teórico e conhecimento necessário para sua realização e validação, através da leitura e do estudo de normas técnicas, livros, trabalhos de conclusão, dissertações e teses. Por se tratar de uma etapa de obtenção de informações, terá maior duração que as outras, estendendo-se do início ao fim do trabalho.

A etapa de **definição dos pavimentos (edifícios) estudados** compreende a escolha dos pavimentos que serão comparados neste trabalho, com base na análise de plantas arquitetônicas de pavimentos de edifícios comerciais e residenciais.

As etapas de **dimensionamento estrutural das lajes maciças** e **dimensionamento estrutural das lajes nervuradas** compreendem a estimativa dos carregamentos atuantes e a obtenção das solicitações referentes aos mesmos, para, com base nelas, determinar as dimensões das seções transversais, as taxas de armadura e o detalhamento das diversas peças estruturais. É imprescindível considerar todas as recomendações da norma de concreto armado no que diz respeito aos aspectos construtivos para cada sistema estrutural, respeitando sempre os limites mínimos estabelecidos por ela.

Na sequência, será feita a **determinação do consumo de materiais** necessários para a execução de cada pavimento (aço, concreto, fôrmas), bem como a **determinação do custo global dos pavimentos**, incluindo mão de obra e materiais envolvidos em cada etapa de montagem e execução dos sistemas estruturais. Considerando todas as etapas envolvidas em cada um dos sistemas, será feita uma **estimativa da demanda de mão de obra para a execução dos pavimentos**, com base na quantidade de homens-hora necessários, bem como no planejamento da obra.

Por fim, será realizada a etapa de **comparação dos resultados**, considerando as variáveis definidas anteriormente. O resultado das comparações irá alimentar a etapa de **análise final e conclusões**, na qual serão discutidas as vantagens e desvantagens dos pavimentos estudados para cada um dos sistemas propostos.

3 CARACTERÍSTICAS DAS LAJES DE CONCRETO ARMADO

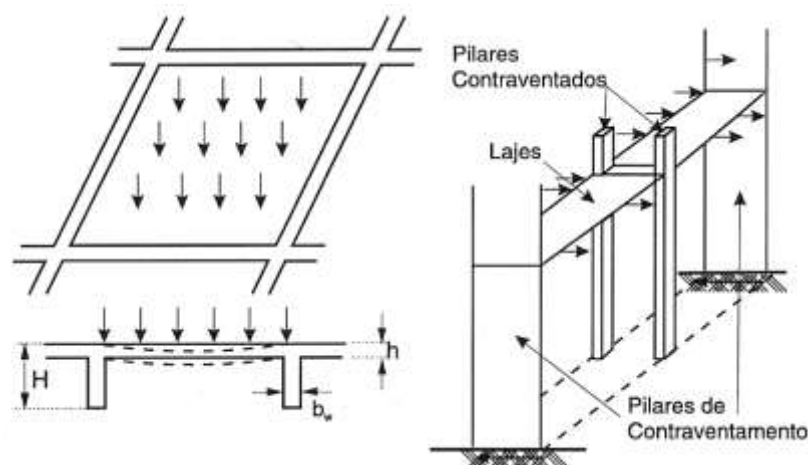
Segundo Campos Filho (2014, p. 1):

As lajes são elementos estruturais laminares planos, solicitados predominantemente por cargas normais ao seu plano médio. Elas constituem os pisos dos edifícios correntes de concreto armado. Nas estruturas laminares planas, predominam duas dimensões, comprimento e largura, sobre a terceira que é a espessura. De mesma forma que as vigas são representadas pelos seus eixos, as lajes são representadas pelo seu plano médio. As lajes são diferenciadas pela sua forma, vinculação e relação entre os lados. Geralmente, nas estruturas correntes, as lajes são retangulares, mas podem ter forma trapezoidal ou em L.

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 84), as placas são “Elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes.”.

Segundo Fusco (1995), as lajes de concreto, sob a ação de cargas que agem de forma perpendicular ao seu plano médio, têm comportamento de placa. Quando elas estão sob a ação de cargas atuantes em seu próprio plano médio, têm o comportamento de chapa. De maneira geral, pode-se dizer que o comportamento de placa está associado à flexão local devida ao carregamento diretamente aplicado às lajes, e o comportamento de chapa está associado ao contraventamento da estrutura global tridimensional e à transmissão das cargas horizontais do vento aos elementos a elas resistentes. A figura 2 ilustra o comportamento das lajes.

Figura 2 – Comportamento das lajes



(fonte: FUSCO, 1995, p. 251)

Carvalho e Pinheiro (2013) destacam que a laje, por ter o comportamento de placa, apresentando tensões significativas em duas direções, está submetida a esforços solicitantes de menor intensidade que elementos com comportamento de viga. Em relação à flecha, tem-se que a da laje, nas dimensões usualmente empregadas em edifícios, com condições de vinculação que as façam ter uma deformada com curvatura dupla, é cerca de 30% daquela da viga, considerando apenas o cálculo linear, sem fissuração e fluência. Portanto, o estado de deformação das lajes também é menor que o dos elementos com comportamento de viga.

As lajes podem ser de vários tipos, de acordo com o tamanho dos vãos, cargas aplicadas e método construtivo (maciças, nervuradas, lisas, protendidas, pré-moldadas), devendo, sua solução estrutural, respeitar o projeto arquitetônico, no que diz respeito, principalmente, ao pé-direito da edificação e aos vãos livres solicitados. Neste trabalho, serão estudadas as lajes maciças e nervuradas, cujas principais características estão descritas ao longo deste capítulo.

3.1 VINCULAÇÃO DAS LAJES

As bordas das lajes podem ser apoiadas, livres ou engastadas. Elas são usualmente consideradas apoiadas quando são suportadas, de forma contínua, por vigas ou paredes portantes. Quando a borda da laje não possui nenhuma vinculação ao longo daquele lado, ela é dita livre. Já quando a borda da laje tem continuidade além do apoio, ela é considerada engastada, sendo que o engastamento ocorre entre as lajes adjacentes, e não entre laje e viga (CAMPOS FILHO, 2014).

Efetivamente, quando o apoio é proporcionado por uma viga, há um engastamento entre a laje e a viga ao longo do bordo de apoio, uma vez que a estrutura é moldada de forma monolítica. Tal engastamento tem como consequência a necessidade de armaduras de flexão na parte superior da laje, junto ao bordo apoiado, e de armadura de torção na viga que dá apoio. Para evitar a utilização de armaduras de torção nas vigas, é comum fazer-se a análise de solicitações considerando que a laje está apenas apoiada sobre a viga, que recebe apenas a reação da laje como carga vertical. A consequência desse modelo de comportamento é o aparecimento de fissuras na face superior da laje junto à viga, uma vez que a estrutura é, inicialmente, monolítica, com a laje engastada à viga. Após o aparecimento das fissuras, o engaste transforma-se em apoio e a estrutura passa a funcionar da forma como o modelo

previa. Para minimizar a fissuração resultante de tal consideração de funcionamento estrutural, é comum o emprego de armaduras de contorno na face superior da laje.

3.2 CARGAS ATUANTES NAS LAJES

As cargas atuantes nas lajes dos edifícios podem ser classificadas como permanentes e variáveis, sendo que as cargas permanentes ocorrem com valores praticamente constantes ao longo da vida útil da construção, enquanto as cargas variáveis sofrem variações significativas ao longo deste período (ARAÚJO, 2014a).

De acordo com a NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1), carga permanente é o tipo de carga “[...] constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes.”. Estão incluídos, neste caso, o peso dos revestimentos, alvenarias e enchimentos, entre outros.

Ainda segundo a NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1), a carga variável “É toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.)”. As cargas verticais que se consideram atuando no piso das edificações, além daquelas que se aplicam em caráter especial, são supostas uniformemente distribuídas. O quadro 1, abaixo, mostra os valores mínimos das principais cargas verticais a serem utilizadas em edifícios residenciais e escritórios.

Quadro 1 – Valores mínimos das cargas verticais

Local	Descrição	Carga (kN/m²)
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2,0
Escadas	Com acesso ao público	3,0
	Sem acesso ao público	2,5
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2,0
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Terraços	Sem acesso ao público	2,0
	Com acesso ao público	3,0

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 3)

3.3 VÃO EFETIVO DAS LAJES

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 95), se os apoios puderem ser considerados suficientemente rígidos em relação à translação vertical, o vão efetivo da laje ou placa é calculado de acordo com a fórmula 1, abaixo.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (\text{fórmula 1})$$

Sendo:

l_{ef} o vão efetivo da laje (m);

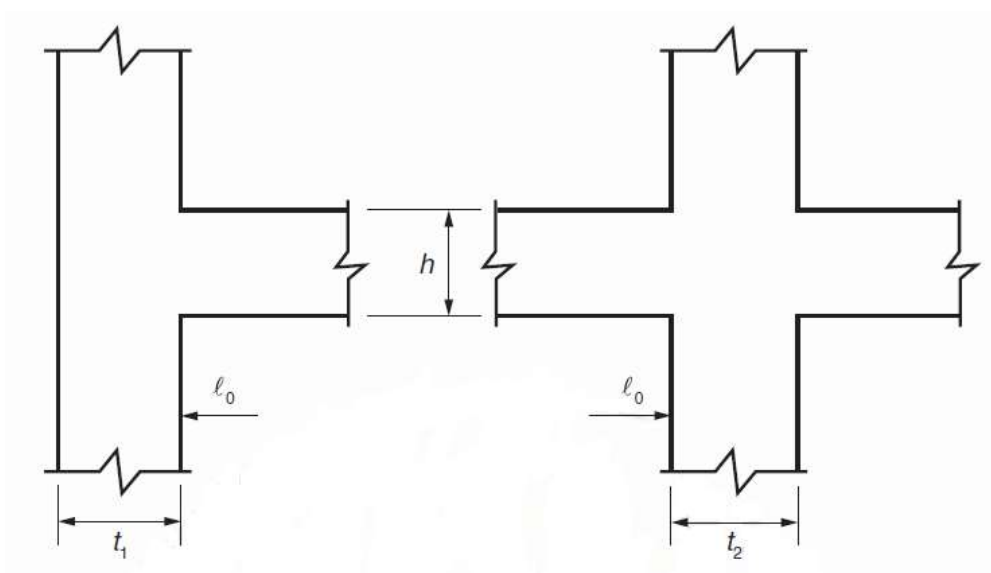
l_0 a distância entre as faces internas dos apoios (m);

a_1 o menor valor entre $t_1/2$ e $0,3h$, sendo t_1 a largura do apoio e h a espessura da laje (m) – vão extremo;

a_2 o menor valor entre $t_2/2$ e $0,3h$, sendo t_2 a largura do apoio e h a espessura da laje (m) – vão intermediário.

A figura 3 ilustra essa situação para apoio de vão extremo e para apoio de vão intermediário.

Figura 3 – Vão efetivo das lajes



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 90)

3.4 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Para que seja feito o dimensionamento das lajes, torna-se necessária uma análise das considerações da norma vigente no que diz respeito aos critérios que devem ser considerados ao longo do desenvolvimento do projeto. Os critérios considerados são a classe de agressividade do ambiente, o cobrimento nominal, os estados e deslocamentos limites e as taxas de armadura máximas e mínimas, que seguem descritos abaixo.

3.4.1 Classe de agressividade ambiental

A agressividade do ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que agem nas estruturas de concreto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 16). Ela deve ser classificada de acordo com o que está apresentado no quadro 2, que corresponde à tabela 6.1 da NBR 6118, e pode ser avaliada segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes, simplificadamente.

Quadro 2 – Classes de agressividade ambiental

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

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

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

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 17)

3.4.2 Cobrimento nominal

Segundo recomendações da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 19), o cobrimento mínimo da armadura constitui um critério de aceitação da estrutura, que visa sua durabilidade. Ele corresponde ao menor valor a ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado. Para que este cobrimento mínimo seja respeitado, considera-se no projeto e na execução um cobrimento nominal, que corresponde ao cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução.

Estes cobrimentos referem-se sempre à superfície da armadura externa, em geral, à face externa do estribo. No quadro 3 tem-se a relação entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para uma tolerância de 10 mm.

Quadro 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

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

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

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

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

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

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 20)

3.4.3 Estados-limites

Os estados-limites últimos e os estados-limites de serviço são fatores fundamentais a serem considerados no dimensionamento de estruturas, uma vez que estão ligados aos critérios de segurança. Em relação aos estados-limites últimos, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 54) recomenda que a segurança das estruturas de concreto seja verificada para:

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

Já os estados-limites de serviço são definidos pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 55) como “[...] 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.”. Os principais estados-limites de serviço a serem verificados nas estruturas são o de formação de fissuras, abertura das fissuras e deformações excessivas.

3.4.4 Deslocamentos limites

Os deslocamentos limites a serem respeitados no dimensionamento das estruturas estão apresentados no quadro 4 e são determinados pelo item 13.3 da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 76):

- a) aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável. [...];
- b) efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- c) efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão a ela ligados;
- d) efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.

Quadro 4 – Limites para deslocamentos

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350 + \text{contraflecha}^b$
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500^c$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250^c$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850^e$ entre pavimentos ^f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400^g$ e 15 mm

continua

continuação

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamentos de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

^a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

^b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.

^c O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

^d Rotação nos elementos que suportam paredes.

^e H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

^f Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

^g O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores-limites de deslocamentos supõem elementos de vão l suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor l é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na Seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 77)

3.4.5 Taxas de armadura máximas e mínimas

Conforme recomendações da NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), torna-se necessário estabelecer valores mínimos de armadura passiva para melhorar o desempenho e a ductilidade à flexão, bem como controlar a fissuração nas lajes. Essa armadura deve, preferencialmente, ser constituída por barras de alta aderência ou telas soldadas, e seus limites mínimos estão representados no quadro 5.

Quadro 5 – Valores mínimos para armaduras passivas aderentes

Armadura	Elementos estruturais sem armaduras ativas	Elementos estruturais com armadura ativa aderente	Elementos estruturais com armadura ativa não aderente
Armaduras negativas	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}} - \rho_p \geq 0,67\rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}} - 0,5 \rho_p \geq 0,67\rho_{\text{mín}}$
Armaduras negativas de borda sem continuidade	$\rho_s \geq 0,67\rho_{\text{mín}}$		
Armaduras positivas de lajes armadas nas duas direções	$\rho_s \geq 0,67\rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq 0,67 \rho_{\text{mín}} - \rho_p \geq 0,5\rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}} - 0,5 \rho_p \geq 0,5\rho_{\text{mín}}$
Armaduras positiva (principal) de lajes armadas em uma direção	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}} - \rho_p \geq 0,5\rho_{\text{mín}}$	$\rho_s \geq \rho_{\text{mín}} - 0,5 \rho_p \geq 0,5\rho_{\text{mín}}$
Armaduras positiva (secundária) de lajes armadas em uma direção	$A_s/s \geq 20\%$ da armadura principal $A_s/s \geq 0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\rho_s \geq 0,5 \rho_{\text{mín}}$		-

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 158)

No quadro anterior, os valores de ρ_s e ρ_p são dados pelas fórmulas 2 e 3:

$$\rho_s = \frac{A_s}{b_w h} \quad (\text{fórmula 2})$$

Sendo:

ρ_s a taxa de armadura de tração (%);

A_s a armadura de tração (cm²);

b_w é a largura mínima da seção ao longo da altura útil (cm);

h é a espessura da laje (cm).

$$\rho_p = \frac{A_p}{b_w h} \quad (\text{fórmula 3})$$

Sendo:

ρ_p a taxa de armadura ativa (%);

A_p a armadura ativa (cm²);

b_w é a largura mínima da seção ao longo da altura útil (cm);

h é a espessura da laje (cm).

O valor de $\rho_{\text{mín}}$, por sua vez, é apresentado no quadro 6, e varia conforme o f_{ck} adotado e também conforme o tipo de aço utilizado.

Quadro 6 – Taxas mínimas de armadura de flexão - $\rho_{\text{mín}}$ (%)

f_{ck} (MPa)	Concretos do Grupo I						
	20	25	30	35	40	45	50
CA-50	0,15	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24
CA-60	0,15	0,15	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20
f_{ck} (MPa)	Concretos do Grupo II						
	55	60	70	80	90		
CA-50	0,25	0,26	0,27	0,29	0,30		
CA-60	0,21	0,21	0,23	0,24	0,25		

(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 156)

A armadura mínima de tração deve ser dimensionada segundo um momento mínimo, que é dado pela fórmula 4:

$$M_{d,\text{mín}} = 0,8 W_0 f_{\text{ctk},\text{sup}} \quad (\text{fórmula 4})$$

Sendo:

$M_{d,\text{mín}}$ o momento fletor mínimo de tração (kNm);

W_0 o módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada (m³);

$f_{\text{ctk},\text{sup}}$ a resistência característica superior do concreto à tração (MPa).

A especificação de valores máximos de armadura decorre da necessidade de assegurar as condições de ductilidade da estrutura. Tem-se que “A soma das armaduras de tração e compressão ($A_s + A_s'$) não pode ter valor maior que 4% A_c [área da seção transversal], calculada na região fora da zona de emendas [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 132).

3.5 ABERTURAS EM LAJES

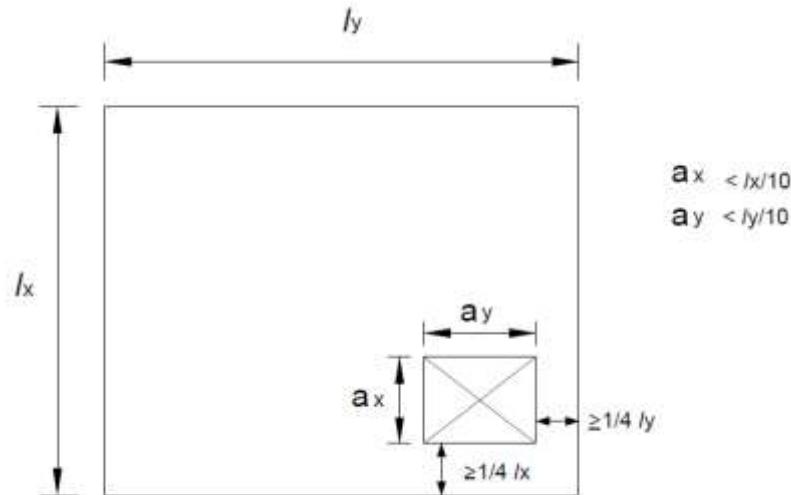
A execução de furos ou aberturas em qualquer elemento estrutural dá origem à concentração de tensões, que podem ser prejudiciais. De maneira geral, a NBR 6118 define que os furos possuem dimensões pequenas em relação ao elemento estrutural, enquanto as aberturas não. Quando se tem um conjunto de furos muito próximos, estes devem ser tratados como uma abertura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 75).

Carvalho e Pinheiro (2013) explicam que a necessidade de aberturas em lajes se dá, principalmente, para dar passagem às instalações prediais (água, esgoto, etc.). As verificações recomendadas pela norma podem ser dispensadas se as lajes forem armadas nas duas direções, e respeitarem, simultaneamente, as seguintes condições, ilustradas na figura 4 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 76):

- a) as dimensões da abertura devem corresponder no máximo a 1/10 do vão menor (l_x);

- b) a distância entre a face de uma abertura e o eixo teórico de apoio da laje deve ser igual ou maior que $1/4$ do vão, na direção considerada;
- c) a distância entre faces de aberturas adjacentes deve ser maior que a metade do menor vão.

Figura 4 – Dimensões limites para aberturas de lajes com dispensa de verificação



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 76)

A NBR 6118, em seu item 21.3.4, destaca as seguintes condições a serem obedecidas para o caso de aberturas em lajes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 178):

- a) a seção do concreto remanescente da parte central ou sobre o apoio da laje deve ser capaz de equilibrar os esforços no estado-limite último, correspondentes a essa seção sem aberturas;
- b) as seções das armaduras interrompidas devem ser substituídas por seções equivalentes de reforço, devidamente ancoradas;
- c) no caso de aberturas em regiões próximas a pilares, nas lajes lisas ou cogumelo, o modelo de cálculo deve prever o equilíbrio das forças cortantes atuantes nessas regiões.

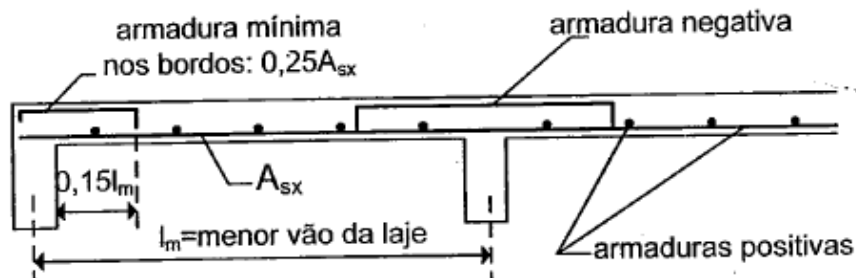
3.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DETALHAMENTO DAS ARMADURAS NAS LAJES

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 169), o projeto deve detalhar as armaduras de forma que seu posicionamento seja perfeitamente garantido durante a concretagem. Abaixo, estão listadas as principais recomendações da norma:

- a) o diâmetro das barras da armadura de flexão não deve ultrapassar o valor $h/8$, sendo h a espessura da laje;
- b) a armadura principal de flexão deve ter barras com espaçamento no máximo igual a $2h$ ou 20 cm, prevalecendo o menor dos valores na região de maiores momentos fletores;
- c) a armadura secundária de flexão deve ser igual ou superior a 20% da armadura principal e deve ser mantido um espaçamento máximo de 33 cm entre essas barras;
- d) os estribos, quando necessários em lajes nervuradas, devem ter espaçamento máximo igual a 20 cm.

Araújo (2014a) explica que as armaduras de flexão das lajes podem ser de dois tipos: as armaduras positivas, que são colocadas na face inferior da laje, e as armaduras negativas, que são colocadas na face superior nas regiões de engastamento. Além destas duas, há ainda a armadura de contorno, que serve para evitar a fissuração decorrente dos momentos de engastamento residuais entre a laje e a viga de contorno ou borda, e é colocada nas bordas simplesmente apoiadas. A figura 5 representa um corte em um piso de concreto armado, com a indicação da posição das armaduras de flexão.

Figura 5 – Posicionamento das armaduras de flexão



(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 180)

Ao detalhar as armaduras, é necessário especificar o número de barras, o diâmetro, o espaçamento e o comprimento das barras em cada direção da laje.

3.7 MÉTODO DE CÁLCULO DAS LAJES DE CONCRETO ARMADO

A norma brasileira de concreto armado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 84) destaca que a análise estrutural pode ser efetuada por qualquer um dos métodos considerados por ela, cabendo ao projetista optar pela realização de uma análise elástica-linear ou plástica. Existem diversos métodos de cálculo de lajes em concreto armado disponíveis atualmente na bibliografia, podendo-se citar a teoria das linhas de ruptura, a teoria da flexão de placas, a analogia de grelha equivalente, o método das diferenças finitas e o método dos elementos finitos.

Este último método está sendo muito empregado atualmente, pois nele podem-se considerar as não linearidades física e geométrica, as diferentes condições de contorno e de carregamento, as formas diversificadas, entre outras vantagens. Neste método, não é necessário utilizar considerações sobre a diferença de espessura das lajes para a definição de engastamentos de continuidade, pois o método considera estes engastamentos de forma implícita à sua formulação, a partir da rigidez relativa dos diversos componentes estruturais. Contudo, por representar as solicitações de forma contínua e variável ao longo de toda a superfície do pavimento, apresenta maiores dificuldades para a obtenção de um detalhamento das armaduras de forma mais homogênea e de mais fácil execução em obra.

O cálculo dos pavimentos dos edifícios deste trabalho será realizado com o uso de uma ferramenta computacional, o *software Cypecad*, que utiliza o método dos elementos finitos para o cálculo, dimensionamento e detalhamento de estruturas em concreto armado.

O *software Cypecad* realiza o cálculo tanto de lajes maciças quanto de lajes nervuradas com base na inserção da planta arquitetônica do pavimento e da correta inclusão dos dados necessários para a modelagem da estrutura. No entanto, cabe destacar que o dimensionamento das armaduras não pode ser realizado apenas a partir dos esforços ou tensões resultantes da análise computacional, devendo sempre respeitar as recomendações da norma de concreto armado no que diz respeito à quantidade máxima e mínima de armadura exigida segundo a teoria de concreto estrutural, bem como os critérios de detalhamento prescritos por ela (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 82).

3.8 TIPOS DE LAJES

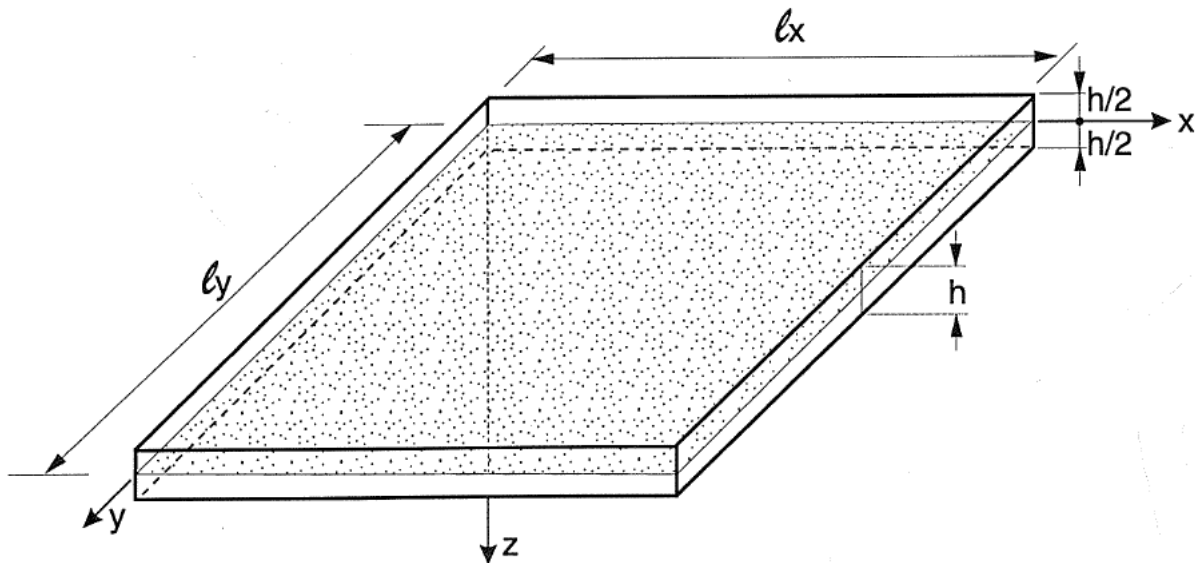
3.8.1 Lajes maciças

Segundo Araújo (2014a, p. 2):

As lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo de seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou alvenarias, sendo este o tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.

Em edifícios comerciais e residenciais, as lajes maciças são geralmente utilizadas em pavimentos em que o menor vão a ser vencido é inferior a cinco metros. A figura 6 ilustra uma perspectiva em piso de concreto armado constituído por laje maciça apoiada em vigas.

Figura 6 – Laje maciça



(fonte: FUSCO, 1995, p. 237)

As principais etapas de execução de uma laje maciça, conforme destacado por Barros e Melhado (1998) são:

- a) montagem das fôrmas de vigas e lajes, que ocorre após a finalização dos pilares, etapa na qual se deve ter cuidado em relação ao alinhamento das escoras e nivelamento das vigas e lajes, sendo finalizada com a limpeza das fôrmas para colocação das armaduras;

- b) montagem das armaduras de vigas e lajes, que é iniciada pela colocação dos espaçadores de acordo com os critérios de projeto e seguida pela marcação da posição das armaduras nos elementos estruturais;
- c) concretagem das vigas e lajes, etapa na qual se recomenda lançar o concreto diretamente sobre a laje, e espalhar com o auxílio de pás e enxadas, fazendo o adensamento do concreto com o uso de vibrador e o acabamento da laje com o uso de desempenadeira;
- d) desforma, processo que inicia depois de decorrido o tempo de cura do concreto, e deve respeitar as orientações do projeto estrutural referente à retirada do escoramento.

