

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ FELIPE RICHTER GULARTE

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DE UMA EDIFICAÇÃO COM
DIFERENTES SISTEMAS DE LAJE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO - PR
2018

JOSÉ FELIPE RICHTER GULARTE

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS DE UMA EDIFICAÇÃO COM
DIFERENTES SISTEMAS DE LAJE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye.

TOLEDO - PR

2018



Ministério da Educação



Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Câmpus Toledo

Coordenação do Curso de Engenharia Civil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 131

Estudo Comparativo de Custos de uma Edificação com Diferentes Sistemas de Laje

por

José Felipe Richter Gularte

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 11 h do dia **06 de Junho de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof. Dr. Gustavo Savaris
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Carlos Eduardo T. Balestra
(UTFPR – TD)

Prof Dr. Rodnny Jesus M. Fakhye
(UTFPR – TD)
Orientador

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Fúlvio Natércio Feiber
Coordenador da COECI

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Clénice e José Francisco, pelo apoio durante todos estes anos e pela oportunidade de realizar uma graduação, da maneira mais completa possível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Rodnny, pelo apoio, incentivo e correções realizadas.

A todos os amigos que estiveram juntos nesta caminhada.

Aos amigos Bruce, Daniel e Isabelle, que além de estarem presentes nestes anos, me auxiliaram na elaboração deste trabalho.

Aos amigos do intercâmbio que se fizeram presentes durante e após o mesmo.

Ao meu amigo Renato Moura, por todo o discernimento e experiência repassados dentro e fora do canteiro de obras.

À equipe da Construtora Bettega, pela oportunidade e por todo o conhecimento técnico repassado durante o período do estágio.

Ao povo brasileiro, pela manutenção da universidade em que estudei e do Programa Ciências sem Fronteiras, que participei.

Aos membros da banca examinadora, pela avaliação deste trabalho.

A todos que colaboraram, direta ou indiretamente, com a produção deste trabalho.

*“Não se opor ao erro é aprová-lo; não defender a
verdade é negá-la...”*
(Papa Félix III)

RESUMO

GULARTE, José F. R. **Estudo comparativo de custos de uma edificação com diferentes sistemas de laje**. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

Este trabalho contempla um estudo dos custos de execução da superestrutura para um edifício de concreto armado, considerando sistemas de lajes maciças, lajes nervuradas unidirecionais compostas por vigotas treliçadas pré-fabricadas com enchimento de blocos de EPS e lajes nervuradas bidirecionais moldadas com fôrmas reutilizáveis. Os modelos estruturais foram elaborados de acordo com as normas brasileiras e analisados com auxílio de um *software*, onde foram geradas as quantidades de materiais para cada caso. Estes quantitativos foram orçados de acordo com as tabelas de composição de custos do SINAPI, resultando nos custos parciais e totais dos sistemas analisados. Com os resultados obtidos, foram realizadas as comparações de quantidade de materiais e de custos entre os casos, buscando-se demonstrar as implicações da escolha de determinado sistema de laje. Foram gerados gráficos de tais análises para um melhor entendimento do leitor. Também foram criados índices de consumo de materiais, que podem ser usados em orçamentos de estruturas semelhantes. O sistema que apresentou o menor custo foi o que utilizou fôrmas reutilizáveis para moldar as nervuras das lajes, seguido do modelo com lajes formadas por vigotas pré-fabricadas.

Palavras-chave: Concreto Armado. Sistemas Estruturais. Lajes Maciças. Lajes Nervuradas.

ABSTRACT

GULARTE, José F. R. **Comparative study of costs of a building using different slab systems**. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2018.

This paper contemplates a study on the quantity of materials and prices to build the superstructure of a reinforced concrete building, considering systems with conventional slabs, one-way precast lattice-reinforced joists with EPS filling and two-way waffle slabs with reusable formwork. The models were analyzed with a software, which generated the quantities of materials for each case. These quantities were priced according to the SINAPI's tables, resulting in the partial and total costs of the analysed systems. Comparisons of the quantity of materials and costs among the cases were made with these results, looking forward to demonstrate the implications of the choices of the slab system. Charts were generated for a better understanding of the paper. In addition, this work presents material consumption indexes that can be used to budget similar structures. The system which presented the lower cost was the one that used reusable formwork to create the ribs, followed by the model that used pre-cast joists.