A cada uma dessas etapas, são listados os materiais envolvidos e a mão de obra necessária para a execução, para que se possa estimar o custo do pavimento. No caso, os principais custos com materiais são o concreto, em metros cúbicos, o aço, em quilogramas, as fôrmas, em metros quadrados, e a locação do escoramento. A mão de obra refere-se ao número de homens-hora necessários desde o início da montagem das fôrmas, até a finalização do pavimento, com sua desforma e reescoramento, passando pelas etapas de montagem das armaduras e concretagem das lajes e vigas.

3.8.1.1 Classificação das lajes maciças

As lajes maciças são classificadas, conforme a relação entre os seus vãos, em lajes armadas em cruz e lajes armadas em uma direção. Segundo Araújo (2014a), as lajes armadas em cruz, também denominadas lajes armadas em duas direções, são aquelas em que a relação entre o vão maior e o menor é inferior ou igual a dois. Quando isso ocorre, os momentos fletores nas duas direções devem ser calculados e, para cada um deles, deve-se dimensionar e dispor as armaduras nas direções correspondentes.

Ainda de acordo com Araújo (2014a), as lajes armadas em uma direção, por sua vez, são aquelas em que a relação entre os vãos é superior a dois. Sendo assim, o momento fletor na direção do vão maior é pequeno e não necessita ser calculado, sendo necessário apenas adotar uma armadura de distribuição nessa direção. Percebe-se, que, mesmo neste caso, a laje será armada nas duas direções, mas a diferença é que uma das armaduras é apenas arbitrada. Essa classificação das lajes considera que elas estejam sobre apoios rígidos ou quase rígidos. Se a laje estiver apoiada em vigas flexíveis, o que geralmente ocorre em edifícios residenciais e comerciais, a distribuição dos momentos na laje irá depender da rigidez das vigas de apoio.

3.8.1.2 Vantagens e desvantagens das lajes maciças

As lajes maciças apresentam como principais vantagens a simplicidade de execução e a grande rigidez a deslocamentos verticais. Por ser o sistema estrutural mais tradicional, a laje maciça é bastante utilizada por projetistas, principalmente quando o vão a ser vencido é pequeno ou médio (lajes com o menor vão inferior a 5 metros) (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

No entanto, para grandes vãos, as lajes maciças podem se tornar antieconômicas, já que a espessura necessária da laje certamente será elevada para que os critérios do estado-limite último e de pequenos deslocamentos transversais sejam atendidos, o que exigiria um elevado consumo de materiais.

3.8.1.3 Limites mínimos para lajes maciças

De acordo com Araújo (2014a, p. 169):

As lajes devem ser projetadas com uma espessura mínima suficiente para limitar suas deformações, além de evitar vibrações que causem desconforto aos usuários da edificação. Além disso, do ponto de vista construtivo, é conveniente que as lajes sejam projetadas com armadura simples, para evitar o uso de armadura superior ao longo dos vãos.

Segundo recomendações da NBR 6118, os limites mínimos a serem respeitados para a espessura das lajes maciças são os seguintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 74):

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

Para as lajes em balanço com espessura $h < 19$ cm, deve-se considerar, além do γ_f , o coeficiente adicional γ_n , que irá majorar os esforços de cálculo finais. Tal coeficiente é dado pela fórmula 5.

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 h \geq 1 \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo:

γ_n o coeficiente de majoração para lajes em balanço;

h a espessura da laje (m).

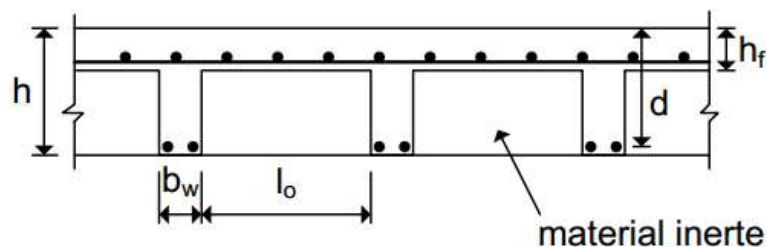
3.8.2 Lajes nervuradas

De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 97), “Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.”.

Araújo (2014b) destaca que nessas lajes a zona de tração é constituída pelas nervuras, e entre elas podem ser inseridos materiais inertes, para que a superfície externa se torne plana, proporcionando um melhor acabamento. Como exemplo de materiais a serem colocados entre as nervuras podem ser citados tabelas cerâmicas vazadas, blocos de concreto leve ou isopor, que são materiais mais leves e baratos que o concreto. Pode-se, alternativamente, preencher os espaços entre as nervuras com fôrmas industrializadas que, após sua retirada, deixam à mostra as nervuras da laje.

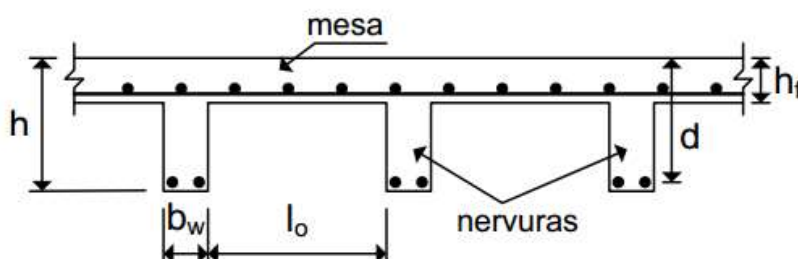
A figura 7 representa um corte transversal em uma laje nervurada que possui material inerte inserido entre as nervuras. A figura 8 ilustra uma laje com nervuras aparentes, resultantes da retirada das fôrmas.

Figura 7 – Laje nervurada com superfície plana



(fonte: ARAÚJO, 2014b, p. 193)

Figura 8 – Laje nervurada com nervuras aparentes



(fonte: ARAÚJO, 2014b, p. 194)

As etapas de execução das lajes nervuradas são muito semelhantes às das lajes maciças. Para o primeiro caso, no entanto, tem-se a etapa de colocação das cubetas que dão origem às nervuras da laje. Segundo Araújo (2008, p. 17):

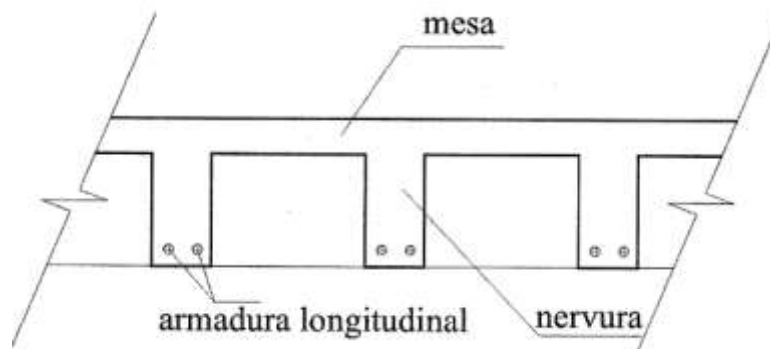
Antes da instalação das fôrmas, é necessária a colocação e montagem do escoramento e barroteamento de acordo com os espaços definidos no projeto de fôrmas. Geralmente é adotado um sistema de escoramento metálico, fornecido por empresas especializadas, especialmente para esse tipo de sistema construtivo, que permite a remoção da fôrma sem retirar as escoras.

3.8.2.1 Classificação das lajes nervuradas

As lajes nervuradas podem ser classificadas quanto ao posicionamento da mesa de concreto e também quanto à disposição das nervuras em planta. Em relação à mesa de concreto, as lajes nervuradas podem ser normais, invertidas ou duplas. As lajes nervuradas consideradas normais são aquelas nas quais existe uma mesa superior de concreto, e as nervuras são inferiores. Os espaços entre as nervuras podem ficar vazios ou serem ocupados por materiais inertes, sem função estrutural. Este tipo de laje é o de uso mais comum, e nelas as nervuras, juntamente com as mesas, têm, na seção transversal, a forma de um T, sendo, portanto, muito eficientes para resistir aos momentos fletores positivos, que tracionam a região inferior e

comprimem a superior. Para momentos fletores negativos a situação é inversa (CARVALHO; PINHEIRO, 2013). A figura 9 ilustra uma laje nervurada com mesa superior de concreto.

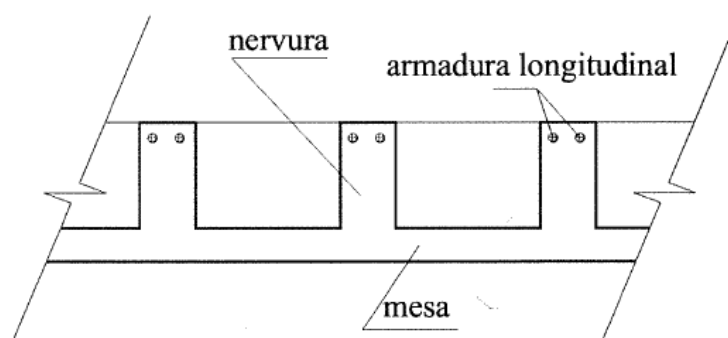
Figura 9 – Laje nervurada com mesa superior de concreto



(fonte: CARVALHO; PINHEIRO, 2013, p. 18)

Carvalho e Pinheiro (2013) explicam que as lajes nervuradas invertidas possuem uma mesa inferior de concreto, com nervuras superiores. Nestas lajes, as nervuras geralmente ficam aparentes, o que exige o uso de fôrmas para moldar tanto a mesa quanto as nervuras. Este tipo de laje, representada na figura 10, tem utilização restrita, sendo recomendada apenas para lajes em balanço, por ser de difícil execução.

Figura 10 – Laje nervurada invertida

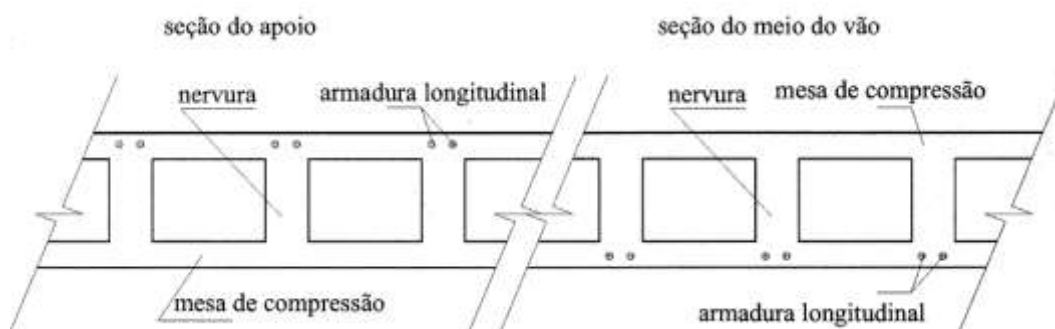


(fonte: CARVALHO; PINHEIRO, 2013, p. 19)

As lajes nervuradas duplas, por sua vez, possuem nervuras situadas entre duas mesas de concreto, uma superior e outra inferior, conforme mostra a figura 11. Nos espaços entre as nervuras, podem ser colocados materiais de enchimento, que servem de fôrma para as nervuras e para a mesa superior, ou os espaços podem permanecer vazios, mas nesse último

caso as fôrmas utilizadas serão perdidas. Este tipo de laje está praticamente em desuso, e possui uma execução difícil e trabalhosa.

Figura 11 – Laje nervurada dupla



(fonte: CARVALHO; PINHEIRO, 2013, p. 19)

De acordo com a disposição das nervuras em planta, as lajes nervuradas moldadas no local são classificadas como sendo armadas em uma ou duas direções. As lajes com nervuras em uma direção são utilizadas, principalmente, quando se deseja executar um pavimento em que a relação entre os vãos é superior a dois, e, nesses casos, elas normalmente apresentam nervuras na direção do vão menor, que também é de valor elevado (CARVALHO; PINHEIRO, 2013).

As lajes nervuradas armadas em duas direções, por sua vez, são usadas quando a relação entre os vãos não for superior a dois. Dessa forma, ocorre uma melhor distribuição das reações em todo o contorno, e também uma diminuição das deformações e dos esforços. Nessas lajes, as nervuras geralmente são dispostas paralelas às direções das bordas e ortogonais entre si. A figura 12 ilustra uma laje com nervuras nas duas direções.

Figura 12 – Laje com nervuras nas duas direções



(fonte: ATEX BRASIL, [2015])

3.8.2.2 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas

As lajes nervuradas são um sistema estrutural com comportamento semelhante ao das placas (lajes maciças), mas com a eficiência das vigas de flexão, já que possuem grande inércia e pequeno peso próprio. Dentre as principais vantagens dessas lajes, Carvalho e Pinheiro (2013) destacam as seguintes:

- a) a distância entre pilares pode atingir a ordem de dez metros, dependendo do carregamento atuante, liberando espaços, o que é muito vantajoso em estacionamentos, por exemplo, onde a existência de muitos pilares iria dificultar as manobras dos veículos, além de ocupar regiões que serviriam para vagas;
- b) com relação à sua execução, podem ser construídas com a mesma tecnologia das lajes maciças;
- c) podem ser utilizadas em diversos locais, como edificações residenciais, comerciais, hospitalares, educacionais, além de estacionamentos;
- d) são adequadas ao sistema de lajes sem vigas;
- e) diminuem o peso próprio e aliviam as fundações, consumindo menos concreto e aço que sistemas similares;
- f) podem suportar cargas mais elevadas que as lajes maciças convencionais, já que aliam grande altura a pequeno peso próprio.

Elas apresentam também algumas desvantagens, como a dificuldade na passagem das tubulações e a influência no pé-direito da edificação, já que podem demandar alturas maiores em cada andar, e conseqüentemente, no edifício.

Neste trabalho, serão abordadas as lajes nervuradas executadas com cubetas de polipropileno, que apresentam como desvantagem o fato de a face inferior da laje não apresentar uma superfície plana, exigindo o emprego de forros para acabamento, o que pode aumentar o custo do sistema. No entanto, de acordo com Silva (2002), o emprego das cubetas de polipropileno na execução de lajes nervuradas apresenta inúmeras vantagens, que seguem listadas abaixo:

- a) as cubetas não incorporam peso à laje;
- b) eliminam o uso de compensados e inertes, contribuindo para a preservação ambiental, pois diminuem a necessidade do uso de madeira;
- c) atendem a diversos tipos de projetos, pois são encontradas com diversas dimensões e alturas;
- d) por serem leves, facilitam o manuseio na obra;
- e) a montagem e a desforma são extremamente fáceis, uma vez que podem ser apoiadas diretamente sobre o escoramento;

- f) a laje apresenta boa estética após executada, não sendo necessária a aplicação de nenhum revestimento.

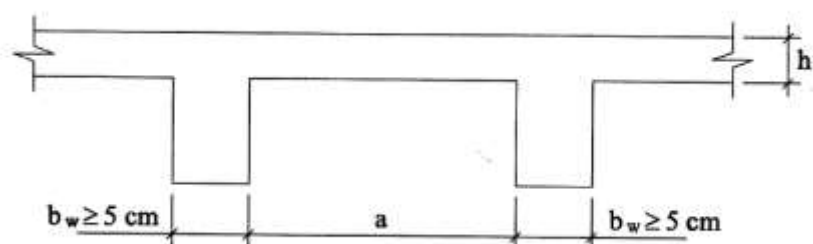
3.8.2.3 Limites mínimos para as lajes nervuradas

As condições estabelecidas pela NBR 6118 para lajes nervuradas, no que diz respeito aos valores mínimos de espessura a serem considerados, estão listadas abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 74):

- a) a espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras (l_0) e não menor que 4 cm;
- b) o valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro Φ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4\text{ cm} + \Phi$, ou $4\text{ cm} + 2\Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações;
- c) a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;
- d) nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

A figura 13 ilustra a espessura mínima a ser utilizada nas nervuras da laje.

Figura 13 – Dimensões a observar na seção transversal de lajes nervuradas



(fonte: CARVALHO; PINHEIRO, 2013, p. 22)

3.8.2.4 Considerações de projeto para as lajes nervuradas

Para o projeto de lajes nervuradas, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 75) estabelece algumas condições a serem seguidas. São elas:

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

- b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa, e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;
- c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada em grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

O espaçamento entre os eixos das nervuras será determinado pelo tipo de cubeta escolhido durante a execução do projeto. Existem diversos fabricantes disponíveis no mercado, que oferecem produtos com tamanhos variados. Neste trabalho, serão utilizadas as cubetas do fabricante ATEX Brasil ([2015]), que oferece fôrmas para lajes nervuradas com espaçamentos entre nervuras que variam de 30 a 112,5 cm, larguras mínimas de 5 a 16 cm e altura da nervura de 15 a 42,5 cm.

4 VIGAS

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 83) define vigas como “Elementos lineares em que a flexão é preponderante.”. Cabe destacar que são considerados elementos lineares aqueles nos quais o comprimento longitudinal supera em três vezes a maior dimensão da seção transversal. Estes elementos são também denominados barras. Segundo Araújo (2014a), o vão teórico, ou vão de cálculo a ser considerado para as vigas é a distância entre os centros dos apoios, sendo que, para vigas em balanço, é o comprimento da extremidade livre até o centro do apoio.

4.1 CARREGAMENTOS ATUANTES

De acordo com Araújo (2014a), as cargas mais frequentes que atuam nas vigas dos edifícios são:

- a) peso próprio da viga, considerado como uma carga linear uniformemente distribuída;
- b) peso das alvenarias, cujo peso específico a ser considerado é de 13 kN/m³ para tijolos cerâmicos furados e 18 kN/m³ para tijolos cerâmicos maciços;
- c) ações das lajes nas vigas, consideradas como cargas uniformemente distribuídas;
- d) ação das vigas, no caso de apoios indiretos;
- e) ação dos pilares, uma vez que, quando um pilar “nasce” em um andar, ele se apoia em uma viga de transição, que recebe uma carga concentrada, correspondente à normal do pilar.

A NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980) indica os valores de 13 kN/m³ e 18 kN/m³ como o peso específico aparente dos blocos cerâmicos, e não para alvenarias compostas por estes blocos. É comum utilizar-se esses valores para as alvenarias, embora a argamassa de assentamento e, principalmente, a de revestimento, possa alterar bastante esses valores, em especial em alvenarias de blocos cerâmicos furados.

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ANÁLISE ESTRUTURAL EM VIGAS

De acordo com a norma de concreto armado, estruturas assimiladas a elementos lineares, como é o caso das vigas, podem ser analisadas admitindo as hipóteses listadas abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 86):

- a) manutenção da seção plana após a deformação;
- b) representação dos elementos por seus eixos longitudinais;
- c) comprimento limitado pelos centros de apoios ou pelo cruzamento com o eixo de outro elemento estrutural.

Com relação ao cálculo dos esforços nas vigas, Araújo (2014a) destaca que eles geralmente são calculados em regime elástico. Para o caso de vigas contínuas, considera-se o momento de inércia da seção transversal geométrica, sem a inclusão das armaduras, admitindo-se que toda a viga esteja no estágio I, no qual o concreto se mantém intacto na zona tracionada. A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 93) permite considerar as vigas dos edifícios como contínuas, sem ligações rígidas com os pilares de apoio, desde que sejam observados os itens abaixo:

- a) não podem ser considerados momentos positivos menores que os que se obteriam se houvesse engastamento perfeito da viga nos apoios internos;
- b) quando a viga for solidária com o pilar intermediário e a largura do apoio, medida na direção do eixo da viga, for maior que a quarta parte da altura do pilar, não pode ser considerado o momento negativo de valor absoluto menor que o de engastamento perfeito nesse apoio;
- c) quando não for realizado o cálculo exato da influência da solidariedade dos pilares com a viga, deve ser considerado, nos apoios extremos, momento fletor igual ao momento de engastamento perfeito multiplicado pelos coeficientes estabelecidos nas [...] [fórmulas 6 a 8].

As fórmulas estão listadas abaixo e correspondem, respectivamente, aos coeficientes na viga, no tramo superior do pilar e no tramo inferior do pilar.

$$\frac{r_{inf} + r_{sup}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}} \quad \text{(fórmula 6)}$$

$$\frac{r_{sup}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}} \quad (\text{fórmula 7})$$

$$\frac{r_{inf}}{r_{vig} + r_{inf} + r_{sup}} \quad (\text{fórmula 8})$$

Sendo:

r_{inf} a rigidez de tramo inferior de pilar em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm^3);

r_{sup} a rigidez de tramo superior de pilar em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm^3);

r_{vig} a rigidez de uma viga em uma ligação tramo inferior de pilar-viga-tramo superior de pilar (cm^3).

É importante destacar que nas vigas é necessário garantir boas condições de ductilidade, respeitando os limites da posição da linha neutra, adotando, se necessário, armadura de compressão. Os limites a serem respeitados para a posição da linha neutra no estado limite último são os seguintes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 91):

- a) $x/d \leq 0,45$, para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa;
- b) $x/d \leq 0,35$, para concretos com $50 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 90$ MPa.

Nesta relação, x corresponde à altura da linha neutra e d é a altura útil da viga.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ARMADURAS DAS VIGAS

Após determinados os esforços solicitantes nas vigas, deve-se realizar o dimensionamento das armaduras necessárias. Araújo (2014a) explica que as armaduras longitudinais são calculadas para os máximos momentos positivos nos vãos e para os momentos negativos sobre os apoios da viga, já a armadura transversal é dimensionada para o esforço cortante.

Com relação às armaduras longitudinais, deve-se respeitar o limite mínimo para a armadura de tração recomendado pela norma, representado pela fórmula 9, abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014):

$$A_{s,\min} = \rho_{\min} A_c \quad (\text{fórmula 9})$$

Sendo:

$A_{s,\min}$ a armadura mínima de tração a ser utilizada (cm²);

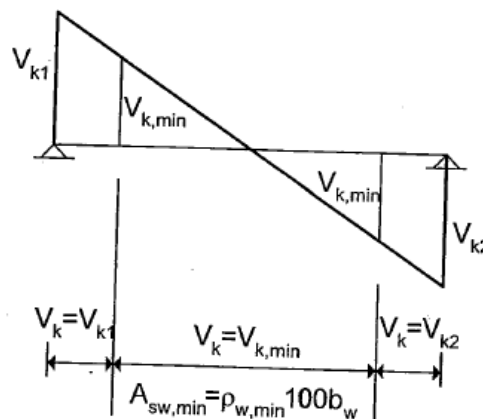
ρ_{\min} a taxa mínima de armadura (%);

A_c a área da seção transversal (cm²).

Na fórmula acima, o valor de ρ_{\min} é dado pelo quadro 6 (vide página 34), e depende da classe do concreto e do tipo de aço utilizado.

Araújo (2014b) destaca que o dimensionamento da armadura transversal é geralmente feito para o maior esforço cortante verificado em cada vão da viga. Para que se reduza o consumo de armadura, o dimensionamento pode ser feito por trechos, dentro de cada vão da viga, e, dessa forma, o espaçamento será variável dentro de um mesmo vão. A figura 14 ilustra como os estribos podem ser distribuídos.

Figura 14 – Distribuição dos estribos ao longo do vão



(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 215)

O esforço cortante correspondente à armadura mínima é obtido igualando-se a expressão de A_{sw} com $A_{sw, min}$, e está representado pela fórmula 10 abaixo.

$$V_{d,min} = \left(\frac{\rho_{w,min} f_{yd}}{1,11} + \tau_c \right) b_w d \quad (\text{fórmula 10})$$

$$\tau_c = 0,09 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{fórmula 11})$$

Sendo:

$V_{d,min}$ o esforço cortante correspondente à armadura mínima (kN);

$\rho_{w,min}$ a taxa de armadura mínima (%);

f_{yd} a tensão de escoamento do aço (MPa);

τ_c parâmetro dado em função da resistência à tração do concreto (MPa);

b_w a largura da seção da viga (cm);

d a altura útil da seção transversal (cm);

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

A taxa de armadura mínima é dada pela fórmula 12:

$$\rho_{w,min} = 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (\text{fórmula 12})$$

Sendo:

$\rho_{w,min}$ a taxa de armadura mínima (%);

f_{ctm} a resistência média à tração do concreto (MPa);

f_{yk} resistência característica ao escoamento do aço (MPa).

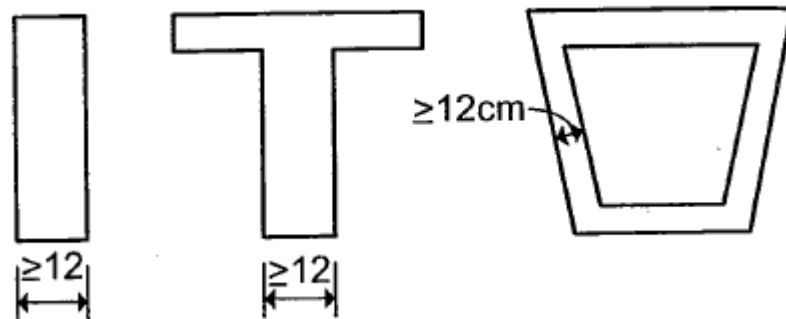
4.4 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Neste tópico serão listadas algumas recomendações da norma de concreto armado a respeito de condições mínimas a serem respeitadas durante o projeto e a execução das vigas. Os aspectos construtivos a serem observados são a largura mínima e a largura efetiva, o cobrimento mínimo, o espaçamento das barras, a armadura de pele, a armadura construtiva e os estribos.

4.4.1 Largura mínima e largura efetiva

A largura mínima a ser apresentada pela seção transversal das vigas é de 12 cm, conforme ilustrado na figura 15. Em alguns casos, este limite mínimo pode ser reduzido para 10 cm, desde que sejam estudadas de maneira criteriosa a forma de dispor as armaduras e as condições de lançamento e vibração do concreto (ARAÚJO, 2014a).

Figura 15 – Largura mínima das vigas



(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 224)

4.4.2 Cobrimento mínimo

Assim como no caso das lajes, o cobrimento nominal das vigas depende da classe de agressividade ambiental (ver quadro 2, na página 28) e é determinado pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Em qualquer caso, o cobrimento nominal de determinada barra não deve ser inferior ao seu próprio diâmetro, ou, no caso de feixes, esse cobrimento não deve ser inferior ao diâmetro equivalente do feixe.

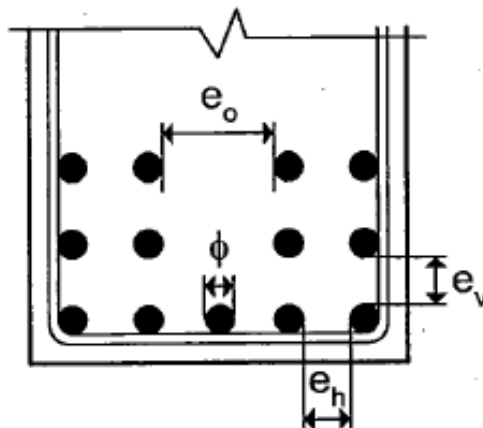
4.4.3 Espaçamento das barras

Com o intuito de garantir que todas as barras da armadura longitudinal sejam envolvidas pelo concreto, evitando-se falhas de concretagem, devem ser respeitados os espaçamentos mínimos recomendados pela norma. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), o espaçamento mínimo livre entre as faces das barras longitudinais deve ser igual ou maior que os seguintes valores:

- a) nas camadas horizontais,
 - 20 mm;
 - diâmetro das barras ou feixes;
 - 1,2 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.
- b) no plano vertical,
 - 20 mm;
 - diâmetro das barras ou feixes;
 - 0,5 vez a dimensão máxima característica do agregado graúdo.

Quando as barras estiverem dispostas em mais de uma camada, deve-se deixar o espaço livre e_0 para permitir a passagem da agulha do vibrador, para o qual usualmente é adotado um valor de quatro centímetros. A figura 16 ilustra os espaçamentos a serem respeitados.

Figura 16 – Espaçamento mínimo das barras



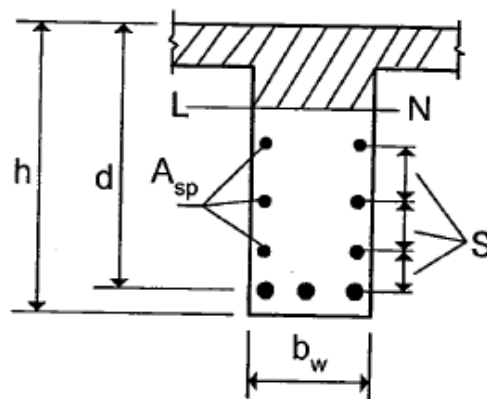
(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 225)

4.4.4 Armadura de pele e armadura construtiva

Araújo (2014a) explica que em vigas altas, a armadura do banzo tracionado não é suficiente para limitar a fissuração, sendo necessário, nesses casos, colocar uma armadura longitudinal em cada face lateral da viga, denominada armadura de pele. Essa armadura é colocada ao longo da zona tracionada, sendo constituída principalmente por barras de pequeno diâmetro (aços CA-50 e CA-60). A mínima armadura lateral deve ser $0,10\% A_{c,alma}$, em cada face da alma da viga, devidamente ancorada nos apoios, não sendo necessária uma armadura superior a $5\text{cm}^2/\text{m}$ por face. Conforme recomenda a NBR 6118, a armadura de pele “[...] deve ser disposta de modo que o afastamento entre as barras não ultrapasse $d/3$ [onde d é a altura útil da viga] e 20 cm .” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 150).

Ainda de acordo com a norma, em vigas com altura igual ou menor que 60 cm , a utilização da armadura de pele pode ser dispensada. A figura 17 apresenta a disposição das armaduras de pele com afastamentos recomendados.

Figura 17 – Disposição da armadura de pele



(fonte: ARAÚJO, 2014a, p. 229)

Além da armadura de pele, deve ser colocada uma armadura construtiva nos cantos dos estribos, quando não houver barras longitudinais de compressão determinadas pelo cálculo. Essa armadura corresponde a barras de amarração, com bitola pelo menos igual a do estribo.

4.4.5 Estribos

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 149), os elementos estruturais armados com estribos devem respeitar as seguintes condições:

- a) os estribos para forças cortantes devem ser fechados através de um ramo horizontal, envolvendo as barras da armadura longitudinal de tração, e ancorados na face oposta. Quando essa face também puder estar tracionada, o estribo deve ter o ramo horizontal nessa região, ou complementado por meio de barra adicional;
- b) o diâmetro da barra que constitui o estribo deve ser maior ou igual a 5 mm, sem exceder 1/10 da largura da alma da viga. Quando a barra for lisa, seu diâmetro não pode ser superior a 12 mm. No caso de estribos formados por telas soldadas, o diâmetro mínimo pode ser reduzido para 4,2 mm, desde que sejam tomadas precauções contra a corrosão dessa armadura;
- c) o espaçamento mínimo entre estribos, medido segundo o eixo longitudinal do elemento estrutural, deve ser suficiente para permitir a passagem do vibrador, garantindo um bom adensamento da massa.

5 METODOLOGIA ADOTADA

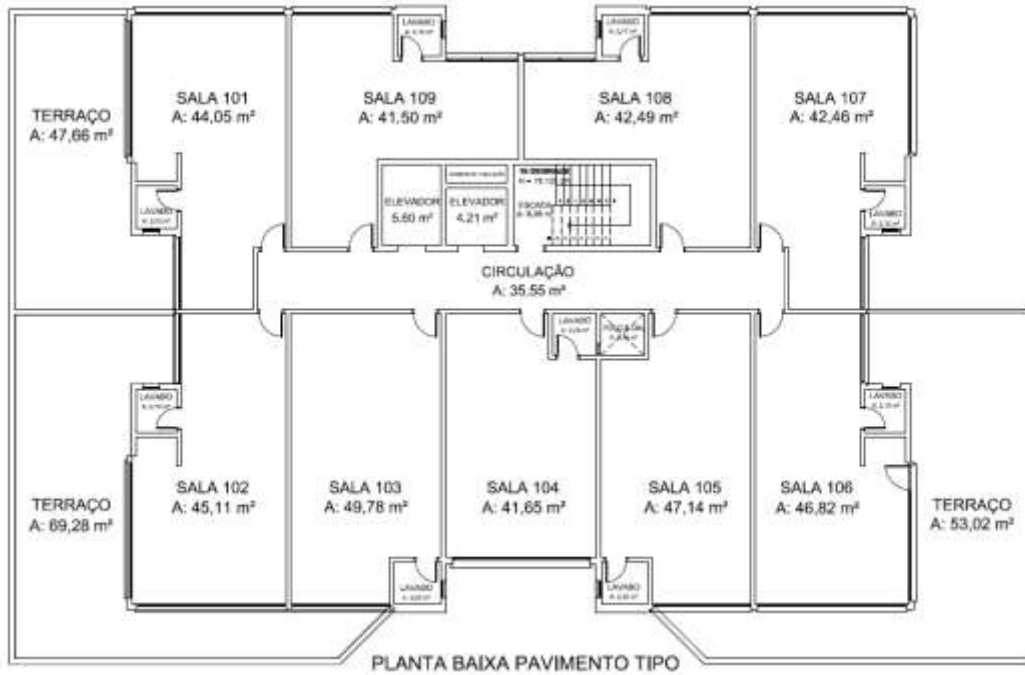
Este trabalho consiste basicamente no dimensionamento de pavimentos de edifícios com características diferenciadas entre si, utilizando soluções com laje maciça e laje nervurada, para que possam ser comparadas as principais vantagens e desvantagens de cada solução estrutural proposta. Para tal, a metodologia adotada foi composta pelas etapas de escolha dos pavimentos a serem estudados, dimensionamento estrutural destes pavimentos para os dois tipos de lajes, análise dos custos envolvidos em cada sistema estrutural, bem como quantidade de homens-hora necessários em cada caso, que está diretamente relacionada com o prazo de execução dos pavimentos. Neste capítulo são descritas todas as etapas e processos envolvidos na metodologia adotada para o projeto.

5.1 ESCOLHA DOS PAVIMENTOS ESTUDADOS

Os pavimentos escolhidos para serem analisados neste trabalho pertencem a edifícios comerciais e residenciais. Possuem como característica comum o fato de serem representativos dos edifícios usualmente construídos na cidade de Nova Prata, localizada no interior do Rio Grande do Sul.

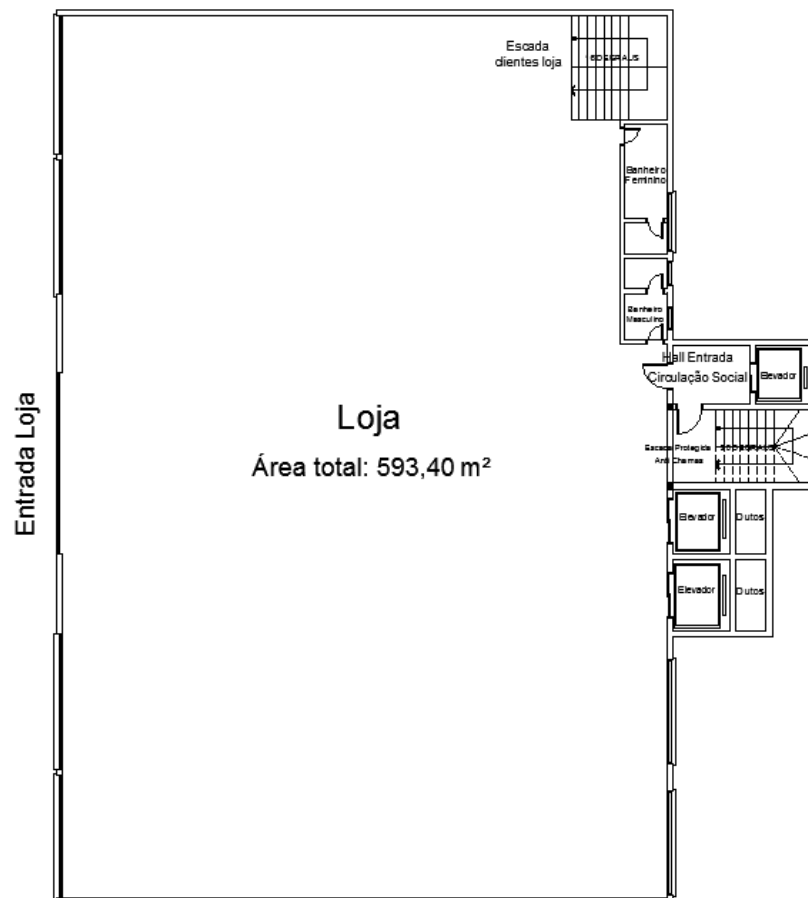
Foram selecionados dois pavimentos comerciais para análise neste trabalho. O primeiro deles trata-se do pavimento tipo de um prédio de salas comerciais, construído no centro de Nova Prata, com altura de cada andar igual a três metros para o pavimento tipo e área total de 687,50 m². São, no total, nove salas com lavabos e três amplos terraços, além de dois elevadores e uma escada para acesso. O segundo pavimento comercial selecionado é uma loja, com área total de 594,75 m² e altura do andar novamente igual a três metros. Sua planta arquitetônica exige vãos relativamente grandes, uma vez que se deseja amplo espaço livre para a configuração da loja. As figuras 18 e 19 apresentam a planta arquitetônica dos pavimentos comerciais 1 e 2, respectivamente.

Figura 18 – Planta arquitetônica do pavimento comercial 1



(fonte: cedida pela Construtora Grafrosul)

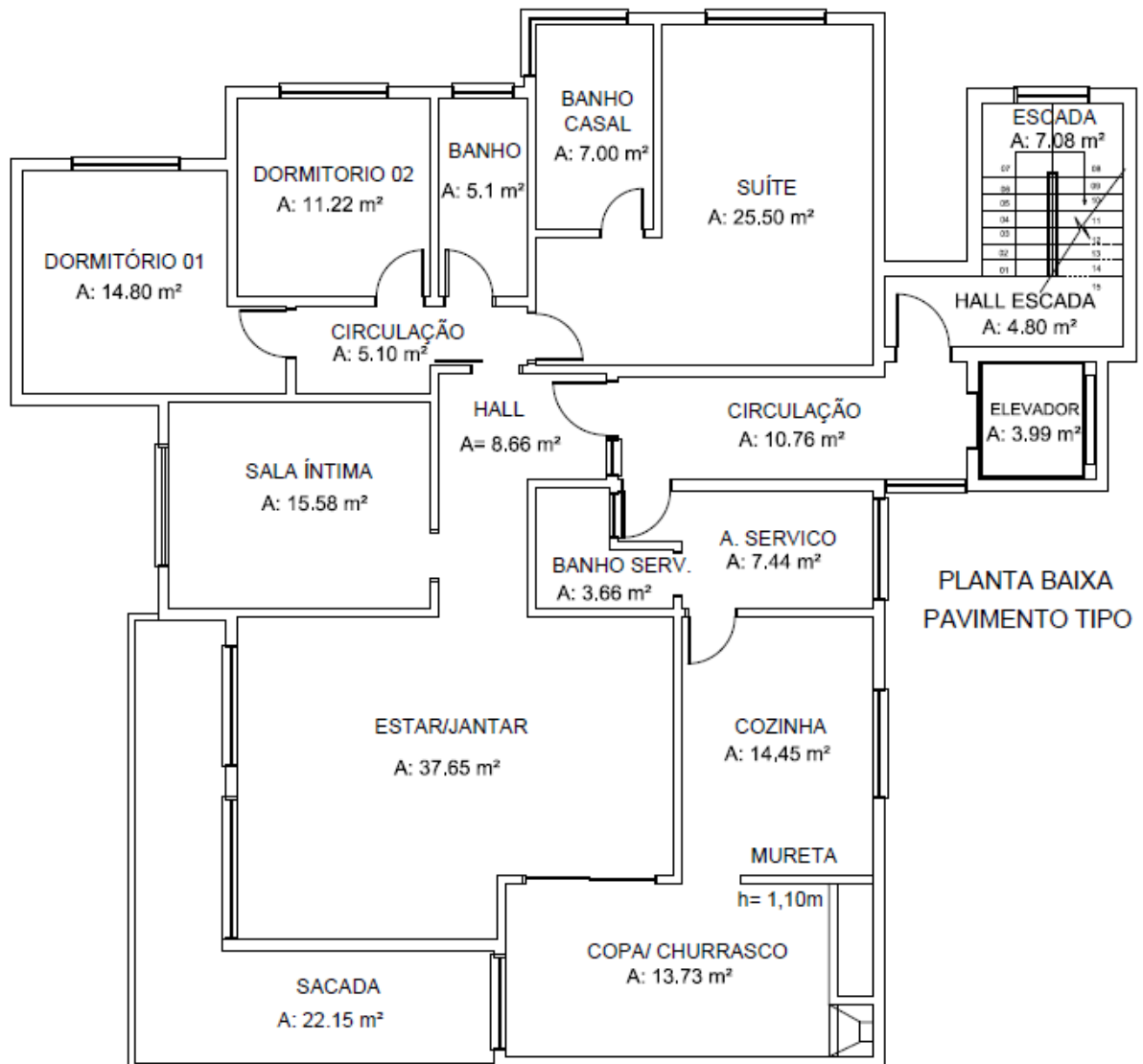
Figura 19 – Planta arquitetônica do pavimento comercial 2



(fonte: cedida pela Construtora Grafrosul)

Foi selecionado um pavimento residencial para análise, o pavimento tipo de um prédio residencial de alto padrão, com altura total de cada andar de 2,70 metros, que possui apenas um apartamento por andar e está localizado no centro da cidade de Nova Prata. A área total deste pavimento é de 240,40 m² e sua planta arquitetônica está ilustrada na figura 20. Conforme pode ser observado na figura, o pavimento possui uma arquitetura bastante recortada, o que dificulta uma continuidade das vigas no projeto estrutural.

Figura 20 – Planta arquitetônica do pavimento residencial 1



(fonte: cedida pela Construtora Grafrosul)

5.2 DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS

Para o dimensionamento dos pavimentos, utilizou-se o programa computacional de análise estrutural *Cypecad*. Este programa faz a análise das solicitações através de um cálculo espacial em 3D, pelo método dos Elementos Finitos, considerando todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, muros, vigas e lajes. Estabelece-se a compatibilidade de deformações em todos os nós, considerando seis graus de liberdade, e cria-se a hipótese de indeformabilidade do plano de cada piso, para simular o comportamento rígido da laje, impedindo os deslocamentos relativos entre os nós da mesma (MULTIPLUS, 2014).

A partir da geometria básica do pavimento, fez-se o lançamento dos pilares em cada pavimento, tendo o cuidado de verificar se as dimensões adotadas para um pré-dimensionamento estavam de acordo com a área de influência do elemento estrutural. As vigas também foram devidamente lançadas, formando as lajes de cada pavimento. Neste ponto, cabe destacar que a altura das vigas foi analisada em cada caso, considerando o vão a ser vencido, e respeitando a altura do andar, bem como o pé-direito do pavimento. Tomou-se um cuidado especial em relação à existência de esquadrias abaixo das vigas, com suas respectivas dimensões. A largura destes elementos, por sua vez, foi definida de acordo com a espessura da parede.

Para o cálculo das cargas de alvenaria, utilizou-se tijolo cerâmico furado (redondo), cujo peso específico é de 13 kN/m³. Considerou-se como peso específico aparente das alvenarias o do próprio tijolo, indicado na NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980), e as aberturas existentes nas alvenarias (portas, janelas) não foram descontadas para fins de carga. Além disso, foram inseridas todas as cargas atuantes nos pavimentos, incluindo o peso próprio dos elementos, a carga variável prevista por norma, os revestimentos, que incluem pisos, reboco e argamassa de assentamento, e também a reação da escada nos elementos em que se apoia, conforme recomendado pela NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980). Não foram consideradas cargas horizontais devidas ao vento, pois este trabalho limita-se ao estudo dos pavimentos, e não da estrutura completa do edifício.

A classe de agressividade ambiental adotada nos projetos foi a classe II, que corresponde a uma agressividade moderada do ambiente, característica de zonas urbanas. Com base nisso,

obtiveram-se os cobrimentos mínimos a serem respeitados para lajes e vigas, conforme quadro 3 (página 29).

Antes de iniciar efetivamente o cálculo da estrutura, o *software Cypecad* permite que seja feita uma verificação da geometria inicial adotada para os elementos (lajes, vigas e pilares) e, caso haja alguma dimensão inadequada, o próprio programa propõe uma substituição de valores. Após essa verificação inicial, a obra foi calculada, fornecendo os resultados obtidos relativos à quantidade de materiais necessários, que serão utilizados para estimar os custos de execução dos pavimentos.

5.3 CUSTOS DE EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS

Quando se pretende entender os custos de uma estrutura em concreto armado, é importante conhecer a demanda relativa a cada um dos serviços que originam a estrutura (fôrmas, escoramento, armação e concretagem) por unidade de estrutura que se pretende executar.

De acordo com Albuquerque (1999, p. 1), o projeto estrutural, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção, em torno de 15 a 20%. Justifica-se, então, um estudo prévio para a escolha do sistema estrutural a ser adotado, já que uma economia de 10% no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma economia de 2%, que, em termos práticos, pode corresponder ao custo de toda a etapa de pintura, por exemplo.

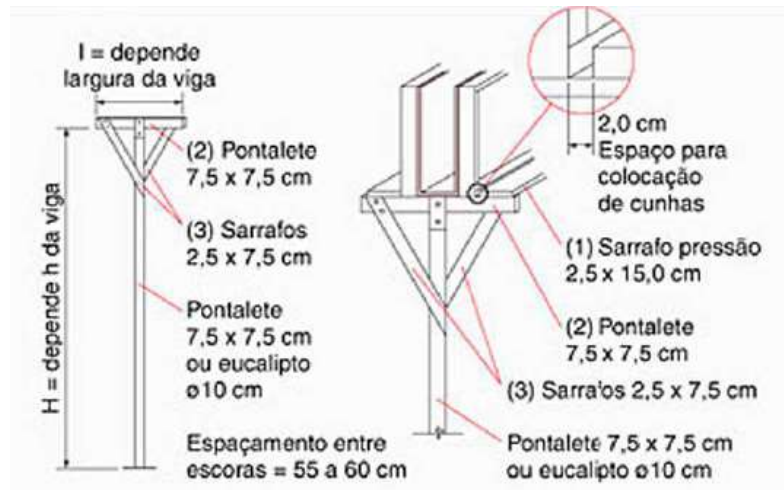
Para a composição dos custos dos serviços foram utilizadas informações provenientes do TCPO (TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS, 2012). Os preços unitários de todos os serviços foram obtidos junto a uma construtora de Nova Prata, muito atuante no mercado da região. As composições de custos utilizadas encontram-se no Apêndice A, e consideram apenas os serviços de estrutura propriamente ditos, não estando relacionados custos de serviços iniciais, instalação da obra, do terreno ou quaisquer outros que não estejam diretamente ligados aos serviços abordados neste trabalho. Também não estão considerados os custos com a estrutura da escada.

5.3.1 Custos para os modelos com laje maciça

Para os modelos estruturais com laje maciça, os custos com estrutura estão basicamente divididos em quatro grupos: aço, concreto, fôrmas e escoramento. Os quantitativos de cada material são obtidos através do resultado do dimensionamento estrutural, que fornece os índices e consumos exigidos pelo pavimento, para que este trabalhe de maneira segura.

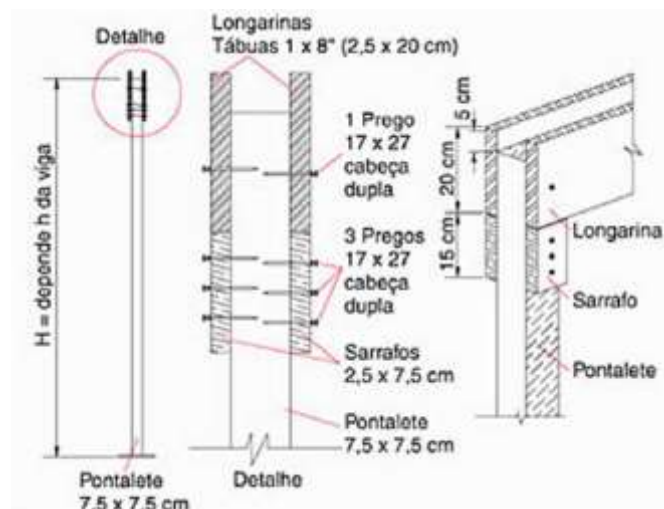
O tipo de escoramento adotado para lajes maciças é o escoramento em madeira com pontaletes, por ser este o tipo de escoramento utilizado no local de estudo, cuja forma de execução para vigas e lajes está ilustrada nas figuras 21 e 22, respectivamente.

Figura 21 – Sistema de escoramento em madeira das vigas



(fonte: TCPO, 2008, p. 146)

Figura 22 – Sistema de escoramento em madeira das lajes



(fonte: TCPO, 2008, p. 146)

5.3.2 Custos para os modelos com laje nervurada

Os custos envolvidos na execução da estrutura de um pavimento com o sistema de laje nervurada são os mesmos que na laje maciça, englobando aço, concreto, fôrmas e escoramento. No entanto, um dos maiores ganhos em adotar a laje nervurada está no fato de se eliminar, quase que na totalidade, a necessidade do uso de madeira para sua modelagem. A locação das cubetas, juntamente com um sistema de escoramento específico elimina a necessidade da montagem de fôrmas para as lajes, restringindo esta necessidade apenas para as vigas, quando estas existirem, como é o caso dos pavimentos aqui estudados.

Por isso, para os pavimentos com laje nervurada, optou-se por utilizar o sistema de escoramento da empresa TEX¹, que é composto por vigas principais e secundárias, escoras metálicas, cabeçotes de recuperação, barras de travamento e união para cubetas. O fato de possuir poucos componentes agiliza sua montagem e desmontagem. O reescoramento é composto pelas escoras que irão absorver as cargas do escoramento da próxima laje, possibilitando a montagem da etapa seguinte sem deslocamento de escoras. As figuras 23 e 24 ilustram, respectivamente, as etapas de escoramento e reescoramento das lajes.

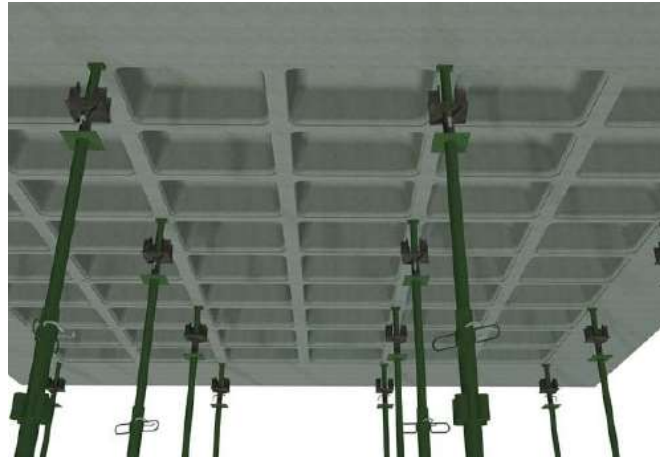
Figura 23 – Sistema de escoramento para lajes nervuradas



(fonte: TEX, [2015])

¹ A empresa TEX Sistemas Estruturais é fornecedora de escoramento metálico para sistemas que utilizam cubetas para lajes nervuradas da empresa ATEX Brasil.

Figura 24 – Sistema de reescoramento para lajes nervuradas



(fonte: TEX, [2015])

Para as vigas em lajes nervuradas, também será utilizado o sistema de escoramento metálico oferecido pela mesma empresa, composto de escoras metálicas reguláveis e cruzetas para fundo de viga que servem para suportar as sobrecargas e o peso próprio durante a cura total do concreto, conforme pode ser observado na figura 25. Este tipo de escoramento para lajes nervuradas é o adotado na região de estudo, devido à sua praticidade e rapidez de montagem. No entanto, devido à necessidade de aluguel do material, torna-se imprescindível seguir de forma rigorosa o planejamento da obra, uma vez que atrasos na execução dos pavimentos levam a um maior tempo de locação, tanto das cubetas, quanto do sistema de escoramento, e consequentemente, ao aumento dos custos.

Figura 25 – Sistema de escoramento metálico para vigas



(fonte: TEX, [2015])

5.4 PRAZOS DE EXECUÇÃO DOS PAVIMENTOS

Ao longo do tempo, a indústria da construção civil tem passado por um longo ciclo de transformação no que se refere aos processos, tecnologias e metodologias de execução, com reflexos imediatos no aumento da produtividade e na capacitação de pessoal. De acordo com TCPO (TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS, 2012), a produtividade pode ser entendida como sendo a eficiência em transformar os recursos (mão de obra e materiais) em produtos (partes que constituem a obra).

Atualmente, fala-se muito em produtividade variável, uma vez que ela depende de diversos fatores, como o clima, o bom funcionamento de todos os equipamentos envolvidos na produção, o correto fornecimento de materiais, sem atrasos, e, a correta transferência de informação aos operários. Ainda segundo TCPO (TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS, 2012), ao se avaliar a produtividade da mão de obra, deve-se ter clara a abrangência da equipe demandada para que um serviço seja executado. O número de equipes de trabalho e a quantidade de funcionários por equipe devem ser estudados de acordo com a necessidade do planejamento da obra.

Neste trabalho, calculou-se a quantidade de homens-hora requeridos para a execução de cada etapa da estrutura dos pavimentos, com base nos consumos de mão de obra apresentados nas composições dos serviços. Dessa forma, constatou-se qual dos dois modelos estruturais requer maior consumo de mão de obra e sabe-se, que, considerando as mesmas condições para os dois modelos, aquele que exigir menor consumo de mão de obra terá um tempo de execução inferior. Para fins de custos de locação de materiais, caso das lajes nervuradas, utilizou-se um ritmo de obra normalmente encontrado na região de estudo, uma laje concretada a cada 20 dias para pavimentos com área inferior a 400 m² e 30 dias para pavimentos com áreas maiores.

6 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos para cada pavimento, relativos ao consumo de materiais, custo global e quantidade de homens-hora requeridos para cada etapa de execução, em cada um dos sistemas estruturais.

6.1 PAVIMENTO COMERCIAL 1

6.1.1 Modelo com laje maciça

Para este primeiro pavimento, foram lançados 42 pilares, totalizando 38 vigas e 26 lajes. O resultado obtido para o modelo estrutural está apresentado através da planta de fôrmas, no apêndice B. Devido à existência de janelas com altura de 2,40 metros para acesso aos terraços, as vigas mais altas têm 60 centímetros de altura, conforme pode ser observado na planta de fôrmas, o que evita possíveis problemas caso fosse necessária a execução das vergas. A largura adotada para as vigas foi de 15 e 20 centímetros, dependendo da espessura da parede.

Em relação às lajes, observa-se, na planta de fôrmas, que a maior espessura necessária foi de 14 centímetros, na laje L14, que possui dimensões de 5,20 x 10 metros. Depois de realizado o cálculo da estrutura, obteve-se, para este pavimento, os consumos de aço, concreto e fôrmas conforme quadro 7.

Quadro 7 – Consumo de materiais para pavimento comercial 1 com laje maciça

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 1 com Laje Maciça			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes	626,28	74,72	4.880,20
Vigas (fundo)	56,97	30,73	2.195,7
Vigas (lateral)	271,27		

(fonte: elaborado pela autora)

Com base nos consumos acima, estimou-se o custo do pavimento, cujo resultado pode ser observado no quadro 8. Além disso, de acordo com os consumos de mão de obra necessários para cada serviço, estimou-se a quantidade de homens-hora requeridos em cada etapa de execução. Desta forma, tendo-se o mesmo número de equipes e funcionários, e considerando as mesmas condições de trabalho, sabe-se que o modelo de pavimento com menor quantidade de homens-hora, terá o menor prazo de execução. Os resultados obtidos estão apresentados no quadro 9.