Key words: Reinforced Concrete. Structural Systems. Conventional Slabs. Ribbed Slabs.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo dos esforços em uma laje	20
Figura 2 - Fôrmas e armadura de laje maciça.....	23
Figura 3 - Laje lisa nervurada feita com fôrmas reutilizáveis.....	24
Figura 4 - Laje tridirecional.....	25
Figura 5 - Lajes treliçadas com lajotas cerâmicas.....	26
Figura 6 - Blocos de EPS sobre fôrma	28
Figura 7 - Montagem de laje com fôrmas reutilizáveis	29
Figura 8 - Mapa das Isopleias.....	38
Figura 9 - Perfil de uma laje nervurada	42
Figura 10 - Dimensões das treliças ArcelorMittal	44
Figura 11 - Representação do Modelo 3D gerada pelo Eberick.....	46
Figura 12 - Exemplo de Deslocamentos no Pórtico para o Modelo Elástico	47
Figura 13 - Exemplo de Deslocamentos em uma Grelha de Laje Nervurada	48
Figura 14 - Edifício Utilizado como Modelo	51
Figura 15 - Planta Adaptada do Projeto Arquitetônico	52
Figura 16 - Planta de Fôrmas do Pavimento Tipo para o Sistema com Lajes Maciças	60
Figura 17 - Planta de Fôrmas do Pavimento Tipo para o Sistema com Lajes Trelaçadas Pré-Fabricadas	64
Figura 18 - Planta de Fôrmas para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis	67
Figura 19 - Comparação do Consumo de Concreto entre os Sistemas	68
Figura 20 - Comparação do Consumo de Aço entre os Sistemas.....	69
Figura 21 - Comparação do Consumo de Fôrmas entre os Sistemas.....	69
Figura 22 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema com Lajes Maciças.....	70
Figura 23 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema com Lajes Maciças	71
Figura 24 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema com Lajes Maciças.....	71
Figura 25 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema com Lajes Trelaçadas Pré- Fabricadas.....	72

Figura 26 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas	73
Figura 27 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas.....	73
Figura 28 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis	74
Figura 29 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis	75
Figura 30 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis.....	75
Figura 31 - Comparação de Custos entre os Sistemas.....	78
Figura 32 - Divisão dos Custos dos Sistemas	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Combinações últimas	34
Tabela 2 - Combinações de serviço	37
Tabela 3 – Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Maciças	58
Tabela 4 – Índices Gerais para o Sistema com Lajes Maciças	58
Tabela 5 – Deslocamentos e Coeficiente γ_z	59
Tabela 6 - Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas.....	61
Tabela 7 – Quantitativo de Vigotas Treliçadas	62
Tabela 8 – Quantitativo de elementos de Enchimento	62
Tabela 9– Índices Gerais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas	62
Tabela 10 - Deslocamentos e Coeficiente γ_z para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas.....	62
Tabela 11 - Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis	65
Tabela 12 – Quantitativo de Cubetas para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis	66
Tabela 13 — Índices Gerais para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis	66
Tabela 14 Deslocamentos e Coeficiente γ_z para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis	66
Tabela 15 – Quantias Totais de Materiais por Sistema e Índices Unitários	68
Tabela 16 – Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema com Lajes Maciças	70
Tabela 17 - Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas	72
Tabela 18 - Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis	74
Tabela 19 – Dados Unitários para o Sistema com Lajes Nervuradas	76
Tabela 20 - Dados Unitários para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas.....	76

Tabela 21 - Dados Unitários para o Sistema com Lajes Nervuradas com Fôrmas Reutilizáveis	77
Tabela 22 – Resumo dos Custos Globais dos Sistemas.....	78
Tabela 23 – Diferenças Entre os Sistmas Considerando Apenas Materiais	79

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CF	Combinações Frequentes de Serviço
CQP	Combinações Quase Permanentes de Serviço
CR	Combinações Raras de Serviço
CUB	Custo Unitário Básico de Construção
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EPS	<i>Expanded Polystyrene</i> (Poliestireno Expandido)
NBR	Norma Brasileira
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SINDUSCON	Sindicato da Construção
SINICON	Sindicato Nacional da Indústria da Construção Pesada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	PROJETO E CONCEPÇÃO ESTRUTURAL	18
2.2	CONCRETO ARMADO	19
2.3	LAJES EM CONCRETO ARMADO	20
2.4	LAJES MACIÇAS	21
2.4.1	Montagem das Lajes Maciças	22
2.4.2	Vantagens e Desvantagens das Lajes Maciças	23
2.5	LAJES NERVURADAS	24
2.5.1	Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas	26
2.5.2	Lajes Nervuradas Moldadas <i>In Loco</i>	27
2.5.3	Vantagens e Desvantagens das Lajes Nervuradas	30
2.6	RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS BRASILEIRAS NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	31
2.6.1	Ações em Estruturas	31
2.6.2	Combinações de Ações	32
2.6.3	Cargas de Vento	37
2.6.4	Cobrimentos Mínimos	38
2.6.5	Estabilidade da Estrutura e Deslocamentos	39
2.7	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS	39
2.7.1	Pré-Dimensionamento de Pilares	40
2.7.2	Pré-Dimensionamento de Vigas	40
2.7.3	Pré-Dimensionamento de Lajes	41
2.8	REVISÃO DA LITERATURA	44
2.8.1	Albuquerque e Pinheiro (2002)	44
2.8.2	Vizotto e Sartorti (2010)	45
2.8.3	Lopes (2012)	45
2.9	EBERICK V8	46