Quadro 8 – Custo global para pavimento comercial 1 com laje maciça

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 97.731,05
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	1244,00	R\$ 8,83	R\$ 10.985,51
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	2324,10	R\$ 9,20	R\$ 21.384,98
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	294,70	R\$ 9,53	R\$ 2.808,90
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	1017,40	R\$ 9,64	R\$ 9.809,17
1.1.5	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	74,72	R\$ 304,78	R\$ 22.773,16
1.1.6	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	74,72	R\$ 70,67	R\$ 5.280,12
1.1.7	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	626,28	R\$ 17,78	R\$ 11.133,96
1.1.8	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	626,28	R\$ 7,30	R\$ 4.574,52
1.1.9	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	626,28	R\$ 1,90	R\$ 1.188,17
1.1.10	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	626,28	R\$ 10,62	R\$ 6.648,22
1.1.11	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	626,28	R\$ 1,74	R\$ 1.087,18
1.1.12	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	626,28	R\$ 0,09	R\$ 57,14
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 43.530,09
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	400,80	R\$ 8,83	R\$ 3.539,38
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	124,00	R\$ 9,20	R\$ 1.140,97
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	139,40	R\$ 9,53	R\$ 1.328,68
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	345,30	R\$ 9,64	R\$ 3.329,18
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	237,10	R\$ 8,27	R\$ 1.959,96
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	232,40	R\$ 9,18	R\$ 2.134,46
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	610,00	R\$ 9,05	R\$ 5.521,97
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	106,70	R\$ 8,93	R\$ 952,98
1.2.9	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	30,73	R\$ 304,78	R\$ 9.365,89
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	30,73	R\$ 70,67	R\$ 2.171,55
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	328,24	R\$ 20,82	R\$ 6.832,36
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	328,24	R\$ 9,57	R\$ 3.139,93

continua

continuação

1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	328,24	R\$ 3,55	R\$ 1.163,79
1.2.14	Fabricação de escoramento para vigas, com puntaletes	m ²	56,97	R\$ 14,22	R\$ 810,09
1.2.15	Montagem de escoramento para vigas, com puntaletes	m ²	56,97	R\$ 1,90	R\$ 108,29
1.2.16	Desmontagem de escoramento para vigas, com puntaletes	m ²	56,97	R\$ 0,54	R\$ 30,61
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE MACIÇA					R\$ 141.261,14

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 9 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 1 com laje maciça

Pavimento Comercial 1 - 687,50 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	1.217,49	304,37
Fôrmas e escoramento das vigas	668,15	177,08
Armação das lajes	377,98	660,84
Armação das vigas	219,10	383,70
Concretagem das lajes	123,29	336,24
Concretagem das vigas	50,70	138,29
TOTAL (Hh)	2.656,71	2.000,52
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	3,86	2,91

(fonte: elaborado pela autora)

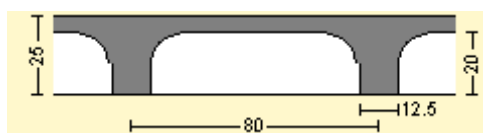
De acordo com o quadro 9, tem-se que a demanda total de mão de obra necessária é de 4.657,23 homens-hora. O tempo de execução deste pavimento irá depender do número de equipes e funcionários, do fornecimento dos materiais, das condições climáticas, entre outros fatores. No entanto, a definição da divisão das equipes, bem como o número de funcionários e, conseqüentemente, o ritmo da obra, não foi objeto deste trabalho. Para fins de custo com aluguéis de componentes, considerou-se uma laje concretada a cada 30 dias, ritmo de obra normalmente encontrado na região de estudo.

6.1.2 Modelo com laje nervurada

Para este modelo, foram lançados 42 pilares, 39 vigas e 19 lajes. Em relação ao modelo com laje maciça, a principal diferença está na retirada de alguns trechos de vigas, conforme pode ser observado na planta de fôrmas do pavimento, no apêndice C. A retirada desses elementos é muito favorável, uma vez que eles passavam no meio das salas comerciais, exigindo a execução de um forro de gesso ou promovendo a separação dos ambientes, e só foi possível

uma vez que as próprias nervuras da laje garantem a rigidez necessária para a estrutura. Neste modelo, novamente algumas vigas possuem 60 centímetros de altura, devido às janelas de 2,40 metros, e a largura adotada para as vigas também foi de 15 e 20 centímetros, dependendo da espessura da parede no projeto arquitetônico. O modelo de cubeta utilizado no pavimento foi a ATEX 800, com altura total de 25 centímetros, sendo 5 centímetros da mesa de concreto, largura das nervuras de 12,5 centímetros e distância entre eixos de nervuras de 80 centímetros, conforme pode ser observado na figura 26. Foram necessárias 717 cubetas inteiras e 241 meias cubetas para modelar o pavimento.

Figura 26 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento comercial 1



(fonte: MULTIPLUS, 2014)

No quadro 10 são mostrados os consumos de materiais para o modelo com laje nervurada. Observa-se que, em relação ao modelo com laje maciça, a maior diferença está na quantidade de aço necessária, tanto para as lajes, quanto para as vigas. Percebe-se, também, que a quantidade de fôrmas na lateral das vigas diminuiu, uma vez que alguns trechos de vigas puderam ser retirados neste modelo. Em relação à quantidade de concreto, os resultados praticamente não mudaram, sendo levemente inferiores no modelo com laje nervurada.

Quadro 10 – Consumo de materiais para pavimento comercial 1 com laje nervurada

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 1 com Laje Nervurada			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes	630,45	71,87	3.041,50
Vigas (fundo)	53,36	27,98	1.683,70
Vigas (lateral)	186,96		

(fonte: elaborada pela autora)

Obtidos os consumos necessários de cada material, o custo do pavimento foi calculado e a quantidade de homens-hora foi estimada de acordo com os consumos de mão de obra apresentados nas composições. Os resultados estão apresentados nos quadros 11 e 12.

Quadro 11 – Custo global para pavimento comercial 1 com laje nervurada

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 87.782,11
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	292,20	R\$ 9,20	R\$ 2.688,65
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	409,90	R\$ 9,53	R\$ 3.906,92
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	834,70	R\$ 9,64	R\$ 8.047,68
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	1161,10	R\$ 8,27	R\$ 9.598,12
1.1.5	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	343,60	R\$ 9,18	R\$ 3.155,76
1.1.6	Tela Q138 laje nervurada	kg	926,76	R\$ 8,52	R\$ 7.894,95
1.1.7	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	71,87	R\$ 304,78	R\$ 21.904,54
1.1.8	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	71,87	R\$ 70,67	R\$ 5.078,72
1.1.9	Locação das cubetas (800x725x200)	dia	30,00	R\$ 415,86	R\$ 12.475,80
1.1.10	Locação das cubetas (400x725x200)	dia	30,00	R\$ 139,78	R\$ 4.193,40
1.1.11	Sistema de escoramento metálico específico para laje nervurada	m ²	630,45	R\$ 14,02	R\$ 8.837,56
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 38.912,43
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	434,40	R\$ 8,83	R\$ 3.836,10
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	186,20	R\$ 9,20	R\$ 1.713,30
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	167,30	R\$ 9,53	R\$ 1.594,60
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	269,00	R\$ 9,64	R\$ 2.593,54
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	178,30	R\$ 8,27	R\$ 1.473,90
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	87,60	R\$ 9,18	R\$ 804,55
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	300,70	R\$ 9,05	R\$ 2.722,06
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	60,20	R\$ 8,93	R\$ 537,67
1.2.9	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	27,98	R\$ 304,78	R\$ 8.527,74
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	27,98	R\$ 70,67	R\$ 1.977,22
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	240,32	R\$ 20,82	R\$ 5.002,29
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	240,32	R\$ 9,57	R\$ 2.298,89
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	240,32	R\$ 3,55	R\$ 852,07
1.2.14	Sistema de escoramento metálico para vigas em laje nervurada	m	316,00	R\$ 15,75	R\$ 4.978,49
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE NERVURADA					R\$ 126.694,54

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 12 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 1 com laje nervurada

Pavimento Comercial 1 - 687,50 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	360,00	726,09
Fôrmas e escoramento das vigas	478,72	182,88
Armação das lajes	279,04	493,12
Armação das vigas	152,78	267,37
Concretagem das lajes	118,59	323,42
Concretagem das vigas	46,17	125,91
TOTAL (Hh)	1.435,28	2.118,78
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	2,09	3,08

(fonte: elaborado pela autora)

Assim, de acordo com o quadro 12, tem-se que a demanda total de mão de obra exigida neste caso é de 3.554,06 homens-hora, cerca de 24% menor que no caso da laje maciça. Desta forma, se forem consideradas as mesmas condições de execução, a laje nervurada tem um tempo de execução menor. Para fins de custo, considerou-se 30 dias o intervalo entre concretagens de lajes, sendo este o período de aluguel do sistema de fôrmas e escoramentos para cada pavimento.

6.2 PAVIMENTO COMERCIAL 2

Para este pavimento, foram propostas duas soluções estruturais diferentes, denominadas de modelo 1 e modelo 2. O modelo 1 possui vãos entre os pilares da ordem de dez metros, o que proporciona grandes vãos livres, exigindo uma altura maior para cada andar da edificação, tanto na configuração com laje maciça, quanto na configuração com laje nervurada. O modelo 2 possui mais pilares, o que permite que a altura do andar seja respeitada conforme a planta arquitetônica, no entanto, os vãos livres são menores.

6.2.1 Modelos com laje maciça

No modelo 1, no qual os vãos livres são da ordem de dez metros, a estrutura possui 19 pilares, 18 vigas e apenas 9 lajes, enquanto no modelo 2, no qual os vãos livres são menores, a estrutura possui 32 pilares, 20 vigas e 17 lajes, conforme pode ser observado nas plantas de fôrmas dos pavimentos, no apêndice B.

Na fachada principal da loja existem janelas com 2,60 metros de altura para as vitrines, o que permitiria a execução de vigas com altura máxima de 40 centímetros para que fosse respeitada a altura de três metros para cada andar, conforme previsto no projeto arquitetônico. Para o primeiro modelo, no entanto, tal condição não foi respeitada, já que os vãos adotados exigem vigas maiores, alterando, dessa forma, a altura do andar de 3,00 para 3,50 metros, com altura das vigas de 90 centímetros. Com isso, a altura total da edificação foi aumentada em 2,50 metros, uma vez que o pavimento tipo se repete por cinco vezes. Além disso, neste primeiro modelo, existem lajes com 21 centímetros de espessura, o que exige um elevado consumo de concreto e um grande peso próprio da estrutura, consequência dos grandes vãos adotados no projeto.

No modelo 2, a altura de cada andar foi mantida em três metros, conforme projeto arquitetônico, sendo adotadas vigas com altura máxima de 40 centímetros abaixo das janelas maiores localizadas nas paredes externas, e vigas com altura de 60 centímetros na parte interna da loja. As lajes, por sua vez, resultaram em uma espessura máxima de 14 centímetros, para vencer vãos de aproximadamente sete metros. A largura adotada para as vigas, nos dois modelos, foi de 17 centímetros, de forma que a parede finalizada resultou em uma espessura de 20 centímetros. Nas vigas onde não há parede, foi adotada a largura de 20 centímetros. Nos banheiros, foram utilizadas divisórias de gesso acartonado, por serem mais leves que a alvenaria.

Depois de realizado o cálculo da estrutura, obteve-se, para este pavimento, os consumos de aço, concreto e fôrmas conforme quadros 13 e 14, para o modelo 1 e 2, respectivamente.

Quadro 13 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 2 com Laje Maciça (Modelo 1)			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes	550,85	104,45	7.403,00
Vigas (fundo)	40,20	35,23	4.689,20
Vigas (lateral)	282,02		

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 14 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 2 com Laje Maciça (Modelo 2)			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes	545,63	69,60	4.478,00
Vigas (fundo)	44,93	21,23	2.706,60
Vigas (lateral)	183,73		

(fonte: elaborado pela autora)

Com os consumos obtidos nos quadros acima, calculou-se o custo dos dois modelos com laje maciça, bem como as quantidades de homens-hora requeridas em cada caso, e os resultados estão apresentados nos quadros 15 a 18.

Quadro 15 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)

SUPRAESTRUTURA					
1					
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 129.382,39
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	202,00	R\$ 8,83	R\$ 1.783,82
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	741,00	R\$ 9,20	R\$ 6.818,24
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	1015,00	R\$ 9,53	R\$ 9.674,38
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	3756,00	R\$ 9,64	R\$ 36.213,12
1.1.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	1689,00	R\$ 8,27	R\$ 13.961,96
1.1.6	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	104,45	R\$ 304,78	R\$ 31.834,27
1.1.7	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	104,45	R\$ 70,67	R\$ 7.381,00
1.1.8	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	550,85	R\$ 17,78	R\$ 9.792,97
1.1.9	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	550,85	R\$ 7,30	R\$ 4.023,56
1.1.10	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	550,85	R\$ 1,90	R\$ 1.045,07
1.1.11	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	550,85	R\$ 10,62	R\$ 5.847,50
1.1.12	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	550,85	R\$ 1,74	R\$ 956,24
1.1.13	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	550,85	R\$ 0,09	R\$ 50,25
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 66.809,11
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	1019,90	R\$ 8,83	R\$ 9.006,53
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	20,40	R\$ 9,20	R\$ 187,71
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	45,40	R\$ 9,53	R\$ 432,73
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	84,50	R\$ 9,64	R\$ 814,70

continua

continuação

1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	227,20	R\$ 8,27	R\$ 1.878,13
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	470,70	R\$ 9,18	R\$ 4.323,10
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	1168,70	R\$ 9,05	R\$ 10.579,54
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	1652,40	R\$ 8,93	R\$ 14.758,25
1.2.9	Concreto estrutural virado em obra fck 30MPa	m ³	35,23	R\$ 304,78	R\$ 10.737,40
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	35,23	R\$ 70,67	R\$ 2.489,54
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	322,22	R\$ 20,82	R\$ 6.707,05
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	322,22	R\$ 9,57	R\$ 3.082,34
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	322,22	R\$ 3,55	R\$ 1.142,45
1.2.14	Fabricação de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	40,20	R\$ 14,22	R\$ 571,63
1.2.15	Montagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	40,20	R\$ 1,90	R\$ 76,41
1.2.16	Desmontagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	40,20	R\$ 0,54	R\$ 21,60
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE MACIÇA					R\$ 196.191,50

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 16 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 89.541,26
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	644,00	R\$ 8,83	R\$ 5.687,03
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	1282,00	R\$ 9,20	R\$ 11.796,20
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	1706,00	R\$ 9,53	R\$ 16.260,58
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	846,00	R\$ 9,64	R\$ 8.156,63
1.1.5	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	69,60	R\$ 304,78	R\$ 21.212,69
1.1.6	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	69,60	R\$ 70,67	R\$ 4.918,31
1.1.7	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	545,63	R\$ 17,78	R\$ 9.700,17
1.1.8	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	545,63	R\$ 7,30	R\$ 3.985,43
1.1.9	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	545,63	R\$ 1,90	R\$ 1.035,16
1.1.10	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	545,63	R\$ 10,62	R\$ 5.792,09
1.1.11	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	545,63	R\$ 1,74	R\$ 947,18
1.1.12	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	545,63	R\$ 0,09	R\$ 49,78
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 40.971,42
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	327,40	R\$ 8,83	R\$ 2.891,20
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	51,60	R\$ 9,20	R\$ 474,79
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	70,00	R\$ 9,53	R\$ 667,20
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	205,50	R\$ 9,64	R\$ 1.981,31
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	175,10	R\$ 8,27	R\$ 1.447,45

continua

continuação

1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	607,60	R\$ 9,18	R\$ 5.580,44
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	947,90	R\$ 9,05	R\$ 8.580,77
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	321,50	R\$ 8,93	R\$ 2.871,45
1.2.9	Concreto estrutural virado em obra fck 30MPa	m ³	21,23	R\$ 304,78	R\$ 6.470,48
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	21,23	R\$ 70,67	R\$ 1.500,23
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	228,66	R\$ 20,82	R\$ 4.759,59
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	228,66	R\$ 9,57	R\$ 2.187,35
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	228,66	R\$ 3,55	R\$ 810,73
1.2.14	Fabricação de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	44,93	R\$ 14,22	R\$ 638,89
1.2.15	Montagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	44,93	R\$ 1,90	R\$ 85,40
1.2.16	Desmontagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	44,93	R\$ 0,54	R\$ 24,14
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE MACIÇA					R\$ 130.512,68

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 17 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 1)

Pavimento Comercial 2 (Modelo 1) - 594,75 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	1.070,85	267,71
Fôrmas e escoramento das vigas	654,36	170,07
Armação das lajes	590,22	903,17
Armação das vigas	529,53	572,08
Concretagem das lajes	172,34	365,58
Concretagem das vigas	58,13	123,31
TOTAL (Hh)	3.075,44	2.401,91
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	5,17	4,04

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 18 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje maciça (Modelo 2)

Pavimento Comercial 2 (Modelo 2) - 594,75 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	1.060,70	265,18
Fôrmas e escoramento das vigas	469,46	124,61
Armação das lajes	351,80	615,33
Armação das vigas	307,10	538,21
Concretagem das lajes	114,84	243,60
Concretagem das vigas	35,03	74,31
TOTAL (Hh)	2.338,94	1.861,23
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	3,93	3,13

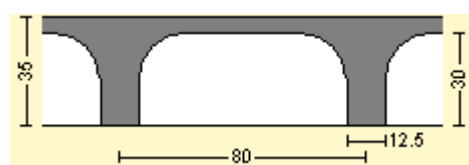
(fonte: elaborado pela autora)

De acordo com os quadros acima, observa-se que a quantidade de homens-hora requeridos é de 5.477,35 no modelo 1 e 4.200,17 no modelo 2. Observa-se que no modelo 1 o consumo de mão de obra exigido foi bem superior, devido à grande quantidade de materiais envolvidos. Além disso, em relação aos custos obtidos, observa-se que o modelo com vãos menores, apesar de apresentar mais vigas, lajes e pilares em relação ao outro, possui um custo global aproximadamente 33% menor.

6.2.2 Modelos com laje nervurada

Para este pavimento, foi mantida a mesma configuração estrutural utilizada na laje maciça, tanto no modelo 1 quanto no modelo 2. Para o modelo 1 novamente a altura de cada andar não foi respeitada, sendo alterada para 3,30 metros, uma vez que foram necessárias vigas de 70 centímetros acima das janelas de 2,60 metros, o que altera a altura total do edifício em 1,50 metros, considerando 5 pavimentos tipo. Para o modelo 2, no entanto, a altura de cada andar prevista no projeto arquitetônico foi respeitada, sendo que a altura máxima das vigas foi de 40 centímetros. O modelo de cubeta utilizado no pavimento no primeiro modelo, com menos pilares, foi a ATEX 800, com altura útil de 35 centímetros, sendo 5 centímetros da mesa de concreto, largura das nervuras de 12,5 centímetros e distância entre eixos de nervuras de 80 centímetros, conforme pode ser observado na figura 27.

Figura 27 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento comercial 2 (Modelo 1)



(fonte: MULTIPLUS, 2014)

Já no segundo modelo, com mais pilares, utilizou-se a cubeta ATEX 800, com altura útil de 25 centímetros, sendo 5 centímetros da mesa de concreto, largura das nervuras de 12,5 centímetros e distância entre eixos de nervuras de 80 centímetros conforme já ilustrado na figura 26. Utilizando as configurações citadas, obteve-se, para o modelo 1, uma quantidade de 734 cubetas inteiras e 108 meias cubetas e, para o modelo 2, obteve-se um total de 670 cubetas inteiras e 167 meias cubetas. Neste pavimento, duas lajes foram mantidas maciças para os dois modelos calculados, utilizando a espessura mínima de oito centímetros, uma vez

que suas dimensões permitiam, e a execução da laje nervurada apenas dificultaria o processo. Tratam-se das lajes L6 e L7, no modelo 1, e L10 e L11, no modelo 2.

Nos quadros 19 e 20, abaixo, estão apresentados os consumos obtidos em cada modelo. Observa-se que, em relação aos modelos com laje maciça, a principal diferença está novamente na quantidade de aço, sendo esta bem inferior nos modelos com laje nervurada. A quantidade de concreto também é menor nos modelos com lajes nervuradas, visto que as espessuras exigidas para as lajes maciças no dimensionamento foram bem elevadas. A quantidade de fôrmas na lateral das vigas também é menor nos modelos com lajes nervuradas, uma vez que as alturas exigidas no dimensionamento foram inferiores para esses elementos estruturais. Os quadros 21 a 24 apresentam os resultados dos custos e do consumo de mão de obra em cada modelo.

Quadro 19 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 1)

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 2 com Laje Nervurada (Modelo 1)			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes Maciças	7,90	0,63	22,00
Lajes Nervuradas	544,71	86,61	4.774,00
Vigas (fundo)	38,51	30,61	3.309,90
Vigas (lateral)	215,39		

(fonte: elaborada pela autora)

Quadro 20 – Consumo de materiais para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 2)

Consumo de Materiais - Pavimento Comercial 2 com Laje Nervurada (Modelo 2)			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes Maciças	7,90	0,63	22,00
Lajes Nervuradas	535,53	61,05	2.969,00
Vigas (fundo)	47,11	20,32	1.498,60
Vigas (lateral)	120,45		

(fonte: elaborada pela autora)

Quadro 21 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje nervurada
(Modelo 1)

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 104.490,16
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	21,00	R\$ 8,83	R\$ 185,45
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	86,00	R\$ 9,20	R\$ 791,32
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	41,00	R\$ 9,53	R\$ 390,79
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	312,00	R\$ 9,64	R\$ 3.008,12
1.1.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	1867,00	R\$ 8,27	R\$ 15.433,38
1.1.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	1442,00	R\$ 9,18	R\$ 13.243,91
1.1.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	754,00	R\$ 9,05	R\$ 6.825,51
1.1.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	273,00	R\$ 8,93	R\$ 2.438,27
1.1.9	Tela de aço Q138 laje nervurada	kg	800,72	R\$ 8,52	R\$ 6.821,25
1.1.10	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	87,24	R\$ 304,78	R\$ 26.589,01
1.1.11	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	87,24	R\$ 70,67	R\$ 6.164,85
1.1.12	Locação das cubetas (800x725x200)	dia	30,00	R\$ 425,72	R\$ 12.771,60
1.1.13	Locação das cubetas (400x725x200)	dia	30,00	R\$ 62,64	R\$ 1.879,20
1.1.14	Sistema de escoramento específico para laje nervurada	m ²	544,71	R\$ 14,02	R\$ 7.635,67
1.1.15	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 17,78	R\$ 140,62
1.1.16	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 7,30	R\$ 57,78
1.1.17	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 1,90	R\$ 15,01
1.1.18	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaltes	m ²	7,91	R\$ 9,10	R\$ 71,97
1.1.19	Montagem de escoramento para lajes, com pontaltes	m ²	7,91	R\$ 1,74	R\$ 13,73
1.1.20	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaltes	m ²	7,91	R\$ 0,09	R\$ 0,72
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 50.290,94
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	829,90	R\$ 8,83	R\$ 7.328,68
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	17,30	R\$ 9,20	R\$ 159,18
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	55,10	R\$ 9,53	R\$ 525,18
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	81,00	R\$ 9,64	R\$ 780,95
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	359,70	R\$ 8,27	R\$ 2.973,43
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	410,70	R\$ 9,18	R\$ 3.772,03
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	1151,70	R\$ 9,05	R\$ 10.425,65
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	404,50	R\$ 8,93	R\$ 3.612,75
1.2.9	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	30,61	R\$ 304,78	R\$ 9.329,32
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	30,61	R\$ 70,67	R\$ 2.163,07
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	253,90	R\$ 20,82	R\$ 5.284,96
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	253,90	R\$ 9,57	R\$ 2.428,80
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	253,90	R\$ 3,55	R\$ 900,22
1.2.14	Sistema de escoramento metálico para vigas em laje nervurada	m	206,90	R\$ 15,75	R\$ 3.259,65
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE NERVURADA					R\$ 157.434,03

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 22 – Custo global para pavimento comercial 2 com laje nervurada
(Modelo 2)

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 78.857,63
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	19,00	R\$ 8,83	R\$ 167,79
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	150,00	R\$ 9,20	R\$ 1.380,21
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	288,00	R\$ 9,53	R\$ 2.745,04
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	641,00	R\$ 9,64	R\$ 6.180,14
1.1.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	1350,00	R\$ 8,27	R\$ 11.159,65
1.1.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	480,00	R\$ 9,18	R\$ 4.408,51
1.1.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	63,00	R\$ 9,05	R\$ 570,30
1.1.8	Tela de aço Q138 laje nervurada	kg	787,23	R\$ 8,52	R\$ 6.706,29
1.1.9	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	61,68	R\$ 304,78	R\$ 18.798,83
1.1.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	61,68	R\$ 70,67	R\$ 4.358,64
1.1.11	Locação das cubetas (800x725x200)	dia	30,00	R\$ 388,60	R\$ 11.658,00
1.1.12	Locação das cubetas (400x725x200)	dia	30,00	R\$ 96,86	R\$ 2.905,80
1.1.13	Sistema de escoramento específico para laje nervurada	m ²	535,53	R\$ 14,02	R\$ 7.506,99
1.1.14	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,90	R\$ 17,78	R\$ 140,45
1.1.15	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,90	R\$ 7,30	R\$ 57,70
1.1.16	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,90	R\$ 1,90	R\$ 14,99
1.1.17	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,90	R\$ 10,62	R\$ 83,86
1.1.18	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,90	R\$ 1,74	R\$ 13,71
1.1.19	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,90	R\$ 0,09	R\$ 0,72
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 30.750,88
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	299,60	R\$ 8,83	R\$ 2.645,71
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	92,70	R\$ 9,20	R\$ 852,97
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	144,30	R\$ 9,53	R\$ 1.375,38
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	216,50	R\$ 9,64	R\$ 2.087,36
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	220,50	R\$ 8,27	R\$ 1.822,74
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	245,10	R\$ 9,18	R\$ 2.251,10
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	151,90	R\$ 9,05	R\$ 1.375,06
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	128,00	R\$ 8,93	R\$ 1.143,22
1.2.9	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	20,32	R\$ 304,78	R\$ 6.193,13
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	20,32	R\$ 70,67	R\$ 1.435,92
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	167,56	R\$ 20,82	R\$ 3.487,79
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	167,56	R\$ 9,57	R\$ 1.602,87
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	167,56	R\$ 3,55	R\$ 594,09
1.2.14	Sistema de escoramento metálico para vigas em laje nervurada	m	246,50	R\$ 15,75	R\$ 3.883,54
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE NERVURADA					R\$ 109.608,51

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 23 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 1)

Pavimento Comercial 2 (Modelo 1) - 594,75 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	375,38	712,79
Fôrmas e escoramento das vigas	505,77	134,14
Armação das lajes	399,48	703,09
Armação das vigas	256,49	448,45
Concretagem das lajes	143,95	392,58
Concretagem das vigas	50,51	137,75
TOTAL (Hh)	1.731,58	2.528,79
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	2,91	4,25

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 24 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento comercial 2 com laje nervurada (Modelo 2)

Pavimento Comercial 2 (Modelo 2) - 594,75 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	375,36	710,95
Fôrmas e escoramento das vigas	333,78	92,87
Armação das lajes	257,07	453,81
Armação das vigas	116,89	204,41
Concretagem das lajes	101,77	277,56
Concretagem das vigas	33,53	91,44
TOTAL (Hh)	1.218,40	1.831,03
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	2,05	3,08

(fonte: elaborado pela autora)

Em relação aos custos, a diferença entre os dois modelos com laje nervurada ficou da ordem de 30%, sendo, também neste caso, mais econômico utilizar um modelo com vãos menores e mais elementos estruturais (lajes, vigas e pilares). Para os consumos de mão de obra, tem-se que a quantidade de homens-hora requeridos é de 4.260,37 para o modelo 1 e 3.049,43 para o modelo 2, podendo-se observar que para as lajes nervuradas, o modelo 1 também apresentou os maiores consumos de mão de obra. Ao comparar os consumos entre os dois tipos de lajes, percebe-se que, no modelo 1, a laje nervurada apresentou um consumo 22% menor que a maciça, e no modelo 2 a diferença entre as duas soluções adotadas foi ainda maior, sendo que a laje nervurada apresentou um consumo 27% menor que a maciça. Para fins de custos com a locação dos sistemas de fôrmas e escoramento, foi considerado um ritmo de obra de 30 dias por laje.