3	METODOLOGIA	50
3.1	TIPOS DE LAJES ANALISADOS	50
3.2	EDIFÍCIO-EXEMPLO	51
3.3	MATERIAIS ANALISADOS	53
3.4	ÍNDICES UNITÁRIOS DE COMPARAÇÃO.....	53
3.4.1	Taxa de aço (<i>ia</i>)	53
3.4.2	Taxa de concreto (<i>ic</i>).....	53
3.4.3	Taxa de fôrmas (<i>if</i>)	54
3.5	DADOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO.....	54
3.5.1	Resistência do concreto (<i>fck</i>)	54
3.5.2	Resistência do aço	55
3.5.3	Cobrimento (<i>c</i>).....	55
3.5.4	Força do Vento	55
3.5.5	Cargas	55
3.5.6	Definição das Seções Iniciais dos Elementos Estruturais.....	56
3.6	CÁLCULO DOS CUSTOS.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1	SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES MACIÇAS	58
4.1.1	Quantitativo de Materiais e Índices	58
4.2	SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES TRELIÇADAS.....	61
4.2.1	Quantitativo de Materiais e Índices	61
4.3	SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES NERVURADAS COM CUBETAS DE POLIPROPILENO	65
4.3.1	Quantitativo de Materiais e Índices	65
4.4	COMPARATIVO DE MATERIAIS ENTRE SISTEMAS.....	68
4.5	CUSTOS	69
4.5.1	Custos do Sistema com Lajes Maciças	69
4.5.2	Custos do Sistema com Lajes Trelaçadas	71
4.5.3	Custos do Sistema com Lajes Nervuradas.....	73
4.6	CUSTOS E ÍNDICES UNITÁRIOS	75
4.7	COMPARAÇÃO DOS CUSTOS GLOBAIS DA SUPERESTRUTURA	78
4.8	CUSTO CONSIDERANDO APENAS OS MATERIAIS	78
4.9	CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES	80
4.9.1	Fundações	80
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
----------------------------------	----

1 INTRODUÇÃO

Um dos primeiros indícios do uso do concreto vem do Império Romano, onde se utilizava uma mistura de cal e pozolana como aglomerantes, o que permitiu construir estruturas de forma rápida e prática. Este material, hoje chamado de concreto, mostrou-se adequado para suportar os esforços de compressão nas construções daquela época. Porém, conforme as dimensões das estruturas começaram a aumentar, tanto sua altura quanto os vãos livres, outra solução era necessária para conferir a resistência à flexão, cada vez mais exigida. Essa é a origem do concreto armado: a busca de um material estrutural com resistência satisfatória à tração que pudesse se associar ao concreto (CLÍMACO, 2008).

A solução encontrada foi utilizar os dois materiais, concreto e aço, juntos nas estruturas, pois além de solucionar o problema dos esforços de tração, o concreto protege o aço contra oxidação, ambos têm um coeficiente de dilatação térmica próximos, podendo-se considerar 10^{-5} C^{-1} (NBR 6118, ABNT, 2014). Ainda há a aderência entre estes materiais por adesão química, que é oriunda das ligações físico-químicas que se desenvolvem na zona de contato entre os dois materiais (aço e concreto) durante a solidificação do concreto (REYES, 2009).

Em vista da recessão do mercado da construção civil no Brasil, que entre 2014 e 2017 teve uma queda de 14,3% (SINICON, 2017), melhorar a eficiência dos recursos empregados numa obra é de fundamental importância para empresas que queiram se manter competitivas neste mercado, e, para isto, análises de diferentes sistemas construtivos se mostram fundamentais.