6.3 PAVIMENTO RESIDENCIAL 1

6.3.1 Modelo com laje maciça

O pavimento residencial calculado resultou em uma estrutura com 26 pilares, 29 vigas e 17 lajes. A altura máxima adotada para as vigas foi 50 centímetros, respeitando a altura do andar de 2,70 metros, e a espessura das lajes variou desde a mínima estabelecida por norma, correspondente a oito centímetros, até quatorze centímetros, para a maior laje, com vãos de aproximadamente seis metros. A largura adotada para as vigas foi de 12 e 17 centímetros, de forma que as paredes finalizadas ficaram com espessura de 15 e 20 centímetros, respectivamente.

Depois de realizado o cálculo da estrutura, obteve-se, para este pavimento, os consumos de aço, concreto e fôrmas conforme quadro 25. Os quadros 26 e 27 apresentam os resultados obtidos para os custos e quantidade de homens-hora necessários para a execução, respectivamente.

Quadro 25 – Consumo de materiais para pavimento residencial 1 com laje maciça

Consumo de Materiais - Pavimento Residencial 1 com Laje Maciça			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes	213,26	20,50	1.282,00
Vigas (fundo)	25,57	11,92	1.092,40
Vigas (lateral)	126,40		

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 26 – Custo global para pavimento residencial 1 com laje maciça

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 27.794,86
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	508,00	R\$ 8,83	R\$ 4.486,05
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	522,00	R\$ 9,20	R\$ 4.803,13
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	252,00	R\$ 9,53	R\$ 2.401,91
1.1.4	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	20,50	R\$ 304,78	R\$ 6.247,99
1.1.5	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	20,50	R\$ 70,67	R\$ 1.448,64

continua

continuação

1.1.6	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	213,26	R\$ 17,78	R\$ 3.791,32
1.1.7	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	213,26	R\$ 7,30	R\$ 1.557,71
1.1.8	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	213,26	R\$ 1,90	R\$ 404,60
1.1.9	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	213,26	R\$ 10,62	R\$ 2.263,84
1.1.10	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	213,26	R\$ 1,74	R\$ 370,21
1.1.11	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	213,26	R\$ 0,09	R\$ 19,46
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 19.952,51
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	194,00	R\$ 8,83	R\$ 1.713,17
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	84,20	R\$ 9,20	R\$ 774,76
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	102,80	R\$ 9,53	R\$ 979,83
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	94,90	R\$ 9,64	R\$ 914,97
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	125,10	R\$ 8,27	R\$ 1.034,13
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	292,60	R\$ 9,18	R\$ 2.687,36
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 20mm	kg	129,40	R\$ 9,05	R\$ 1.171,38
1.2.8	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	69,40	R\$ 8,93	R\$ 619,84
1.2.9	Concreto estrutural virado em obra fck 30MPa	m ³	11,92	R\$ 304,78	R\$ 3.632,98
1.2.10	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	11,92	R\$ 70,67	R\$ 842,33
1.2.11	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	151,97	R\$ 20,82	R\$ 3.163,28
1.2.12	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	151,97	R\$ 9,57	R\$ 1.453,74
1.2.13	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	151,97	R\$ 3,55	R\$ 538,82
1.2.14	Fabricação de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	25,57	R\$ 14,22	R\$ 363,60
1.2.15	Montagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	25,57	R\$ 1,90	R\$ 48,60
1.2.16	Desmontagem de escoramento para vigas, com pontaletes	m ²	25,57	R\$ 0,54	R\$ 13,74
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE MACIÇA					R\$ 47.747,37

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 27 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento residencial 1 com laje maciça

Pavimento Residencial 1 - 240,40 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	414,58	103,64
Fôrmas e escoramento das vigas	310,68	81,79
Armação das lajes	97,48	156,40
Armação das vigas	110,02	133,27
Concretagem das lajes	33,83	71,75
Concretagem das vigas	19,67	41,72
TOTAL (Hh)	986,25	588,58
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	4,10	2,45

(fonte: elaborado pela autora)

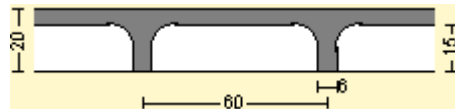
Dessa forma, de acordo com o quadro 27, tem-se que a quantidade de mão de obra requerida para a execução deste pavimento foi de 1.574,83 homens-hora, visto que sua área é menor.

6.3.2 Modelo com laje nervurada

Para este modelo, foram lançados 26 pilares, 26 vigas e 13 lajes. Em relação ao modelo com laje maciça, a principal diferença está na retirada de algumas vigas, tornando as lajes maiores, conforme pode ser observado na planta de fôrmas do pavimento, no apêndice C. A altura máxima adotada para as vigas também foi de 50 centímetros.

O modelo de cubeta utilizado no pavimento foi a ATEX 600, com altura total de 20 centímetros, sendo 5 centímetros da mesa de concreto, largura das nervuras de 6 centímetros e distância entre eixos de nervuras de 60 centímetros, conforme pode ser observado na figura 28. Foram necessárias 433 cubetas inteiras e 135 meias cubetas para modelar o pavimento. As lajes próximas ao acesso à escada e ao elevador foram mantidas maciças, com espessura mínima de oito centímetros, uma vez que suas dimensões eram pequenas, e a execução da laje nervurada apenas dificultaria o processo.

Figura 28 – Cubeta utilizada na laje nervurada do pavimento residencial 1



(fonte: MULTIPLUS, 2014)

Quadro 28 – Consumo de materiais para pavimento residencial 1 com laje nervurada

Consumo de Materiais - Pavimento Residencial 1 com Laje Nervurada			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume Concreto (m ³)	Barras de aço (kg)
Lajes Maciças	8,17	0,65	39,00
Lajes Nervuradas	207	18,01	933,40
Vigas (fundo)	23,66	10,99	653,50
Vigas (lateral)	93,98		

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 29 – Custo global para pavimento residencial 1 com laje nervurada

1	SUPRAESTRUTURA				
1.1	Laje pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 28.411,21
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.1.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	38,90	R\$ 8,83	R\$ 343,52
1.1.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	223,60	R\$ 9,20	R\$ 2.057,43
1.1.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	141,70	R\$ 9,53	R\$ 1.350,60
1.1.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	353,30	R\$ 9,64	R\$ 3.406,31
1.1.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	131,50	R\$ 8,27	R\$ 1.087,03
1.1.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	83,40	R\$ 9,18	R\$ 765,98
1.1.7	Tela de aço Q138 laje nervurada	kg	304,29	R\$ 8,52	R\$ 2.952,20
1.1.8	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	18,66	R\$ 304,78	R\$ 5.687,19
1.1.9	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	18,66	R\$ 70,67	R\$ 1.318,62
1.1.10	Locação das cubetas (800x725x200)	dia	20,00	R\$ 251,14	R\$ 5.022,80
1.1.11	Locação das cubetas (400x725x200)	dia	20,00	R\$ 78,30	R\$ 1.566,00
1.1.12	Sistema de escoramento específico para laje nervurada	m ²	207,00	R\$ 14,02	R\$ 2.901,70
1.1.13	Fabricação de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 17,78	R\$ 140,62
1.1.14	Montagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 7,30	R\$ 57,78
1.1.15	Desmontagem de fôrma para lajes, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	7,91	R\$ 1,90	R\$ 15,01
1.1.16	Fabricação de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,91	R\$ 10,62	R\$ 83,97
1.1.17	Montagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,91	R\$ 1,74	R\$ 13,73
1.1.18	Desmontagem de escoramento para lajes, com pontaletes	m ²	7,91	R\$ 0,09	R\$ 0,72
1.2	Vigas pavimento tipo (Aço, concreto, fôrmas e escoramento)				R\$ 16.148,15
ITEM	SERVIÇOS	UN	QUANT	VALOR UNITÁRIO	TOTAL
1.2.1	Armadura CA 60B bitola 5mm	kg	174,10	R\$ 8,83	R\$ 1.537,44
1.2.2	Armadura CA 50A bitola 6,3mm	kg	102,20	R\$ 9,20	R\$ 940,38
1.2.3	Armadura CA 50A bitola 8mm	kg	79,80	R\$ 9,53	R\$ 760,61
1.2.4	Armadura CA 50A bitola 10mm	kg	68,60	R\$ 9,64	R\$ 661,40
1.2.5	Armadura CA 50A bitola 12,5mm	kg	138,80	R\$ 8,27	R\$ 1.147,38
1.2.6	Armadura CA 50A bitola 16mm	kg	53,60	R\$ 9,18	R\$ 492,28
1.2.7	Armadura CA 50A bitola 25mm	kg	36,40	R\$ 8,93	R\$ 325,10
1.2.8	Concreto dosado em central f_{ck} 30MPa	m ³	10,99	R\$ 304,78	R\$ 3.349,53
1.2.9	Lançamento e adensamento do concreto	m ³	10,99	R\$ 70,67	R\$ 776,61
1.2.10	Fabricação de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	117,64	R\$ 20,82	R\$ 2.448,69
1.2.11	Montagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	117,64	R\$ 9,57	R\$ 1.125,34
1.2.12	Desmontagem de fôrma para vigas, com chapa compensada plastificada, e =12mm	m ²	117,64	R\$ 3,55	R\$ 417,10
1.2.13	Sistema de escoramento metálico para vigas em laje nervurada	m	137,50	R\$ 15,75	R\$ 2.166,27
TOTAL DO ORÇAMENTO COM LAJE NERVURADA					R\$ 44.559,36

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 30 – Quantidade de homens-hora requeridos para pavimento residencial 1 com laje nervurada

Pavimento Residencial 1 - 240,40 m²		
Serviço	Quantidade de profissionais (Hh)	Quantidade de serventes (Hh)
Fôrmas e escoramento das lajes	255,38	445,24
Fôrmas e escoramento das vigas	234,34	63,32
Armação das lajes	83,49	147,61
Armação das vigas	50,54	88,36
Concretagem das lajes	30,79	83,97
Concretagem das vigas	18,13	49,46
TOTAL (Hh)	672,67	877,95
TOTAL (Hh/m² de pavimento)	2,80	3,65

(fonte: elaborado pela autora)

Assim, de acordo com o quadro 30, tem-se que o consumo de mão de obra exigido é de 1.550,62 homens hora, apenas 1,5% menor que no pavimento com lajes maciças. Para fins de custos com a locação dos sistemas de fôrmas e escoramento, foi considerado um ritmo de obra de 20 dias por laje, visto que esse é o ritmo de obra característico da região de estudo para pavimentos desse porte.

7 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

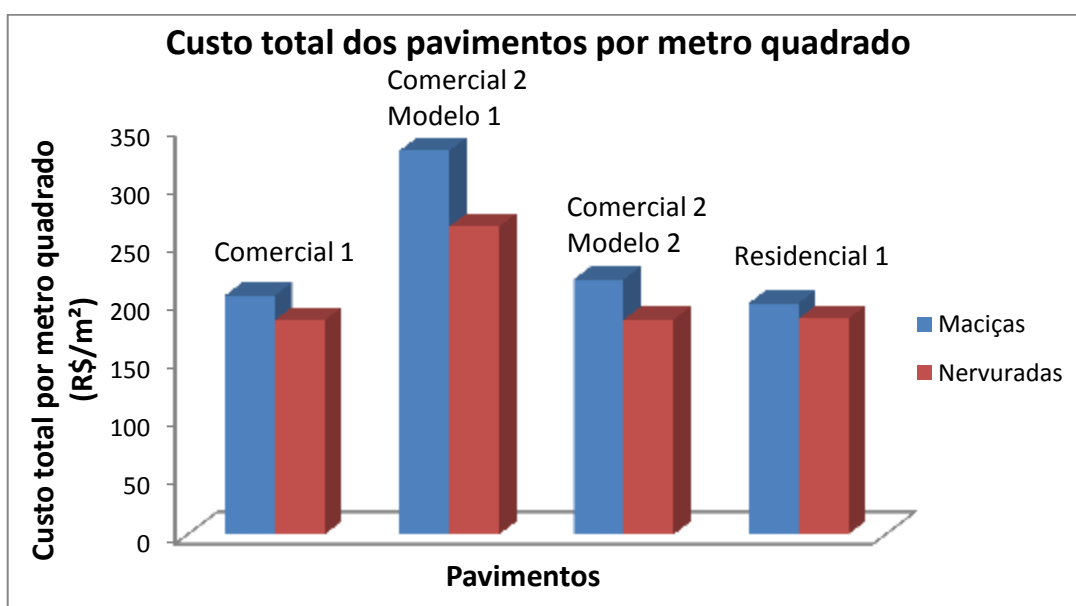
Este capítulo apresenta as comparações entre os dois sistemas estruturais em cada pavimento analisado. Tais comparações são ilustradas através de gráficos e tabelas, e foram feitas com base nas principais variáveis de projeto e execução a serem consideradas.

7.1 CUSTOS

Em relação aos aspectos econômicos, foram feitas comparações referentes aos custos totais por área de pavimento, além dos custos por área de pavimento, separados por serviços, e também custos referentes a materiais e mão de obra em cada um dos sistemas estudados. Também foi feita uma comparação da relação entre o custo por metro quadrado de pavimento e o vão médio do mesmo. A figura 29 ilustra a relação entre o custo e a área dos pavimentos nos dois sistemas estruturais.

Devido à instabilidade da moeda nacional, considera-se oportuno mencionar que a cotação do dólar na época em que foram elaborados os orçamentos, maio de 2015, era de R\$ 3,30 e o valor do CUB (custo unitário básico) para o tipo de obra considerado era de R\$ 1.150,00.

Figura 29 – Custos dos pavimentos por metro quadrado

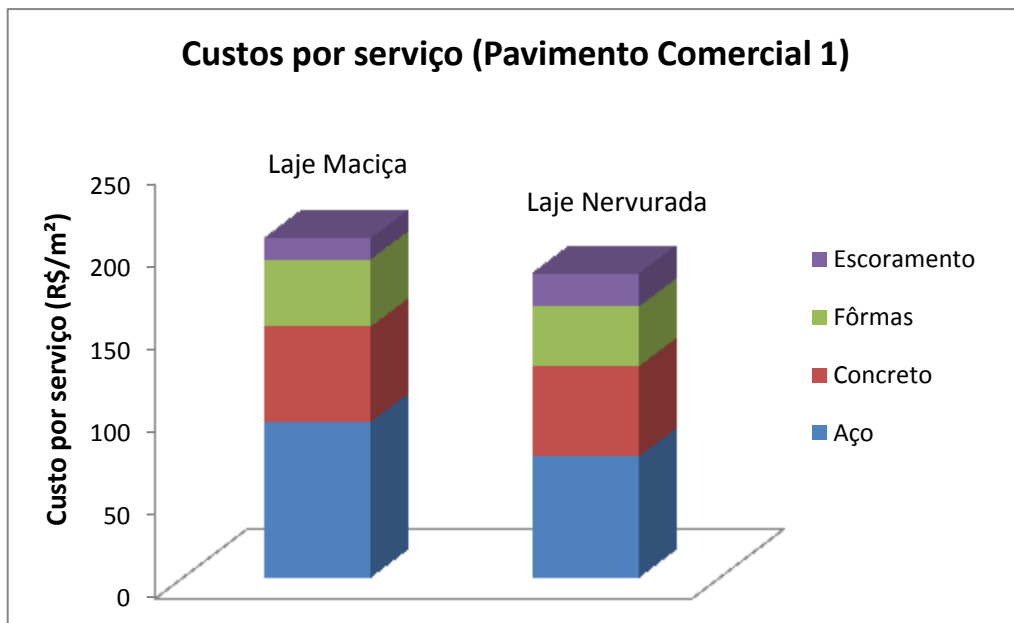


(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se, na figura 29, que o custo por metro quadrado foi bem semelhante em três dos modelos estudados, ficando em torno de R\$ 200/m² nos pavimentos com laje maciça e R\$ 185/m² nos pavimentos com laje nervurada. O pavimento comercial 2 (modelo 1), por sua vez, foi o que apresentou resultados diferentes dos demais, sendo o custo para a laje maciça da ordem de R\$ 330/m² e para a laje nervurada de R\$ 265/m², o que corresponde a um aumento de 65% para as lajes maciças e 43% para as lajes nervuradas. Isto se justifica uma vez que, neste pavimento, os vãos adotados no projeto foram bem superiores aos demais, o que demonstra que conforme se aumentam os vãos das lajes, o custo por metro quadrado pode aumentar consideravelmente.

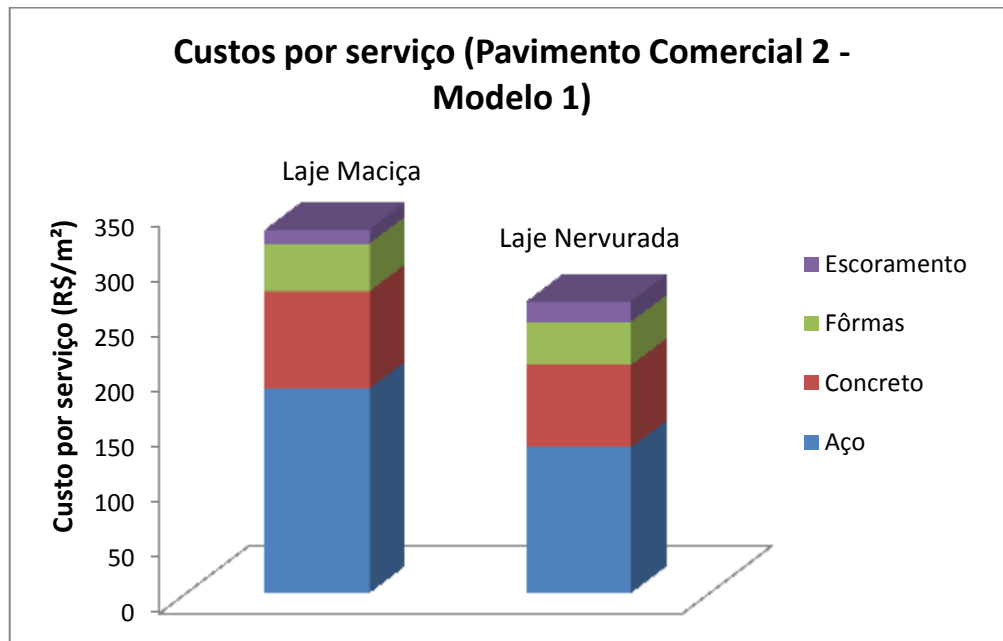
As figuras 30 a 33 ilustram os resultados obtidos para cada pavimento com laje maciça e nervurada referente aos custos envolvidos, divididos nos quatro principais serviços de estrutura (aço, concreto, fôrmas e escoramento) em relação à área dos pavimentos.

Figura 30 - Custos por serviço para pavimento comercial 1



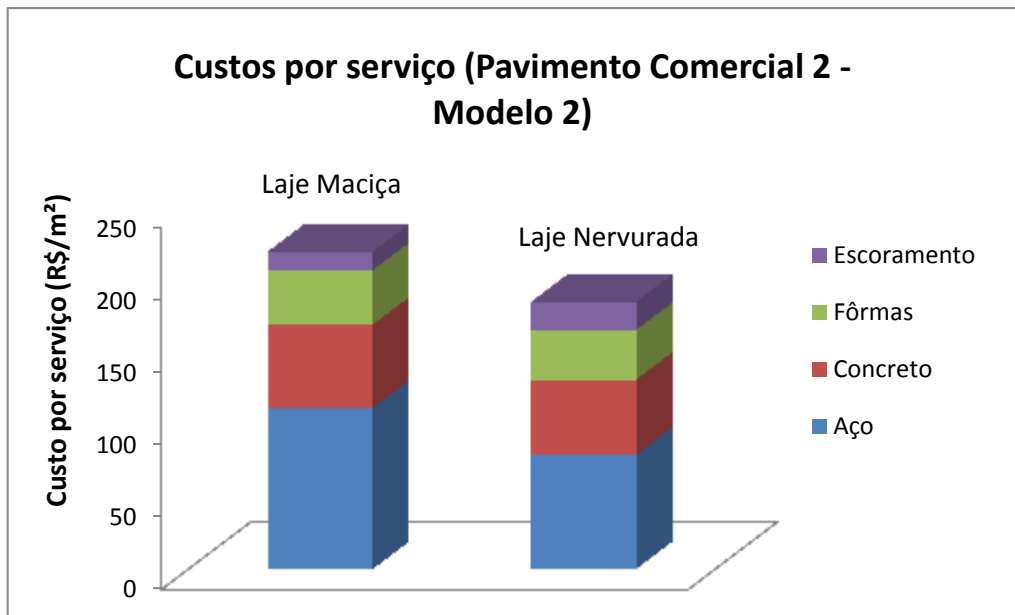
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 31 - Custos por serviço para pavimento comercial 2 (Modelo 1)



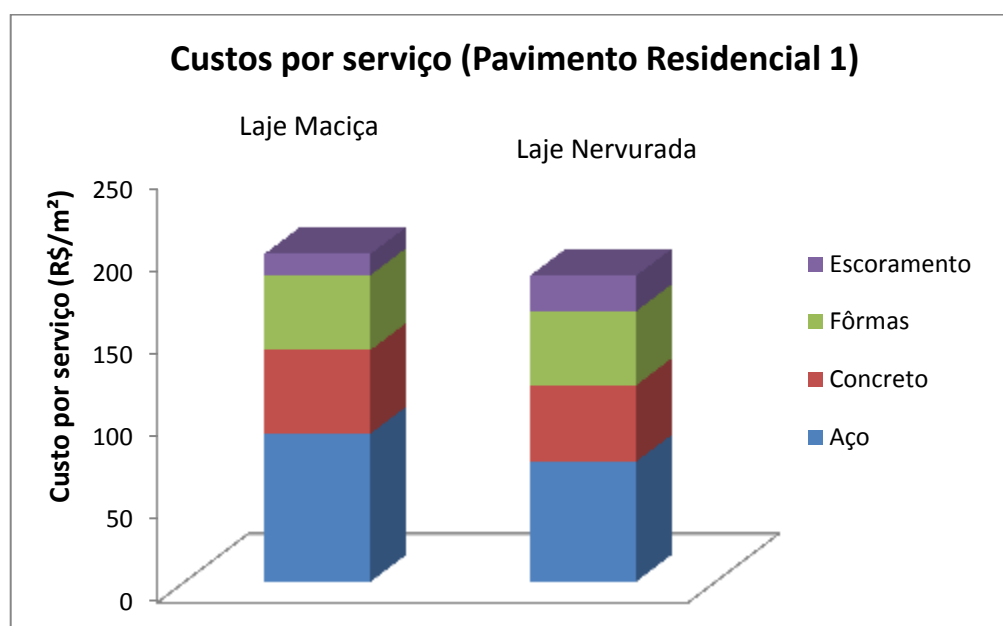
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 32 - Custos por serviço para pavimento comercial 2 (Modelo 2)



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 33 - Custos por serviço para pavimento residencial 1

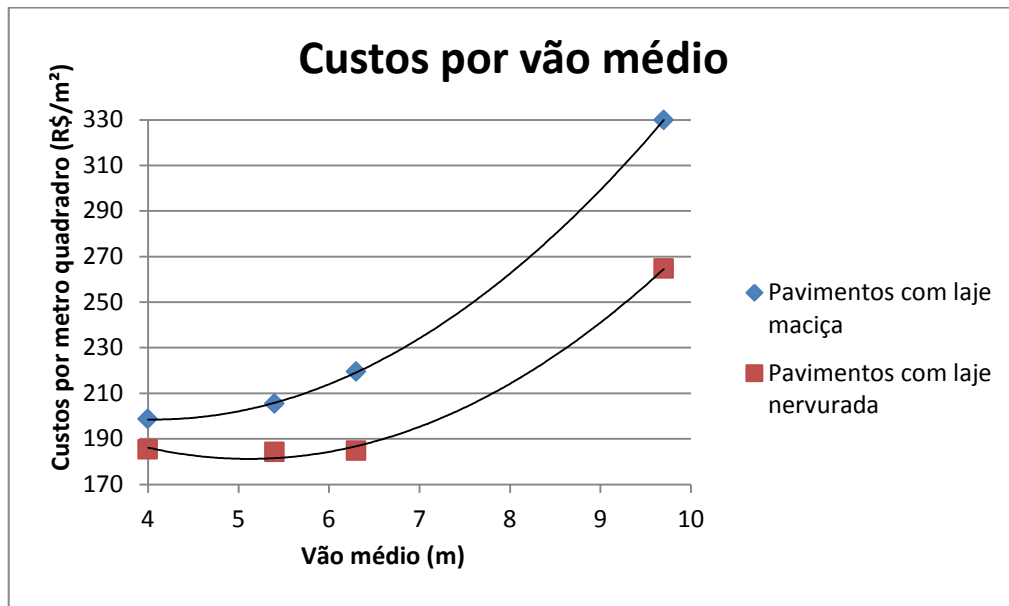


(fonte: elaborado pela autora)

Analisando os gráficos, constata-se que, para todos os pavimentos, o custo do aço é o mais representativo entre todos os serviços de estrutura, e o que mais difere entre a laje maciça e a nervurada, sendo sempre bem superior nos modelos com laje maciça, devido ao maior consumo de aço exigido neste modelo estrutural. Outra observação importante é em relação ao escoramento, que apresentou custos maiores para as lajes nervuradas em todos os pavimentos, devido ao sistema adotado na região de estudo para lajes deste tipo. O custo com escoramento para as lajes nervuradas é altamente dependente do ritmo da obra, uma vez que o sistema é locado. Ritmos de obra mais intensos levariam a uma diminuição desses custos, enquanto intervenções climáticas significativas, por exemplo, levariam ao seu aumento. Os custos de concreto e fôrmas representam praticamente a mesma parcela nos dois modelos estruturais.

A figura 34 ilustra a relação entre o custo por metro quadrado e o vão médio utilizado nos projetos dos pavimentos. Ao analisá-la, constata-se que a diferença entre os custos da laje maciça e da nervurada aumentam conforme o aumento dos vãos médios adotados no projeto. Apesar de as lajes maciças serem mais caras em todos os casos estudados, percebe-se que para vãos de aproximadamente cinco metros, por exemplo, a diferença de custos de estrutura entre os dois modelos é de 8%, enquanto para vãos da ordem de dez metros, essa diferença passa a ser de quase 20%.

Figura 34 – Relação entre custo por metro quadrado e vão médio dos pavimentos



(fonte: elaborado pela autora)

Por fim, comparou-se a porcentagem do custo de material e mão de obra em relação ao custo global de cada pavimento, nos modelos com lajes maciças e nervuradas. Os resultados obtidos estão apresentados nos quadros 31 e 32.

Quadro 31 - Custos de material e mão de obra em cada pavimento com laje maciça

Pavimento		Comercial 1		Comercial 2 (Modelo 1)		Comercial 2 Modelo 2		Residencial 1	
CUSTO TOTAL	Aço	R\$ 64.896,15	R\$ 141.261,14 100%	R\$ 110.432,20	R\$ 196.191,50 100%	R\$ 66.395,05	R\$ 130.512,68 100,00%	R\$ 21.586,53	R\$ 47.747,37 100,00%
	Concreto	R\$ 39.590,72		R\$ 52.442,21		R\$ 34.101,71		R\$ 12.171,94	
	Fôrmas	R\$ 28.032,74		R\$ 25.793,45		R\$ 22.478,44		R\$ 10.909,46	
	Escoramento	R\$ 8.741,53		R\$ 7.523,64		R\$ 7.537,48		R\$ 3.079,44	
CUSTO MATERIAIS	Aço	R\$ 46.913,38	R\$ 103.455,41 73,24%	R\$ 76.690,66	R\$ 141.616,04 72,18%	R\$ 46.541,77	R\$ 94.368,52 72,31%	R\$ 15.336,84	R\$ 34.313,47 71,86%
	Concreto	R\$ 33.082,83		R\$ 43.821,81		R\$ 28.496,10		R\$ 10.171,13	
	Fôrmas	R\$ 16.433,53		R\$ 15.063,28		R\$ 13.275,80		R\$ 6.326,43	
	Escoramento	R\$ 7.025,67		R\$ 6.040,29		R\$ 6.054,85		R\$ 2.479,07	
CUSTO MÃO DE OBRA	Aço	R\$ 17.982,77	R\$ 37.805,74 26,76%	R\$ 33.741,54	R\$ 54.575,47 27,82%	R\$ 19.853,29	R\$ 36.144,17 27,69%	R\$ 6.249,68	R\$ 13.433,90 28,14%
	Concreto	R\$ 6.507,89		R\$ 8.620,41		R\$ 5.605,61		R\$ 2.000,81	
	Fôrmas	R\$ 11.599,22		R\$ 10.730,17		R\$ 9.202,64		R\$ 4.583,03	
	Escoramento	R\$ 1.715,86		R\$ 1.483,35		R\$ 1.482,63		R\$ 600,38	

(fonte: elaborado pela autora)

Quadro 32 - Custos de material e mão de obra em cada pavimento com laje nervurada

Pavimento		Comercial 1		Comercial 2 (Modelo 1)		Comercial 2 Modelo 2		Residencial 1	
CUSTO TOTAL	Aço	R\$ 50.567,81	R\$ 126.704,54 100%	R\$ 78.715,86	R\$ 157.434,03 100%	R\$ 46.871,48	R\$ 109.608,51 100,00%	R\$ 17.467,67	R\$ 44.559,36 100,00%
	Concreto	R\$ 37.488,22		R\$ 44.246,24		R\$ 30.786,52		R\$ 11.131,96	
	Fôrmas	R\$ 24.822,45		R\$ 23.478,18		R\$ 20.461,69		R\$ 10.793,34	
	Escoramento	R\$ 13.826,06		R\$ 10.993,75		R\$ 11.488,82		R\$ 5.166,39	
CUSTO MATERIAIS	Aço	R\$ 37.511,20	R\$ 98.437,01 77,69%	R\$ 52.215,26	R\$ 115.105,39 73,11%	R\$ 34.021,35	R\$ 84.458,90 77,05%	R\$ 13.153,85	R\$ 34.445,20 77,30%
	Concreto	R\$ 31.325,94		R\$ 36.973,08		R\$ 25.725,86		R\$ 9.302,09	
	Fôrmas	R\$ 17.702,61		R\$ 16.466,89		R\$ 14.828,10		R\$ 7.541,09	
	Escoramento	R\$ 11.897,26		R\$ 9.450,16		R\$ 9.883,59		R\$ 4.448,17	
CUSTO MÃO DE OBRA	Aço	R\$ 13.056,61	R\$ 28.267,53 22,31%	R\$ 26.500,60	R\$ 42.328,63 26,89%	R\$ 12.850,13	R\$ 25.149,61 22,95%	R\$ 4.313,82	R\$ 10.114,15 22,70%
	Concreto	R\$ 6.162,28		R\$ 7.273,16		R\$ 5.060,66		R\$ 1.829,86	
	Fôrmas	R\$ 7.119,84		R\$ 7.011,29		R\$ 5.633,59		R\$ 3.252,25	
	Escoramento	R\$ 1.928,80		R\$ 1.543,58		R\$ 1.605,23		R\$ 718,22	

(fonte: elaborado pela autora)

Observa-se, através da análise dos quadros 31 e 32, que nos modelos com laje maciça o custo com material representou em média 72% do custo total, enquanto o de mão de obra 28%. Nos modelos com laje nervurada, por sua vez, os custos com materiais foram da ordem de 77% e os custos com mão de obra ficaram em torno de 23% do custo total.

Com isso, pode-se concluir que nas configurações estudadas, em relação aos aspectos econômicos, as lajes nervuradas apresentam grandes vantagens quando comparadas às maciças, principalmente em pavimentos cujo vão médio é superior a cinco metros. Dos serviços de estrutura, o único que apresentou um valor mais elevado para as lajes nervuradas foi o escoramento, visto que na região de estudo faz-se uso de escoramento metálico em lajes deste tipo, enquanto para as maciças utiliza-se o escoramento de madeira.

Outro aspecto a ser observado, é que as lajes nervuradas são mais dependentes do ritmo da obra do que as maciças, já que o tempo de locação dos materiais irá depender do tempo de execução do pavimento, e terá influência direta no custo. Dessa forma, se ocorrer algum atraso com fornecimento de material, escassez de mão de obra, interferências climáticas, ou outros fatores que afetem a produtividade, o impacto sobre as lajes nervuradas será maior, em termos econômicos.

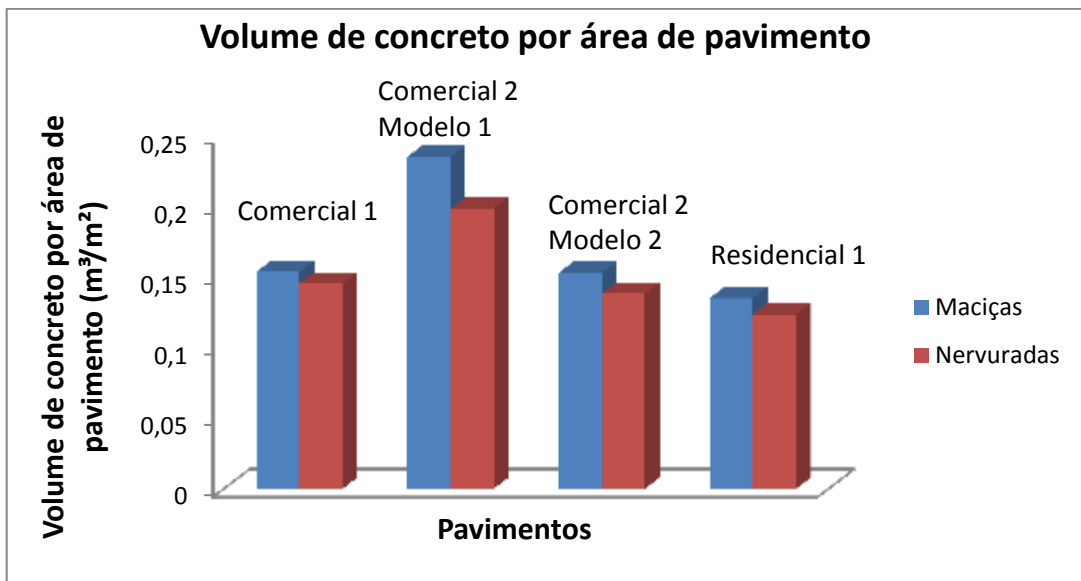
Em pavimentos residenciais, cujos vãos médios costumam ser inferiores a cinco metros, o uso da laje maciça se mostrou um pouco mais caro que o da nervurada. No entanto, cabe destacar que a laje nervurada, em pavimentos residenciais, poderá exigir o uso de forro de gesso em todos os ambientes, o que a tornaria mais cara que a maciça. A análise de custos que não estão envolvidos diretamente com a estrutura do pavimento não foi foco deste trabalho.

Por isso, analisando as considerações feitas em relação aos aspectos econômicos, para pavimentos com vãos médios menores que cinco metros, que geralmente tem finalidade residencial, é preferível adotar a configuração em laje maciça na região de estudo. Já para pavimentos com vãos maiores, que geralmente tem finalidade comercial, a solução mais adequada seria com laje nervurada. Uma vez que o construtor opte pela compra das cubetas e do sistema de escoramento, a laje nervurada passa a ser preferível para todas as configurações aqui propostas, visto que, após o investimento inicial da compra, os custos passam a ser apenas com mão de obra.

7.2 CONSUMOS E ÍNDICES

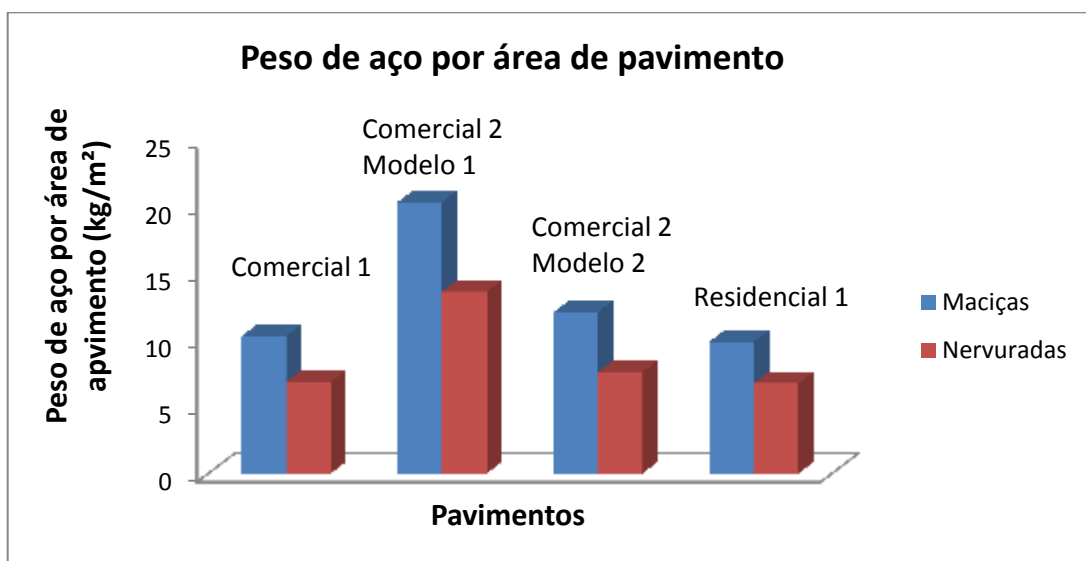
A seguir, são apresentados os gráficos com as comparações entre os principais índices analisados no projeto, que são dados pelas relações entre o volume de concreto e a área do pavimento, o peso de aço e a área de pavimento, além do peso de aço pelo volume de concreto. As figuras 35 a 37 ilustram estas relações.

Figura 35 – Relação entre o volume de concreto e a área dos pavimentos



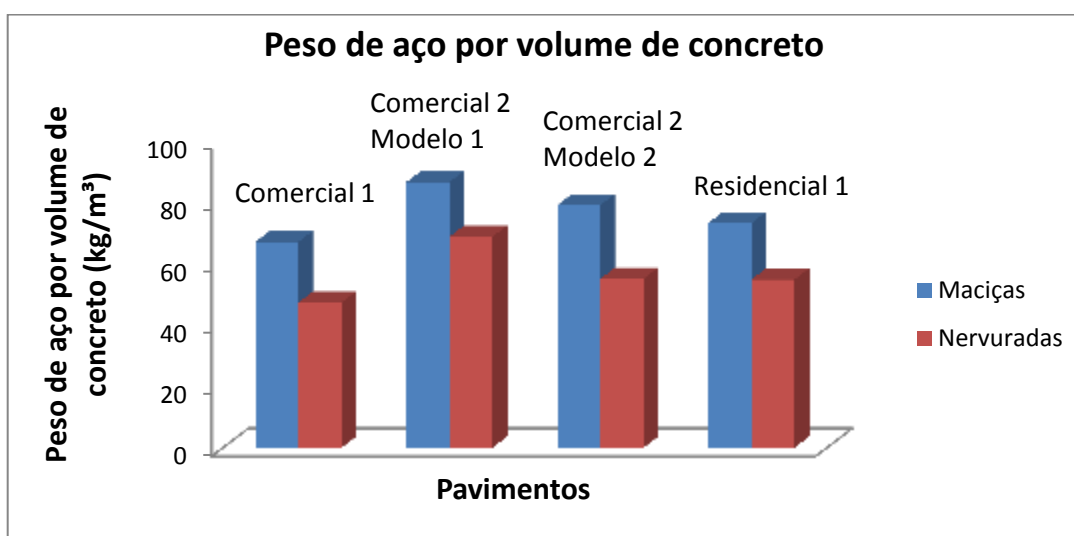
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 36 – Relação entre a quantidade de aço e a área dos pavimentos



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 37 – Relação entre a quantidade de aço e concreto dos pavimentos



(fonte: elaborado pela autora)

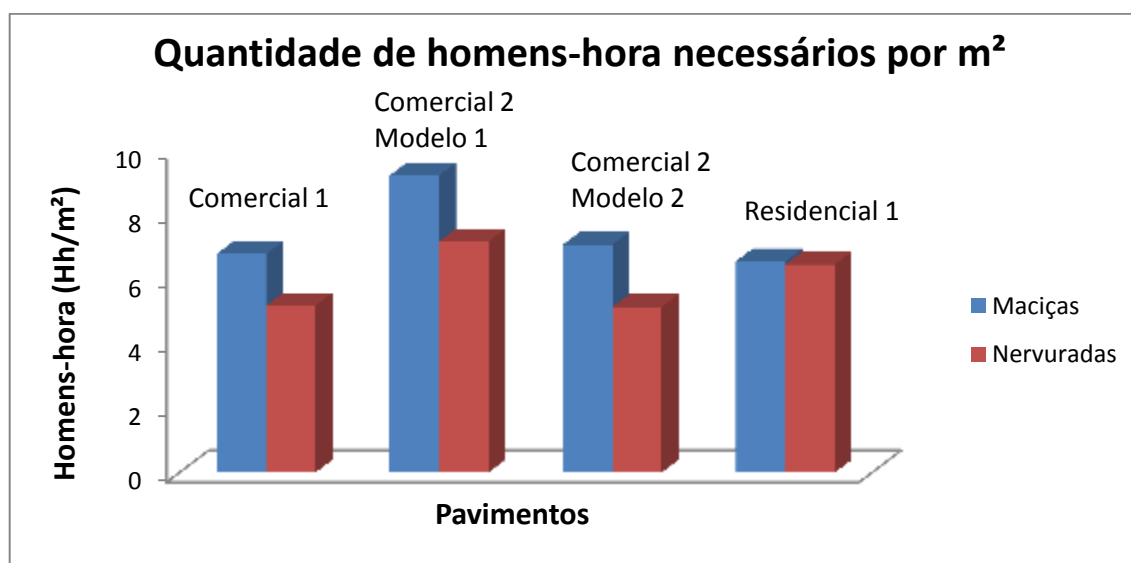
Novamente, percebe-se que o pavimento que difere dos demais é o que possui os maiores vãos, pois nele os consumos de materiais exigidos são elevados nos dois modelos. Na relação entre o volume de concreto e a área dos pavimentos, o pavimento comercial 2 (modelo 1) apresentou um valor de $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para lajes maciças e $0,20 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para lajes nervuradas, enquanto os outros três pavimentos apresentaram resultados da ordem de $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ e $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ para lajes maciças e nervuradas, respectivamente. Para a relação entre o peso de aço e a área dos pavimentos, o valor encontrado foi de aproximadamente $10 \text{ kg}/\text{m}^2$ para as lajes maciças e $7 \text{ kg}/\text{m}^2$ para lajes nervuradas, exceto para o pavimento comercial 2 (modelo 1), no qual os valores foram $20 \text{ kg}/\text{m}^2$ e $13 \text{ kg}/\text{m}^2$, respectivamente.

A relação entre o peso de aço e o volume de concreto se mostrou semelhante nos pavimentos calculados, ficando entre 70 e $80 \text{ kg}/\text{m}^3$ nos modelos com lajes maciças e aproximadamente $50 \text{ kg}/\text{m}^3$ nos pavimentos com lajes nervuradas. Novamente, o pavimento comercial 2 (modelo 1) apresentou consumos um pouco maiores, sendo $86 \text{ kg}/\text{m}^3$ para lajes maciças e $69 \text{ kg}/\text{m}^3$ para lajes nervuradas.

Além disso, foi feita a comparação da quantidade de homens-hora necessários para executar os pavimentos em cada modelo estrutural, e constatou-se que a laje maciça também apresenta resultados maiores neste caso, o que significa que, se for considerado um mesmo número de funcionários por equipe e as mesmas condições de execução nos dois modelos, o pavimento com laje maciça levará mais tempo para ser executado, visto que exige mais mão de obra por metro quadrado. Observou-se que, no pavimento residencial 1, cujo vão médio é pequeno

(aproximadamente 4 metros), os consumos de mão de obra para laje maciça e nervurada são praticamente iguais. Cabe destacar que, na região de estudo, a mão de obra disponível é bastante treinada na execução de laje maciça, pois este modelo foi predominante nos pavimentos durante anos, o que pode acelerar a produção deste modelo em relação ao da laje nervurada. A figura 38 ilustra os resultados obtidos referentes aos consumos de mão de obra em cada pavimento.

Figura 38 – Quantidade de homens-hora por área de pavimento



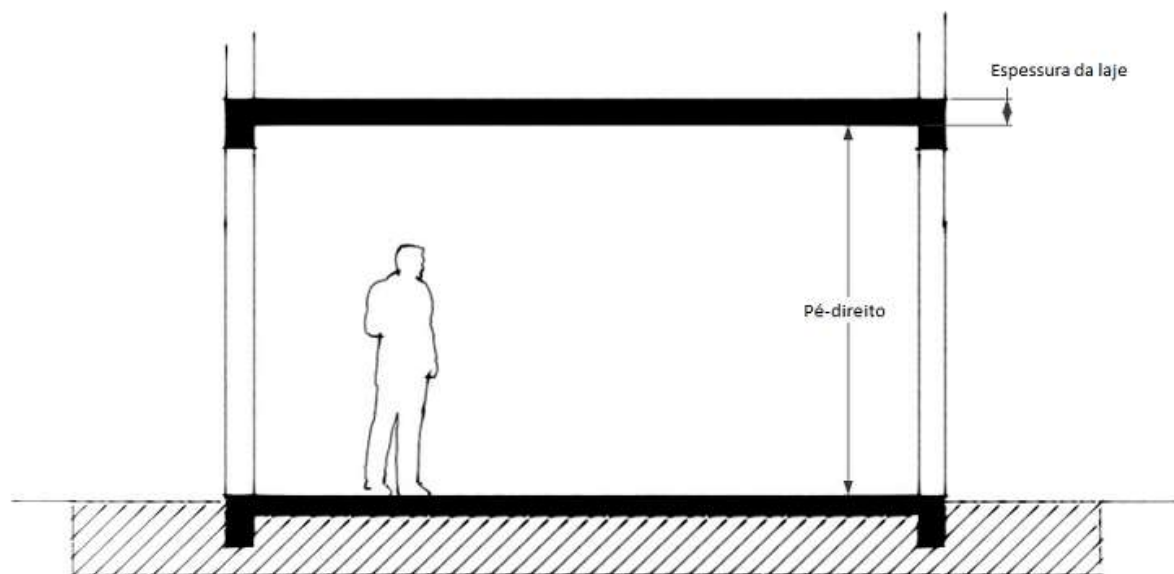
(fonte: elaborado pela autora)

Em relação aos consumos de materiais, as configurações com laje nervurada se mostraram mais vantajosas, principalmente no que se refere à quantidade de aço necessária. Para os consumos de mão de obra, a maior vantagem de lajes nervuradas está nos pavimentos com vãos médios maiores que cinco metros, sendo praticamente igual em pavimentos com vãos menores.

7.3 PÉ-DIREITO DOS PAVIMENTOS

Outro aspecto importante a ser considerado para comparação entre os dois sistemas é o pé-direito dos pavimentos. Entende-se por pé-direito a distância vertical medida entre o piso acabado e a parte inferior do teto (forro) de um ambiente, conforme ilustrado na figura 39.

Figura 39 – Pé-direito de um pavimento



(fonte: elaborada pela autora)

Neste caso, para os pavimentos calculados, o pé-direito disponível nos modelos com laje nervurada será sempre inferior ao da laje maciça, visto que a altura total exigida para as lajes nervuradas foi superior em todos os modelos. O quadro 33 mostra a espessura encontrada para as lajes, especificando a maior no caso das lajes maciças, e o pé-direito útil disponível no pavimento, que foi obtido descontando-se a espessura da laje da altura do andar.

Quadro 33 – Comparação entre os pés-direitos dos pavimentos

Pavimento	Tipo de Laje	Altura do andar no projeto arquitetônico	Altura da maior viga do pavimento	Altura do andar exigida pelo projeto estrutural	Espessura total das lajes	Pé-direito disponível
<i>Comercial 1</i>	Maciça	3,00 m	60 cm	3,00 m	14 cm	2,86 m
	Nervurada	3,00 m	60 cm	3,00 m	25 cm	2,75 m
<i>Comercial 2 (Modelo 1)</i>	Maciça	3,00 m	90 cm	3,50 m	21 cm	3,29 m
	Nervurada	3,00 m	70 cm	3,30 m	35 cm	2,95 m
<i>Comercial 2 (Modelo 2)</i>	Maciça	3,00 m	60 cm	3,00 m	14 cm	2,86 m
	Nervurada	3,00 m	60 cm	3,00 m	25 cm	2,75 m
<i>Residencial 1</i>	Maciça	2,70 m	50 cm	2,70 m	14 cm	2,56 m
	Nervurada	2,70 m	50 cm	2,70 m	20 cm	2,50 m

(fonte: elaborado pela autora)

Observando o quadro 33, percebe-se que o pé-direito útil para as lajes nervuradas é inferior se comparado ao dos pavimentos com laje maciça. É importante destacar que o pavimento comercial 2 (modelo 1), que possui os maiores vãos nas lajes, apesar de também apresentar um pé-direito inferior no modelo com laje nervurada, exige uma altura total maior para o andar no pavimento com laje maciça, como consequência da altura exigida para as vigas no projeto estrutural. Apenas nesse caso, a altura exigida para cada andar é maior no modelo com laje maciça.

Assim, pode-se concluir que, em relação ao pé-direito da edificação, as lajes maciças apresentam vantagem na maioria dos casos, permitindo um pé-direito útil maior, sem alterar a altura de cada andar. Caso se queira obter o mesmo pé-direito útil para os dois modelos, a altura total de cada andar terá que ser aumentada nos pavimentos com lajes nervuradas, o que irá resultar em uma altura total maior para a edificação. Dependendo do número de andares do edifício e do código de obras vigentes, tal aumento pode significar a perda de um andar no edifício, o que é muito prejudicial, principalmente em relação aos aspectos econômicos.

8 ANÁLISE FINAL E CONCLUSÕES

Ao se compararem os dois modelos estruturais propostos neste trabalho, percebeu-se que a laje nervurada apresentou as maiores vantagens em relação a consumos de materiais e mão de obra, bem como custos globais de estrutura, nas configurações aqui propostas e com as condições estabelecidas. Tais vantagens se tornam ainda maiores quando se aumentam os vãos das lajes, já que, nestes casos, configurações com lajes maciças exigem elementos estruturais com grandes dimensões, o que pode até inviabilizar a execução do pavimento.

No entanto, quando se fala em pé-direito útil das edificações, as lajes nervuradas apresentam desvantagem em relação às maciças, visto que a altura total das lajes nervuradas é maior. Apesar de apresentarem uma altura total elevada, as lajes nervuradas possuem uma mesa de concreto com uma espessura que pode dificultar a passagem das tubulações, problema que não ocorre nas maciças, cuja espessura mínima é de oito centímetros. Além disso, devido ao sistema construtivo adotado na região de estudo, as lajes nervuradas têm maior dependência do ritmo de execução dos pavimentos, devido à necessidade da locação de materiais, o que pode ser prejudicial quando ocorrem problemas que afetem a produtividade, como atraso no fornecimento de materiais, escassez de mão de obra, problemas com equipamentos, entre outros.

Por isso, antes de adotar uma ou outra solução estrutural em determinado projeto, é importante que o engenheiro responsável faça, além da análise estrutural, uma análise das condições do mercado no momento da execução, visto que os fatores construtivos podem tornar um ou outro pavimento mais vantajoso.

Como sugestões para trabalhos futuros, indica-se uma análise sobre o prazo de execução dos pavimentos em cada modelo estrutural, com a definição do número de equipes e de funcionários por equipe, além da comparação de pavimentos com vãos médios diferentes dos utilizados neste trabalho, e para modelos estruturais diferentes, como, por exemplo, lajes nervuradas lisas. Sugere-se, também, a utilização de prédios mais altos nos quais seja considerada a ação do vento, além de uma avaliação dos consumos e custos relativos também aos pilares.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T. **Análise de alternativas para edifícios em concreto armado**. 1998. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1999.
- ARAÚJO, A. R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 132 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia e Tecnologia, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.
- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014a. v. 2.
- _____. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014b. v. 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ATEX BRASIL. **Laje nervurada**. Lagoa Santa, [2015]. Disponível em: <<http://atex.net.br/LajeNervurada>>. Acesso em: 05 maio 2015.
- BARROS, M. M. S. B; MELHADO, S, B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo, 1998. Apostila da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios I da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2014.
- CAMPOS FILHO, A. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre, 2014. Apostila da disciplina de Concreto Armado II da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: < <http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112/lajes.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2014.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013. v. 2.
- FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto armado**. 1 ed. (7 tiragem). São Paulo: Pini, 1995 (tiragem 2007).
- MULTIPLUS Computação Gráfica. **Curso Prático Interativo – Cypecad**. São Paulo, 2014.
- SILVA, A. R. **Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado**. 2002. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. 13 ed. São Paulo: Pini, 2008.
- TCPO. **Tabelas de composições de preços para orçamentos**. 14 ed. São Paulo: Pini, 2012.