A superestrutura de uma edificação em concreto armado convencional geralmente é composta pelos seguintes elementos estruturais: vigas, pilares e lajes. Tais elementos são responsáveis pela transmissão das cargas aplicadas na superestrutura para as fundações. As lajes podem ser projetadas e executadas de diversas maneiras, variando de acordo com suas especificidades e suas vantagens e desvantagens, onde a decisão da aplicação dos materiais disponíveis e o aproveitamento da mão-de-obra torna-se responsabilidade do engenheiro (RABELLO, 2007).

Uma das soluções para o sistema de lajes é empregar materiais sem função estrutural dentro desse elemento estrutural, a fim de reduzir o peso do sistema e, por

consequência, menor será a carga transmitida aos outros elementos estruturais, podendo diminuir os esforços na superestrutura. Tais elementos podem ser tijolos e lajotas cerâmicas, blocos de EPS (poliestireno expandido) e fôrmas de polipropileno removíveis. Eles são considerados materiais inertes e a escolha adequada do tipo de enchimento demanda estudos comparativos para indicar qual das alternativas apresenta melhor comportamento e menor consumo de materiais, que ocasiona a redução do custo total da obra (SILVA, 2010).

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Costa, 1997 (apud Albuquerque, 1999) a superestrutura de uma edificação é a etapa mais representativa no custo total da obra, variando entre 15% e 20% deste valor.

Na superestrutura, as lajes correspondem à maior parcela do consumo de materiais como concreto e aço. Isto se deve ao fato de que elas são os elementos com maior superfície numa edificação. Como apontam Carvalho e Pinheiro (2009, p.12), “projetar um pavimento, por exemplo, reduzindo um centímetro a altura da laje pode conduzir a uma economia considerável”. Em termos quantitativos, conforme Franca e Fusco (1997) enfatizam, o consumo de concreto das lajes maciças pode representar até dois terços do consumo total de concreto da edificação. Além de reduzir o consumo de materiais no elemento de laje, a escolha correta do tipo de sistema irá implicar em menores cargas transmitidas aos outros elementos estruturais, como vigas, pilares e fundações.

Como constatado no estudo de Lopes (2012), sistemas estruturais diferentes resultarão em cargas transmitidas ao solo através dos elementos de fundação também diferentes, logo, é possível reduzir os custos totais do edifício com a escolha correta do sistema de lajes.

Carvalho e Pinheiro (2009) ainda apontam que, para pavimentos em que o menor vão a ser vencido pela laje é inferior a 5 m, a melhor solução se dá pelo emprego de lajes maciças apoiadas nas vigas, uma vez que a espessura da laje, nesta situação, é pequena. Já Caio (2014), estimou que a vantagem da laje maciça estende-se até vãos de 4,5 m quando comparada à lajes treliçadas unidirecionais.

Porém, quando o projeto apresenta vãos grandes, as lajes maciças precisariam ter uma espessura considerável para suportar os esforços, aumentando consideravelmente o consumo de materiais. Logo, o sistema mais indicado para grandes vãos passa a ser o de lajes nervuradas, pois além destas terem o comportamento de placas (absorvendo esforços perpendiculares ao seu plano), assim como as lajes maciças, elas ainda apresentam o comportamento de vigas na flexão, pois há uma grande inércia e um peso próprio pequeno.

Como as lajes nervuradas podem ser uni ou bidirecionais e existem diversos materiais que podem ser utilizados como elemento de enchimento, faz-se necessário realizar uma comparação entre as opções disponíveis no mercado para verificar qual é o sistema que pode reduzir o custo total da superestrutura de um projeto. O trabalho não pretende apontar um método ideal, mas demonstrar através do edifício-exemplo a utilidade deste tipo de análise para edifícios semelhantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo comparar as quantidades de materiais e preços de execução da superestrutura de um edifício de sete pavimentos, considerando lajes maciças, lajes formadas por vigotas treliçadas unidirecionais e lajes nervuradas moldadas com fôrmas reutilizáveis. Serão contabilizados fatores como consumo de aço, concreto, fôrma e escoras.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar a superestrutura do edifício-exemplo com lajes maciças, lajes com vigotas treliçadas pré-fabricadas com blocos de EPS e lajes com fôrmas plásticas reutilizáveis;

- Comparar quantitativamente os consumos de aço, concreto e fôrma entre os casos;
- Elaborar orçamentos e comparar os custos de cada sistema;
- Apresentar os custos unitários dos insumos de cada caso para servir de referência aos profissionais da construção civil que estejam analisando uma estrutura semelhante;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROJETO E CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Na elaboração de um projeto estrutural existem alguns requisitos básicos que devem ser atendidos, como a funcionalidade, segurança, estabilidade, estética e durabilidade da estrutura (PEREIRA, OLIVEIRA e DAVI, 2015). O projeto estrutural deve, portanto, buscar atender exigências como a compatibilização com outros projetos, principalmente com o arquitetônico, facilidade e tempo de execução e a empregabilidade da solução proposta, mostrando-se necessário a análise de diversas concepções estruturais (SPOHR, 2008).