APÊNDICE A – Composições de custos dos serviços

ARMADURA CA 60B BITOLA 5MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,122		R\$ 0,54	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,070		R\$ 0,38	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	15,200	R\$ 0,76		
AÇO CA60 5MM	KG	R\$ 5,30	1,100	R\$ 5,83		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,020	R\$ 0,14		
SUB-TOTAIS				R\$ 6,73	R\$ 0,92	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,92	129,34		R\$ 1,19	
TOTAIS				R\$ 6,73	R\$ 2,10	R\$ 8,83

ARMADURA CA 50A BITOLA 6.3MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,140		R\$ 0,62	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,080		R\$ 0,43	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	11,400	R\$ 0,57		
AÇO CA50 6,3MM	KG	R\$ 5,50	1,100	R\$ 6,05		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,025	R\$ 0,17		
SUB-TOTAIS				R\$ 6,79	R\$ 1,05	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,05	129,34		R\$ 1,36	
TOTAIS				R\$ 6,79	R\$ 2,41	R\$ 9,20

ARMADURA CA 50A BITOLA 8MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,140		R\$ 0,62	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,080		R\$ 0,43	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	11,400	R\$ 0,57		
AÇO CA50 8MM	KG	R\$ 5,80	1,100	R\$ 6,38		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,025	R\$ 0,17		
SUB-TOTAIS				R\$ 7,12	R\$ 1,05	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,05	129,34		R\$ 1,36	
TOTAIS				R\$ 7,12	R\$ 2,41	R\$ 9,53

ARMADURA CA50A BITOLA 10MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,140		R\$ 0,62	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,080		R\$ 0,43	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	11,400	R\$ 0,57		
AÇO CA50 10MM	KG	R\$ 5,90	1,100	R\$ 6,49		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,025	R\$ 0,17		
SUB-TOTAIS				R\$ 7,23	R\$ 1,05	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,05	129,34		R\$ 1,36	
TOTAIS				R\$ 7,23	R\$ 2,41	R\$ 9,64

ARMADURA CA50A BITOLA 12.5MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,140		R\$ 0,62	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,080		R\$ 0,43	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	11,400	R\$ 0,57		
AÇO CA50 12,5MM	KG	R\$ 4,65	1,100	R\$ 5,12		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,025	R\$ 0,17		
SUB-TOTAIS				R\$ 5,86	R\$ 1,05	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,05	129,34		R\$ 1,36	
TOTAIS				R\$ 5,86	R\$ 2,41	R\$ 8,27

ARMADURA CA50A BITOLA 16MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,228		R\$ 1,01	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,130		R\$ 0,70	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	1,820	R\$ 0,09		
AÇO CA50 16MM	KG	R\$ 4,49	1,100	R\$ 4,94		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,034	R\$ 0,23		
SUB-TOTAIS				R\$ 5,26	R\$ 1,71	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,71	129,34		R\$ 2,21	
TOTAIS				R\$ 5,26	R\$ 3,92	R\$ 9,18

ARMADURA CA50A BITOLA 20MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,228		R\$ 1,01	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,130		R\$ 0,70	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	1,820	R\$ 0,09		
AÇO CA50 20MM	KG	R\$ 4,37	1,100	R\$ 4,81		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,034	R\$ 0,23		
SUB-TOTAIS				R\$ 5,13	R\$ 1,71	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,71	129,34		R\$ 2,21	
TOTAIS				R\$ 5,13	R\$ 3,92	R\$ 9,05

ARMADURA CA50A BITOLA 25MM

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,228		R\$ 1,01	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,130		R\$ 0,70	
ESPAÇADOR DE ARMADURA	UNIDADE	R\$ 0,05	1,820	R\$ 0,09		
AÇO CA50 25MM	KG	R\$ 4,26	1,100	R\$ 4,69		
ARAME RECOZIDO 1,25MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,034	R\$ 0,23		
SUB-TOTAIS				R\$ 5,01	R\$ 1,71	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,71	129,34		R\$ 2,21	
TOTAIS				R\$ 5,01	R\$ 3,92	R\$ 8,93

CONCRETO DOSADO EM CENTRAL fck = 30MPa

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
CONCRETO	M ³	304,78	1,000	R\$ 304,78		
SUB-TOTAIS				R\$ 304,78	R\$ 0,00	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,00	129,34		R\$ 0,00	
TOTAIS				R\$ 304,78	R\$ 0,00	R\$ 305

CONCRETO - LANÇAMENTO E ADENSAMENTO

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
PEDREIRO	H	R\$ 5,40	1,650		R\$ 8,91	
SERVENTE	H	R\$ 4,00	4,500		R\$ 18,00	
VIBRADOR DE IMERSÃO, ELÉTRICO, POTÊNCIA 1 HP - VIDA ÚTIL 20.000 H	H PROD	R\$ 35,76	0,650	R\$ 8,95		
SUB-TOTAIS				R\$ 8,95	R\$ 26,91	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 26,9	129,34		R\$ 34,81	
TOTAIS				R\$ 8,95	R\$ 61,72	R\$ 70,7

**FÔRMA PARA LAJES, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM -
FABRICAÇÃO**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,300		R\$ 1,33	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	1,200		R\$ 6,48	
CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, ESPESSURA 12 MM	M ²	R\$ 21,07	1,250	R\$ 26,34		
PONTALETE (SEÇÃO TRANVERSAL 3 X 3" / ALTURA: 75 MM / LARGURA: 75 MM)	M	R\$ 7,89	2,600	R\$ 20,51		
TÁBUA DE CEDRINHO (ESP. 25MM / LARGURA: 200MM / SEÇÃO TRANVERSAL 1 X 8")	M	R\$ 12,35	1,300	R\$ 16,06		
SUB-TOTAIS				R\$ 62,91	R\$ 7,81	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 7,81	129,34		R\$ 10,10	
TOTAIS				R\$ 62,91	R\$ 17,90	R\$ 80,8
TOTAIS PARA 5 REAPROVEITAMENTOS (CONSIDERANDO PERDA DE 10%)						R\$ 17,8

**FÔRMA PARA LAJES, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM -
MONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,074		R\$ 0,33	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,297		R\$ 1,60	
DESMOLDANTE DE FÔRMAS PARA CONCRETO	L	R\$ 10,30	0,020	R\$ 0,21		
PREGO COM CABEÇA 15 X 15 (COMPRIMENTO: 34,5MM / DIÂMETRO: 2,40MM)	KG	R\$ 8,90	0,300	R\$ 2,67		
SUB-TOTAIS				R\$ 2,88	R\$ 1,93	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,93	129,34		R\$ 2,50	
TOTAIS				R\$ 2,88	R\$ 4,43	R\$ 7,30

**FÔRMA PARA LAJES, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM -
DESMONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,032		R\$ 0,14	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,127		R\$ 0,69	
SUB-TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 0,83	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,83	129,34		R\$ 1,07	
TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 1,90	R\$ 1,90

**FÔRMA PARA VIGAS, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM
- FABRICAÇÃO**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,300		R\$ 1,33	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	1,200		R\$ 6,48	
CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, ESPESSURA 12 MM	M ²	R\$ 21,07	1,200	R\$ 25,28		
SARRAFO (SEÇÃO TRANSVERSAL: 1 X 3" / ESPESSURA: 25 MM / ALTURA: 75 MM)	M	R\$ 6,10	4,000	R\$ 24,40		
PONTALETE (SEÇÃO TRANSVERSAL 3 X 3" / ALTURA: 75 MM / LARGURA: 75 MM)	M	R\$ 7,89	3,200	R\$ 25,25		
PREGO COM CABEÇA 17 X 21 (COMPRIMENTO: 48 MM / DIÂMETRO: 3 MM)	KG	R\$ 8,90	0,200	R\$ 1,78		
SUB-TOTAIS				R\$ 76,71	R\$ 7,81	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 7,81	129,340		R\$ 10,10	
TOTAIS				R\$ 76,71	R\$ 17,90	R\$ 94,6
TOTAIS PARA 5 REAPROVEITAMENTOS (CONSIDERANDO PERDA DE 10%)						R\$ 20,8

**FÔRMA PARA VIGAS, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM
- MONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,139		R\$ 0,61	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,554		R\$ 2,99	
DESMOLDANTE DE FÔRMAS PARA CONCRETO	L	R\$ 10,30	0,020	R\$ 0,21		
PREGO COM CABEÇA DUPLA 17 X 27 (COMPRIMENTO: 62,1MM / DIÂMETRO: 3MM)	KG	R\$ 10,90	0,100	R\$ 1,09		
SUB-TOTAIS				R\$ 1,30	R\$ 3,61	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 3,61	129,340		R\$ 4,66	
TOTAIS				R\$ 1,30	R\$ 8,27	R\$ 9,57

**FÔRMA PARA VIGAS, COM CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 12MM
- DESMONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,059		R\$ 0,26	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,238		R\$ 1,29	
SUB-TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 1,55	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,55	129,340		R\$ 2,00	
TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 3,55	R\$ 3,55

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA VIGAS DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - FABRICAÇÃO**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,063		R\$ 0,28	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,251		R\$ 1,36	
PONTALETE 3 X 3" (ALTURA: 75MM / LARGURA: 75MM)	M	R\$ 7,89	4,150	R\$ 32,74		
SARRAFO 1" X 3" (ALTURA: 75MM / ESPESSURA: 25MM)	M	R\$ 6,10	1,100	R\$ 6,71		
TÁBUA 1" X 6" (ESPESSURA: 25MM / LARGURA: 150MM)	M	R\$ 10,45	2,000	R\$ 20,90		
PREGO COM CABEÇA 17 X 21 (COMPRIMENTO 48 MM / DIÂMETRO: 3MM)	KG	R\$ 8,90	0,060	R\$ 0,53		
SUB-TOTAIS				R\$ 60,89	R\$ 1,63	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,63	129,340		R\$ 2,11	
TOTAIS				R\$ 60,89	R\$ 3,75	R\$ 64,63
TOTAIS PARA 5 REAPROVEITAMENTOS (CONSIDERANDO PERDA DE 10%)						R\$ 14,22

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA VIGAS DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - MONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,123		R\$ 0,54	
PREGO COM CABEÇA DUPLA 17 X 27 (COMPRIMENTO 62,1 MM / DIÂMETRO: 3MM)	KG	R\$ 10,90	0,060	R\$ 0,65		
SUB-TOTAIS				R\$ 0,65	R\$ 0,54	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,54	129,340		R\$ 0,70	
TOTAIS				R\$ 0,65	R\$ 1,25	R\$ 1,90

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA VIGAS DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - DESMONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,053		R\$ 0,23	
SUB-TOTAIS					R\$ 0,23	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,23	129,340		R\$ 0,30	
TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 0,54	R\$ 0,54

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - FABRICAÇÃO**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,051		R\$ 0,23	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,205		R\$ 1,11	
PONTALETE 3 X 3" (ALTURA: 75MM / LARGURA: 75MM)	M	R\$ 7,89	2,500	R\$ 19,73		
SARRAFO 1" X 3" (ALTURA: 75MM / ESPESSURA: 25MM)	M	R\$ 6,10	0,360	R\$ 2,20		
TÁBUA 1" X 8" (ESPESSURA: 25MM / LARGURA: 200MM)	M	R\$ 12,35	1,300	R\$ 16,06		
PREGO COM CABEÇA DUPLA 17 X 27 (COMPRIMENTO 62,1 MM / DIÂMETRO: 3MM)	KG	R\$ 10,90	0,030	R\$ 0,33		
SUB-TOTAIS				R\$ 38,30	R\$ 1,33	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 1,33	129,340		R\$ 1,72	
TOTAIS				R\$ 38,30	R\$ 3,06	R\$ 41,4
TOTAIS PARA 5 REAPROVEITAMENTOS (CONSIDERANDO PERDA DE 10%)						R\$ 10,6

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - MONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,020		R\$ 0,09	
CARPINTEIRO	H	R\$ 5,40	0,115		R\$ 0,62	
PREGO COM CABEÇA DUPLA 17 X 27 (COMPRIMENTO 62,1 MM / DIÂMETRO: 3MM)	KG	R\$ 10,90	0,010	R\$ 0,11		
SUB-TOTAIS				R\$ 0,11	R\$ 0,71	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,71	129,340		R\$ 0,92	
TOTAIS				R\$ 0,11	R\$ 1,63	R\$ 1,74

**ESCORAMENTO EM MADEIRA PARA LAJES DE EDIFICAÇÃO, COM
PONTALETES - DESMONTAGEM**

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,009		R\$ 0,04	
SUB-TOTAIS					R\$ 0,04	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,04	129,340		R\$ 0,05	
TOTAIS				R\$ 0,00	R\$ 0,09	R\$ 0,09

ESCORAMENTO METÁLICO PARA VIGAS DE EDIFICAÇÃO, COM PÉ-DIREITO ENTRE 2,00 E 3,20 METROS

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,200		R\$ 0,88	
ESCORA METÁLICA VIGAS (ALTURA ENTRE 2,00 E 3,20 METROS)	LOC/UN/MÊS	R\$ 5,65	1,150	R\$ 6,50		
PONTALETE 3 X 3" (ALTURA: 75MM / LARGURA: 75MM)	M	R\$ 7,89	0,32	R\$ 2,52		
TÁBUA 1" X 6" (ESPESSURA: 25MM / LARGURA: 150MM)	M	R\$ 10,45	0,45	R\$ 4,71		
SUB-TOTAIS				R\$ 13,73	R\$ 0,88	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,88	129,340		R\$ 1,14	
TOTAIS				R\$ 13,73	R\$ 2,03	R\$ 15,8

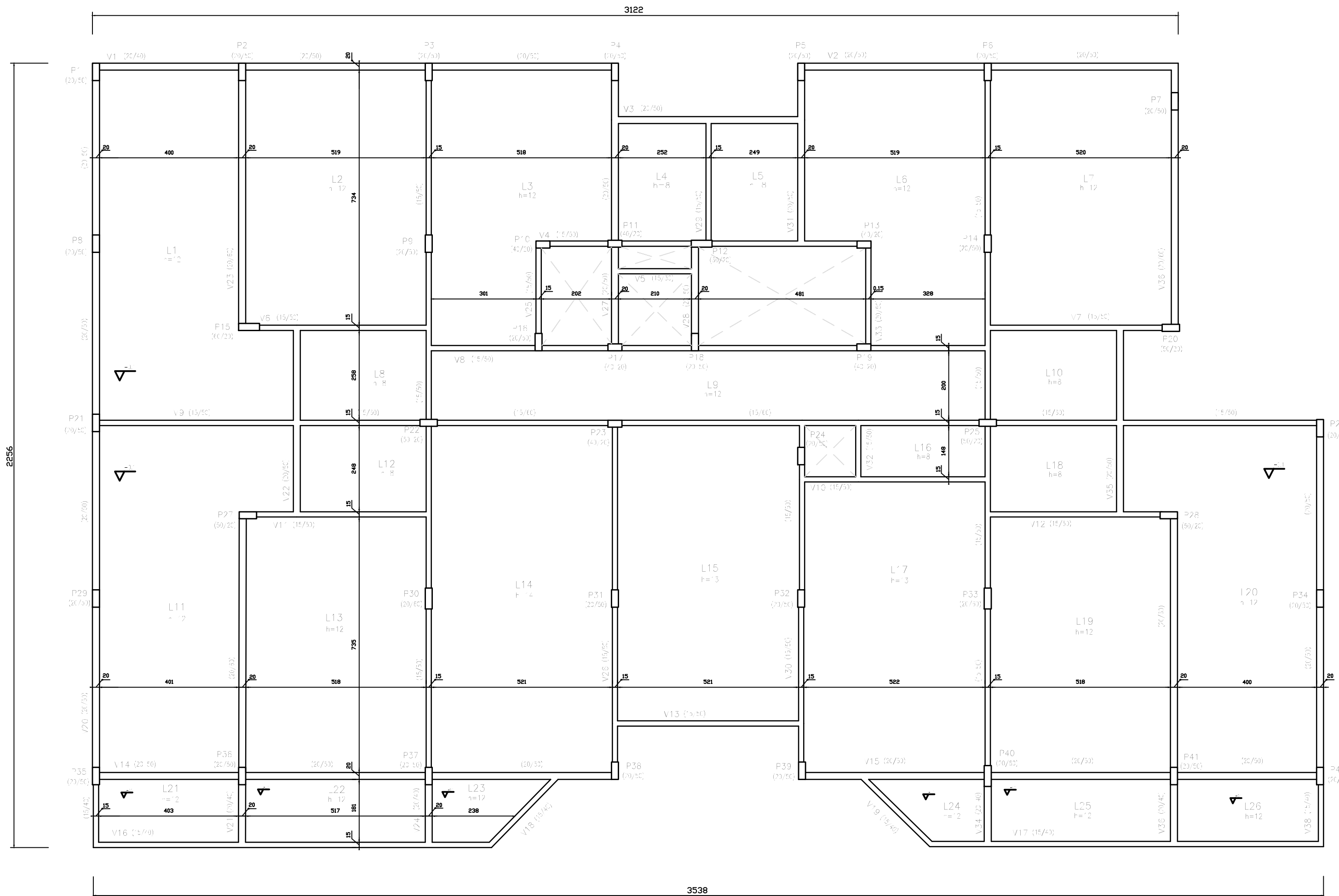
ESCORAMENTO METÁLICO PARA LAJES DE EDIFICAÇÃO, COM PÉ-DIREITO ENTRE 2,00 E 3,20 METROS

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE CARPINTEIRO	H	R\$ 4,42	0,200		R\$ 0,88	
ESCORA METÁLICA LAJES (ALTURA ENTRE 2,00 E 3,20 METROS)	LOC/UN/MÊS	R\$ 4,36	0,850	R\$ 3,71		
PONTALETE 3 X 3" (ALTURA: 75MM / LARGURA: 75MM)	M	R\$ 7,89	1,050	R\$ 8,28		
SUB-TOTAIS				R\$ 11,99	R\$ 0,88	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,88	129,340		R\$ 1,14	
TOTAIS				R\$ 11,99	R\$ 2,03	R\$ 14,02

ARMADURA DE TELA DE AÇO CA60B

INSUMO	UNIDADE	VALOR	COEF.	MATERIAL	MÃO DE OBRA	TOTAL
AJUDANTE DE ARMADOR	H	R\$ 4,42	0,040		R\$ 0,18	
ARMADOR	H	R\$ 5,40	0,020		R\$ 0,11	
TELA DE AÇO CA60 SOLDADA TIPO Q138 (DIÂMETRO DO FIO 4,2MM, MALHA QUADRANGULAR)	KG	7,57	1,030	R\$ 7,80		
ARAME RECOZIDO 1,25 MM 18 BWG	KG	R\$ 6,86	0,010	R\$ 0,07		
SUB-TOTAIS				R\$ 7,87	R\$ 0,28	
LEIS SOCIAIS	%	R\$ 0,28	129,340		R\$ 0,37	
TOTAIS				R\$ 7,87	R\$ 0,65	R\$ 8,52

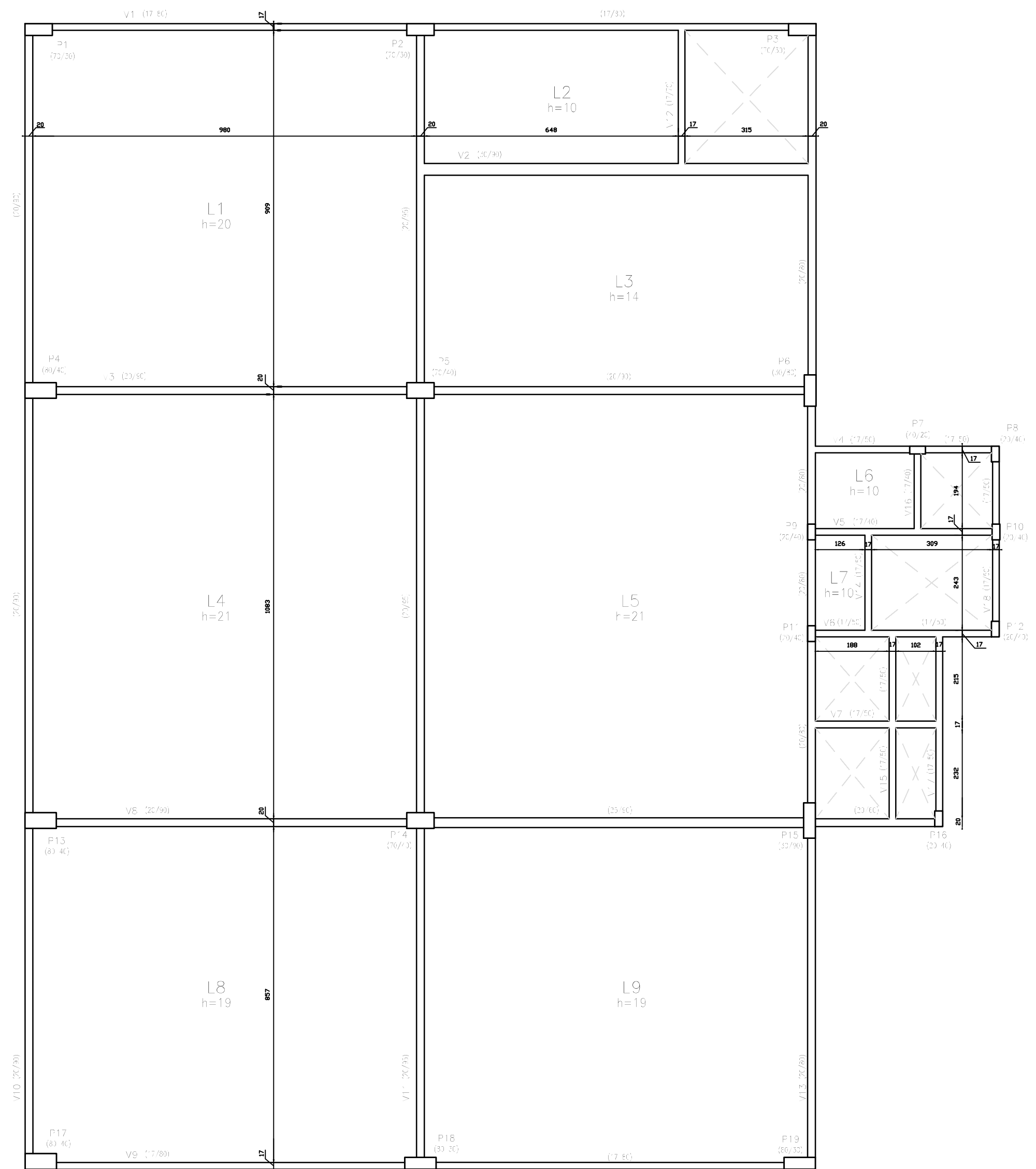
APÊNDICE B – Plantas de fôrmas dos pavimentos com lajes maciças



Piso 1 - Superfície total: 337,50 m²			
Elemento	Formas (m²)	Volume (m³)	Tarçoz (kg)
Lajes	626,25	74,72	4869
Vigas Lado	56,97	30,73	2195
Forma lateral	271,27		
Pilares (Sup. Fôrmas)	173,81	10,26	1381
Total	1028,30	115,71	8455
em kg/m² (m²)	1,00	0,34	12,00

NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
 Pé-direito = 3 metros

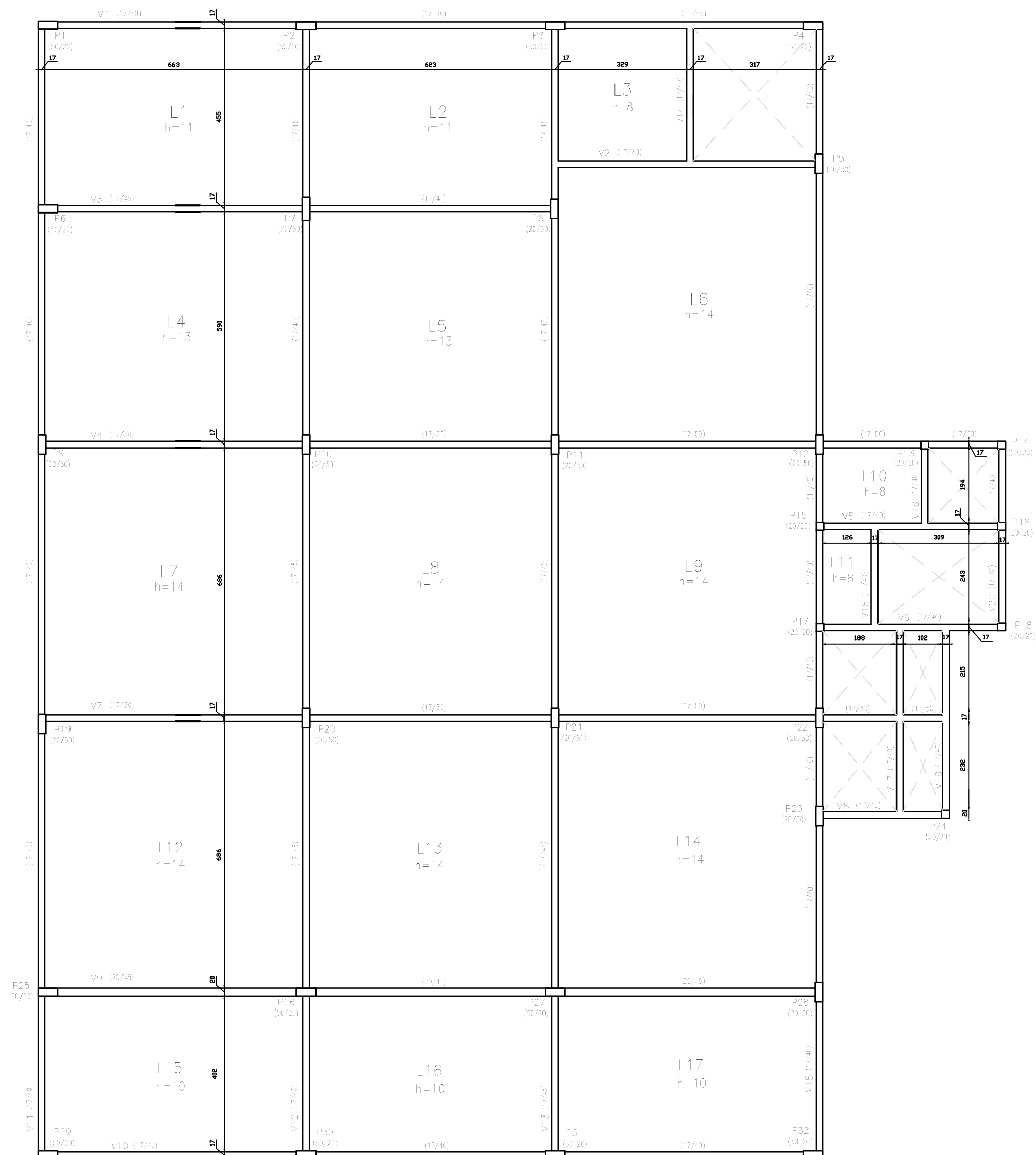
Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
PAVIMENTO COMERCIAL 1 - LAJE MACIÇA PLANTA DE FÔRMAS - PAVIMENTO TIPO		Escala: 1:100	Data: JUNHO/2015
Aluna: SAMANTHA GRAFF	Orientador: João Ricardo Masuero Coorientadora: Virgínia Maria Rosito d'Avila Bessa	01/04	



Piso 1 - Superfície total 334,75 m ²			
Elemento	Fôrmas (m ²)	Al. tre. (m ³)	Barros (kg)
L.A.E.S	559,85	104,45	7404
Massa fôrma	40,20	35,23	4690
Fôrmas Isolat.	285,02		
Placas (Sup. obras)	76,01	7,92	1510
Total	940,08	147,60	13404
Índice (por m ²)	2,806	0,348	22,53

NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 fck = 30 MPa
 Pé-direito = 3,50 metros

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
PAVIMENTO COMERCIAL 2 (MODELO 1) - LAJE MACIÇA PLANTA DE FÔRMAS - PAVIMENTO TIPO		Escala: 1: 100	Data: JUNHO/2015
Aluna: SAMANTHA GRAFF	Orientador: João Ricardo Masuero Coorientadora: Virgínia Maria Rosito d'Avila Bessa	02/04	

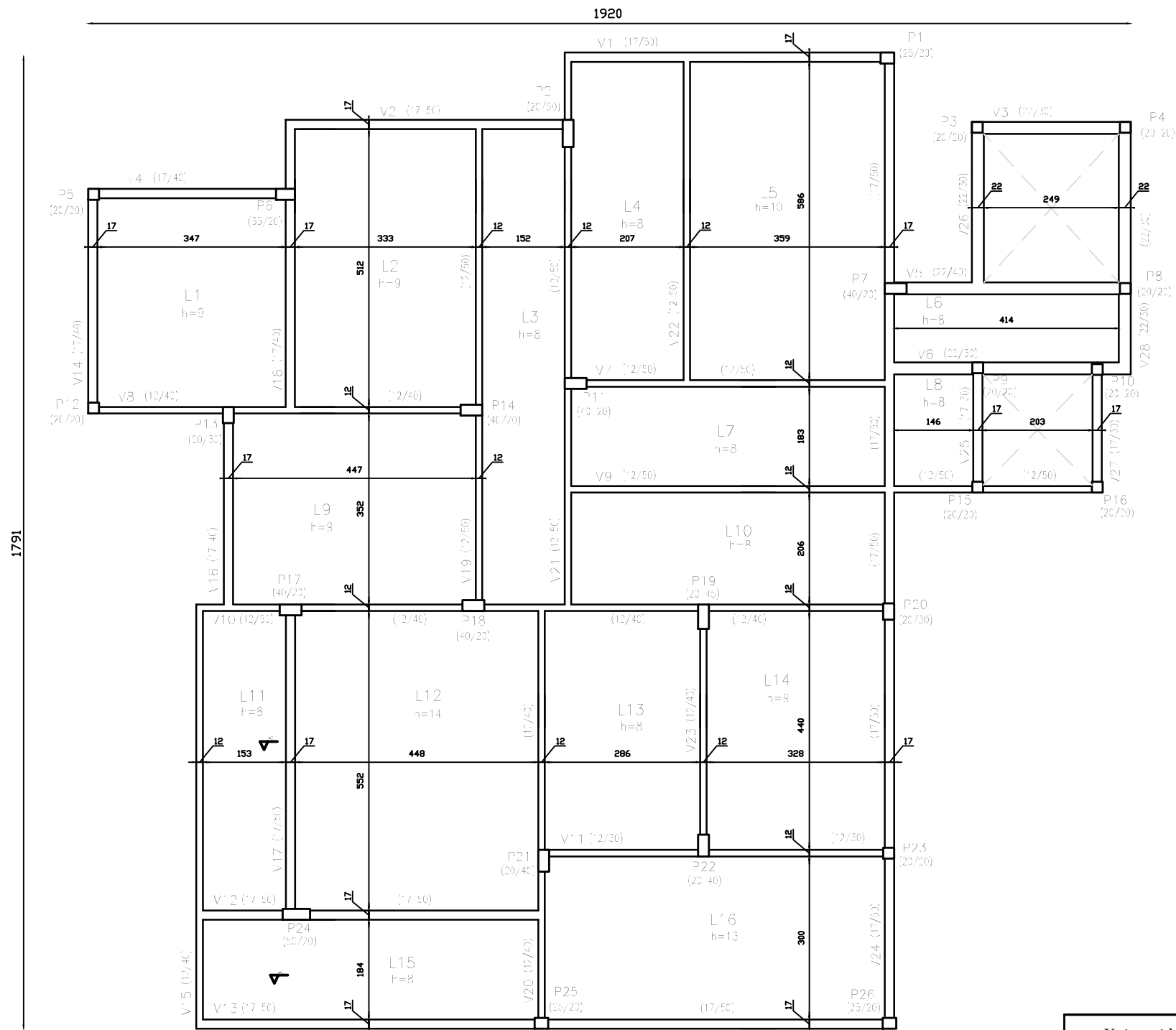


Plano 1 - Superfície total: 304,75 m²

Elemento	Fôrmas (m ²)	Volume (m ³)	Barros (pa)
Lajes	545,63	69,60	4477
Vigas: Lado	44,93	21,23	2706
Forma lateral	163,73		
Pilares (Sup. áreas)	105,14	7,18	1292
Total	859,43	97,98	8665
Índices (pa/m ²)	1,450	0,165	14,22

NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 fck = 30 MPa
 Pé-direito = 3 metros

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
PAVIMENTO COMERCIAL 2 (MODELO 2) - LAJE MACIÇA PLANTA DE FÔRMAS - PAVIMENTO TIPO		Escala: 1: 100	Data: JUNHO/2015
Aluna: SAMANTHA GRAFF	Orientador: João Ricardo Masuero Coorientadora: Virgínia Rosito Maria d'Ávila Bessa		03/04



Plano 1 - Superfície total: 270,70 m²

Elemento	Área (m ²)	Volume (m ³)	Escorras (kg)
Lajes	213,26	20,50	1282
Vigas fundo	25,57	11,92	1092
Forma lateral	126,40		
Fibras (Sup. Fôrmas)	59,09	3,60	536
Total	424,32	36,02	2910
Índices (por m ²)	1,765	0,130	12,0

NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 fck = 30 MPa
 Pé-direito = 2,70 metros

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
 Escola de Engenharia
 Departamento de Engenharia Civil

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PAVIMENTO RESIDENCIAL 1 - LAJE MACIÇA
 PLANTA DE FÔRMAS - PAVIMENTO TIPO

Escala:
 1:100

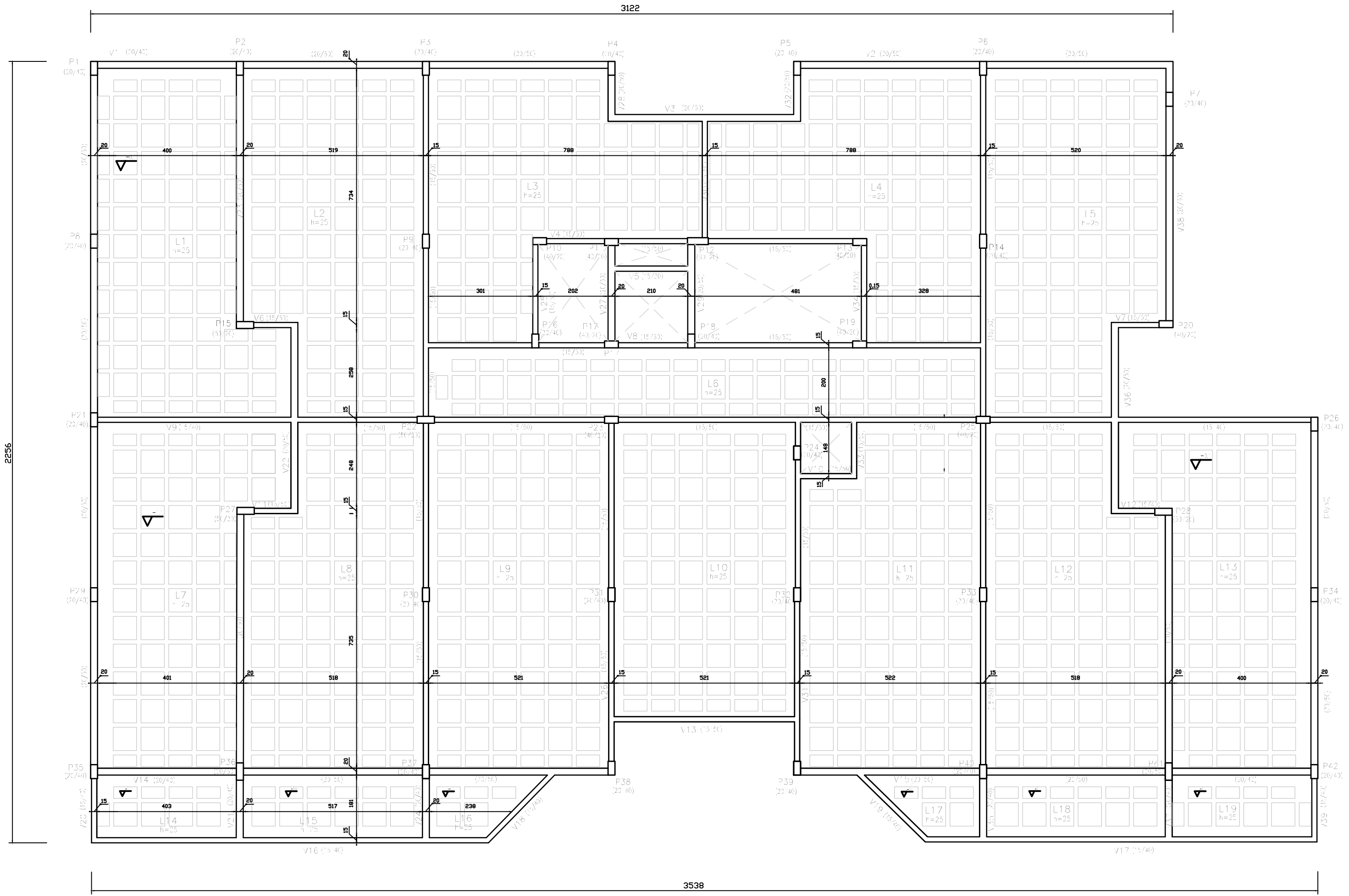
Data:
 JUNHO/2015

Aluna:
 SAMANTHA GRAFF

Orientador: João Ricardo Masuero
 Coorientadora: Virgínia Rosito Maria d'Avila Bessa

04/04

APÊNDICE C – Plantas de fôrmas dos pavimentos com lajes nervuradas



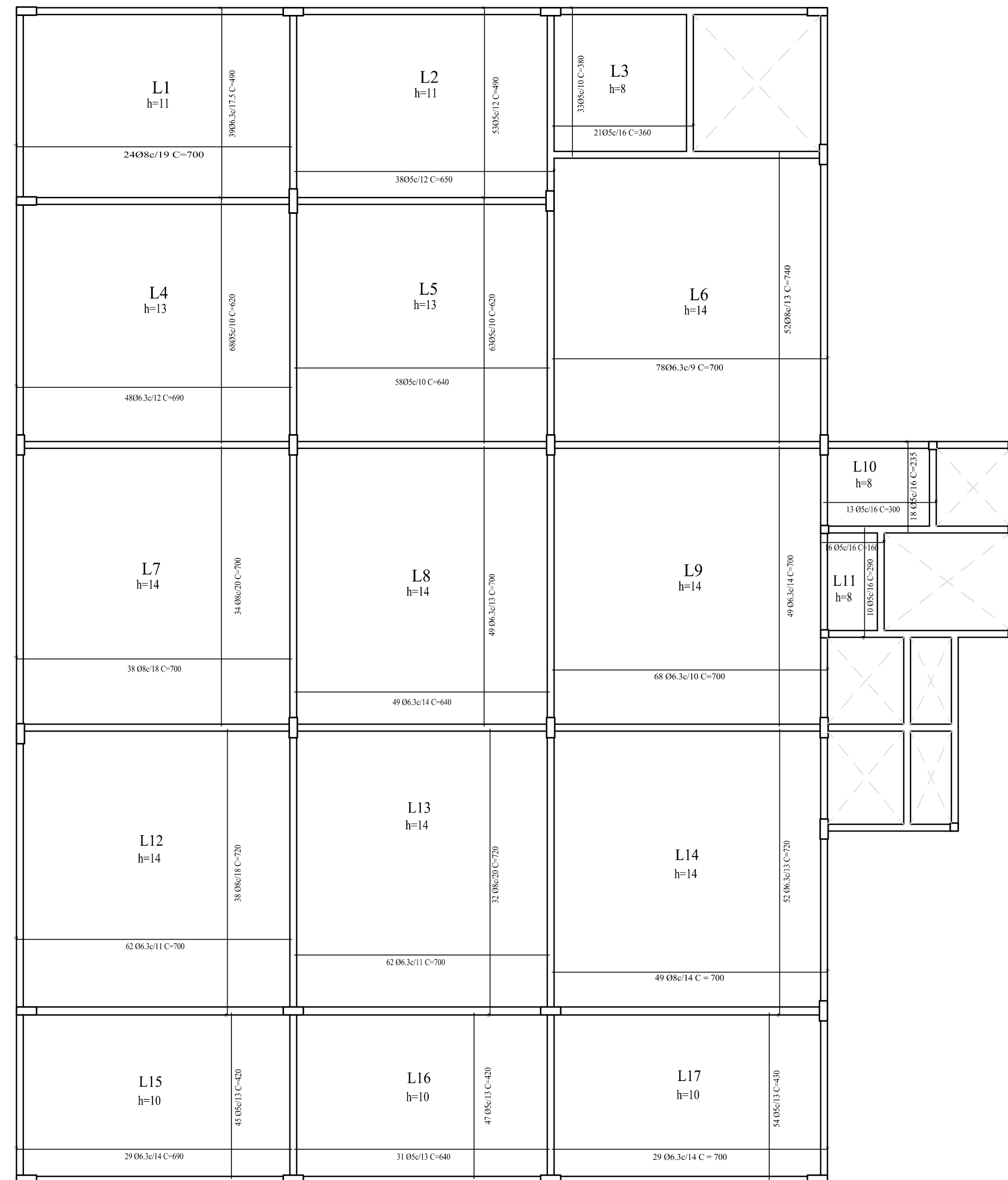
Piso 1 - Área total: 687,50 m ²			
Elemento	Quantidade	Unidade	Área (m ²)
LAJES	1	m ²	687,50
Vigas: Lado	53,36	m	168,95
Fôrma: Lado	186,86	m ²	186,86
Colunas: Cap. Lado	12,48	m ²	12,48
Total	363,20		1057,79
Índice: Cap. m ²	1,45		8,9

NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 fck = 30 MPa
 Pé-direito = 3 metros

Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
PAVIMENTO COMERCIAL 1 - LAJE NERVURADA PLANTA DE FÔRMAS - PAVIMENTO TIPO		Escala: 1:100	Data: JUNHO/2015
Aluna: SAMANTHA GRAFF	Orientador: João Ricardo Masuero Coorientadora: Virgínia Rosito Maria d'Ávila Bessa		01/04

APÊNDICE D – Exemplo de plantas de armaduras das lajes

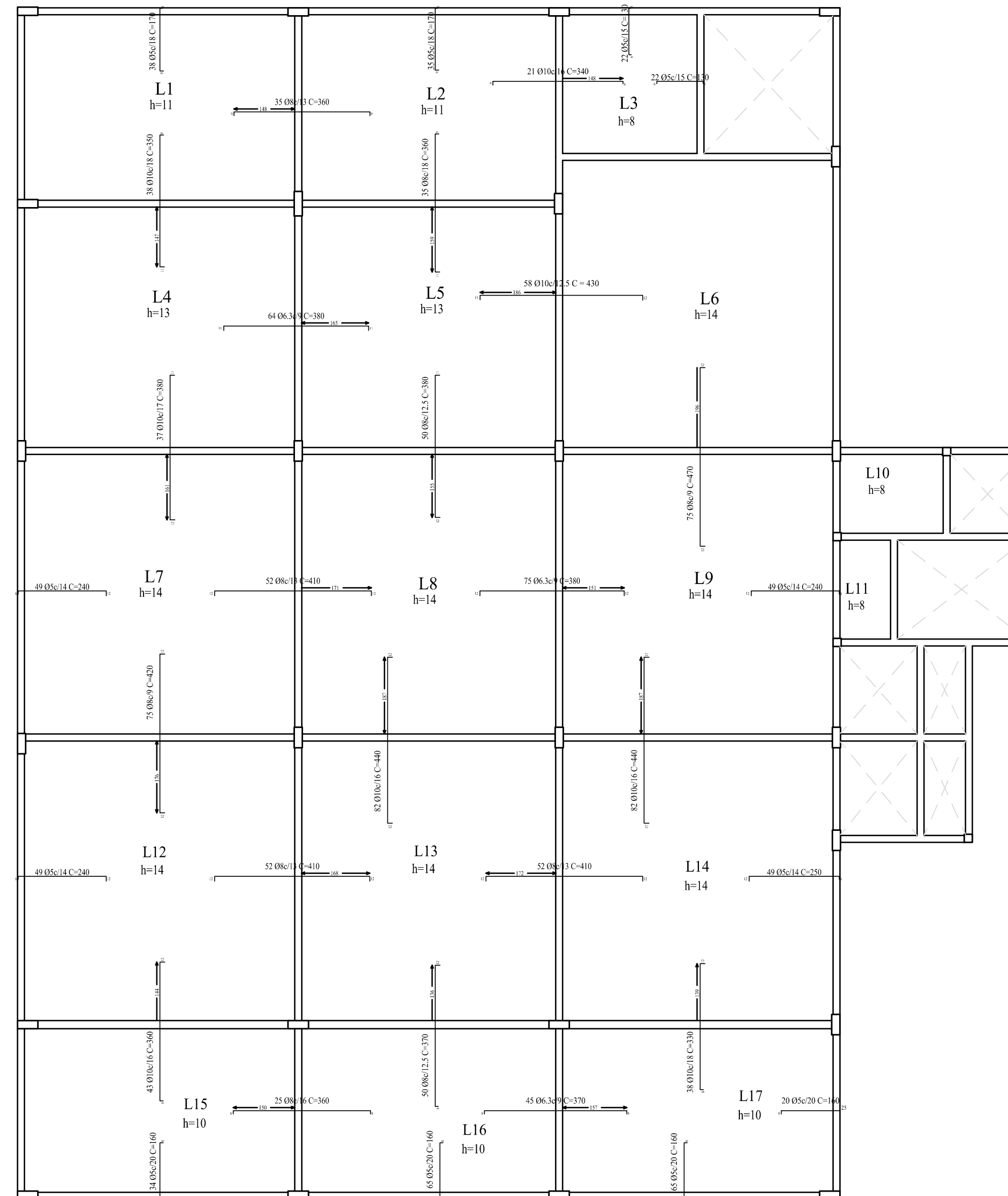
ARMADURA INFERIOR (POSITIVA)



Resumo Aço P. Tipo	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal inferior			
CA-50 Ø6.3	2814.2	758	
CA-60 Ø8	776.5	337	1095
CA-60 Ø5	956.8	165	165
Total			1260

Resumo Aço P. Tipo	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura transversal inferior			
CA-50 Ø6.3	1251.5	337	
Ø8	1126.8	489	826
CA-60 Ø5	1920.7	332	332
Total			1158

ARMADURA SUPERIOR (NEGATIVA)



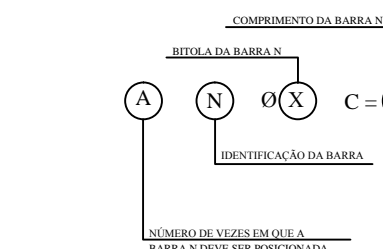
Resumo Aço Piso 1	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura longitudinal superior			
CA-50 Ø6.3	694.7	187	
Ø8	855.6	372	
Ø10	319.6	217	776
CA-60 Ø5	535.9	93	93
Total			869

Resumo Aço Piso 1	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Armadura transversal superior			
CA-50 Ø8	1168.5	508	
CA-60 Ø10	927.5	629	1137
CA-60 Ø5	311.1	54	54
Total			1191

DETALHAMENTO DAS ARMADURAS DAS LAJES

Utilizando Classe Ambiental II
 Cobrimento nas lajes - face inferior: 2,5cm
 Cobrimento nas lajes - face superior: 1,5cm
 Cobrimento nas vigas: 3,0cm

PADRÃO DE REPRESENTAÇÃO DAS ARMADURAS



NOTAS:

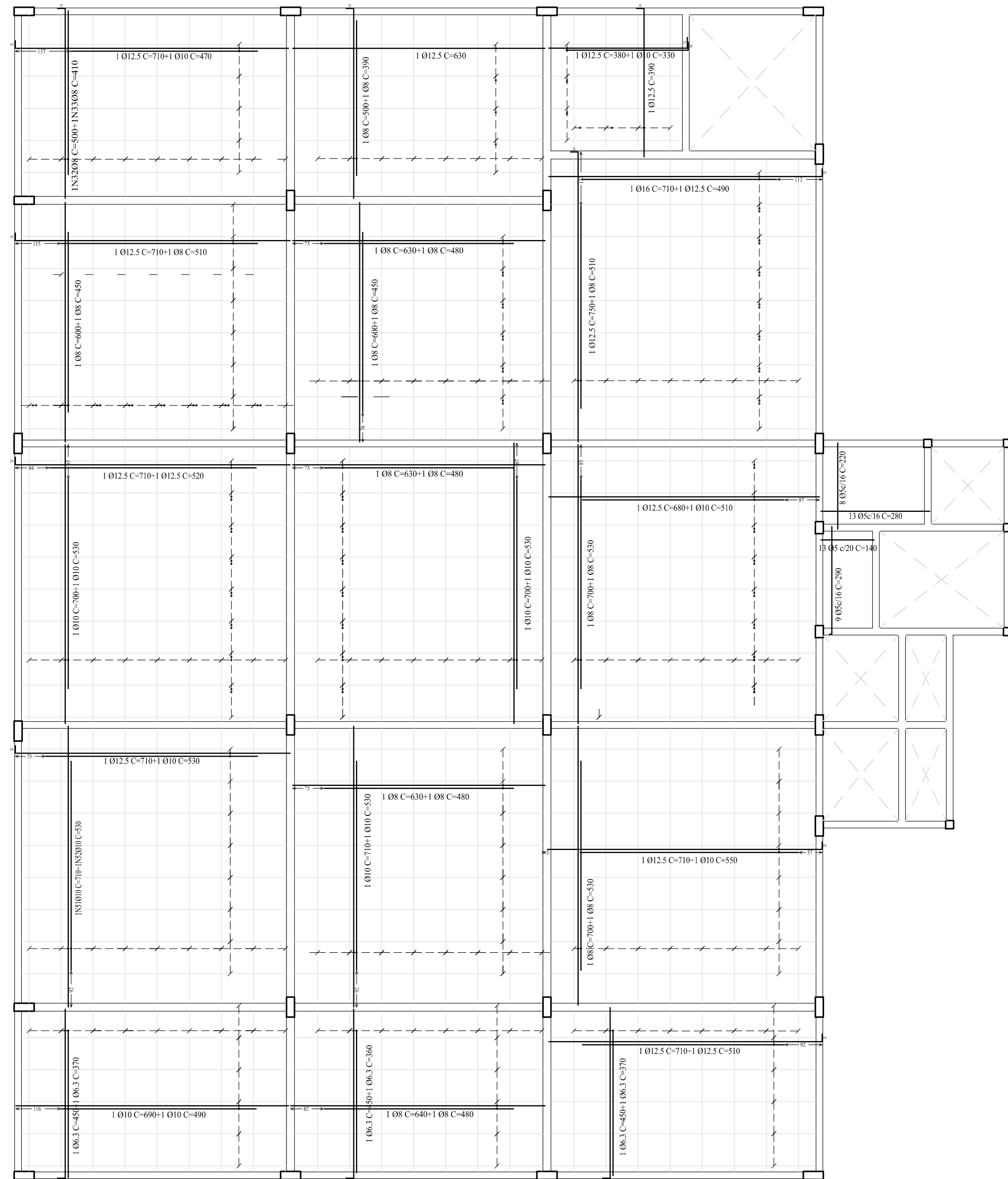
Dimensões em centímetros

fck = 30 MPa

Pé-direito = 3 metros

Obs.: As armaduras negativas de distribuição não estão representadas em planta. Utilizar Ø5 c/21 ao longo do comprimento da armadura negativa.

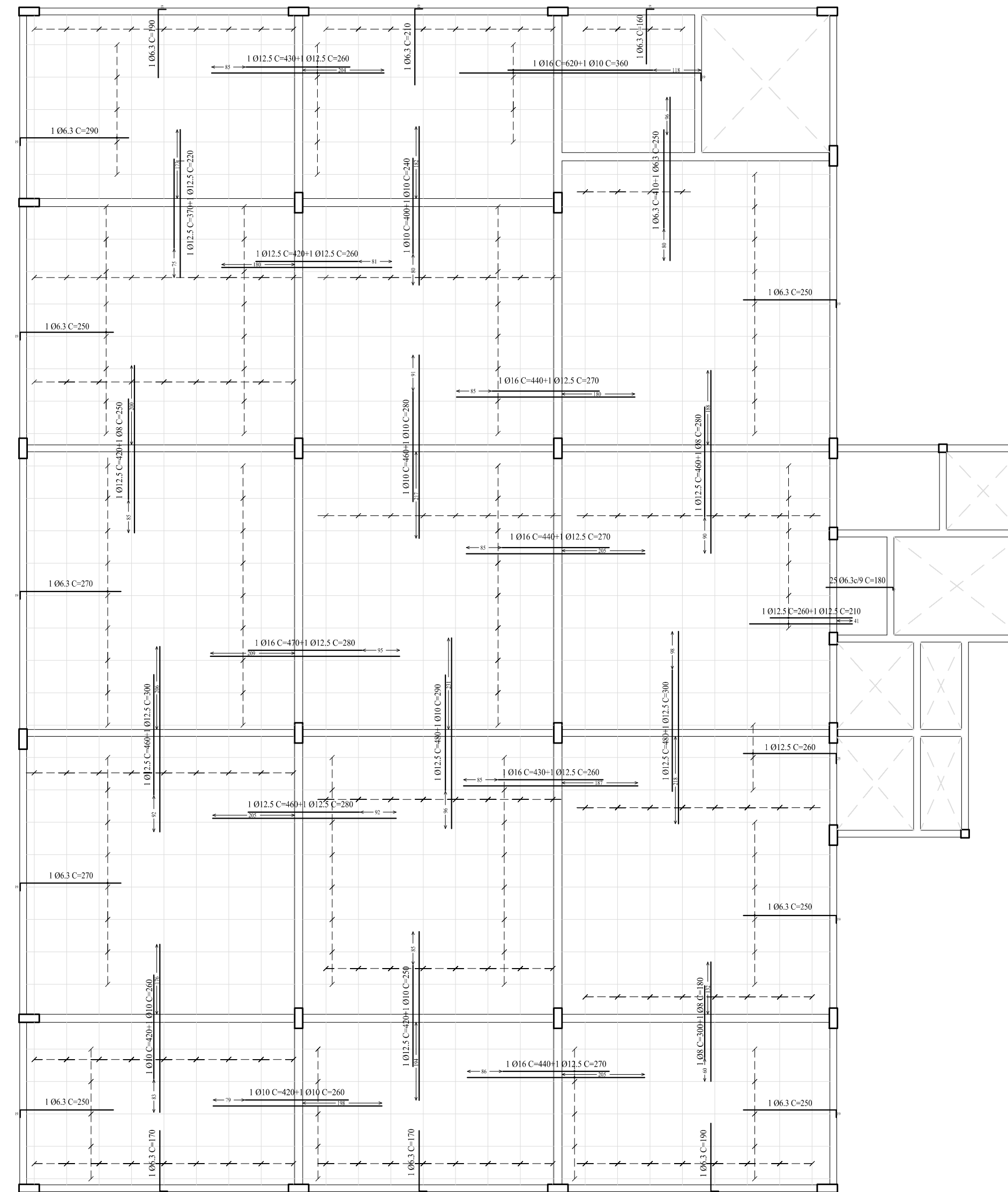
ARMADURA INFERIOR (POSITIVA)



Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 1			
Armadura longitudinal inferior			
CA-50	Ø6.3	71.6	19
	Ø8	221.1	96
	Ø10	325.5	221
	Ø12.5	503.1	533
	Ø16	21.3	37
CA-60	Ø5	36.4	6
Total			914

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 1			
Armadura transversal inferior			
CA-50	Ø6.3	175.6	47
	Ø8	284.2	123
	Ø10	339.2	230
	Ø12.5	262.9	279
CA-60	Ø5	65.7	11
Total			690

ARMADURA SUPERIOR (NEGATIVA)



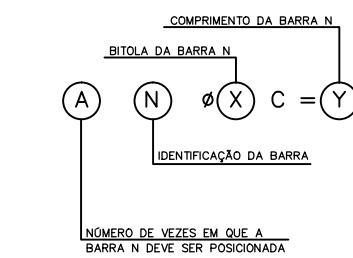
Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 1			
Armadura longitudinal superior			
CA-50	Ø6.3	220.7	59
	Ø8	61.9	27
	Ø10	124.0	84
	Ø12.5	186.4	197
	Ø16	209.2	363
	Ø20	23.1	63
Total			794

Resumo Aço	Comp. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Piso 1			
Armadura transversal superior			
CA-50	Ø6.3	113.8	31
	Ø8	101.9	44
	Ø10	156.0	106
	Ø12.5	324.4	344
	Ø16	50.5	88
CA-60	Ø5.0	60.5	7
Total			620

DETALHAMENTO DAS ARMADURAS DAS LAJES

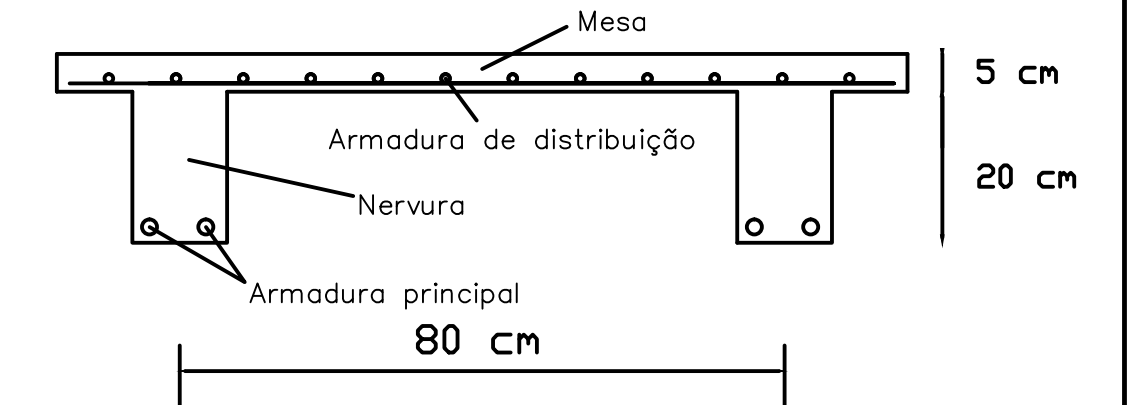
Utilizando Classe Ambiental II
 Cobrimento nas lajes - face inferior: 2,5cm
 Cobrimento nas lajes - face superior: 1,5cm
 Cobrimento nos vigas: 3,5cm

PADRÃO DE REPRESENTAÇÃO DAS ARMADURAS



NOTAS:
 Dimensões em centímetros
 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
 Pé-direito = 3 metros

DETALHAMENTO DAS NERVURAS



Universidade Federal do Rio Grande do Sul Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil		TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
PAVIMENTO COMERCIAL 2 (MODELO 2) - LAJE NERVURADA PLANTA DE ARMADURA DAS LAJES PAVIMENTO TIPO		Escala: 1:100	Data: JUNHO/2015
Aluna: SAMANTHA GRAFF	Orientador: João Ricardo Masuero Coorientadora: Virgínia Rosito Maria d'Ávila Bessa	02/02	