A concepção estrutural pode ser entendida como a elaboração de um sistema que tenha a capacidade de manter uma determinada forma. Tal processo dificilmente será o mesmo para diferentes profissionais, pois ele depende da experiência e intuição do profissional, conferindo certa subjetividade ao processo (REBELLO, 2007).

Albuquerque (1999) aponta que, uma vez em que o arquiteto tenha apresentado as restrições do projeto, o lançamento de uma estrutura pode-se iniciar pelos pilares do pavimento tipo, mais precisamente os de canto, seguidos pelos pilares das escadas e elevadores, paredes de extremidade e por último, os pilares internos. Já o posicionamento das vigas dependerá do sistema de lajes que será utilizado, definindo primeiramente as externas. Em seguida, ligam-se os pilares internos e, caso necessário, incluem-se vigas que se apoiam em outras vigas. Com isso, os painéis de lajes estarão definidos.

Ainda, para uma correta avaliação da viabilidade financeira de determinada concepção, devem ser considerados fatores como o consumo de concreto, aço, fôrmas, o tempo de execução, especificidades do sistema, mão de obra e a possibilidade de reutilização das fôrmas (SILVA, 2002).

O projeto também deve buscar a uniformização dos elementos estruturais sempre que possível. Uma vez em que as fôrmas são responsáveis por uma elevada parcela do custo da obra, a uniformização dos elementos tende a reduzir custos, pois implica numa maior reutilização destas fôrmas. Geometrias simples

também são recomendadas, como seções retangulares ou quadradas para pilares, pois facilitam a execução dos elementos (ALBUQUERQUE, 1999).

2.2 CONCRETO ARMADO

O concreto armado é resultante do uso conjunto de concreto e aço (COUTO et al. 2013). Essencialmente, o concreto apresenta boas características na resistência à compressão e, o aço, trabalha com os esforços de tração. A NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 7480 (ABNT, 2007) e a NBR 12655 (ABNT, 2015) trazem especificações sobre a resistência destes dois materiais para as obras de concreto armado.

2.2.1.1 Concreto

O item 8.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece uma resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) mínima de 20 MPa (classe C20) ou superior, para concreto com armadura passiva e a classe C25, ou superior, ao concreto com armadura ativa. A classe C15 pode ser usada apenas em obras provisórias ou concreto sem fins estruturais, conforme a NBR 8953 (ABNT, 2015).

2.2.1.2 Aço

O item 8.3.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que nos projetos de estruturas de concreto armado deve ser utilizado aço classificado pela NBR 7480 (ABNT, 2007), com o valor característico da resistência de escoamento (f_{yk}) nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. Os diâmetros e seções transversais nominais devem ser os estabelecidos na mesma norma.

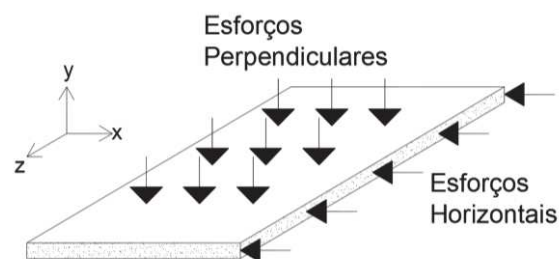
2.3 LAJES EM CONCRETO ARMADO

Lajes são elementos estruturais bidimensionais responsáveis por atuarem como placas, ou seja, absorvem os esforços perpendiculares aplicados sobre o piso para redistribuí-los aos outros elementos estruturais. São nelas em que esforços como o peso das pessoas, revestimentos, paredes, equipamentos, e os mais diversos tipos de cargas, podem ser aplicados. As lajes são consideradas elementos bidimensionais porque sua espessura é de uma ordem muito menor que suas dimensões de comprimento e largura (PINHEIRO, 2010). A aplicação dos esforços pode ser vista na Figura 1.

Segundo Goulart (2008), além de atuarem como placas, as lajes também exercem a função de um diafragma horizontal rígido quando submetidas a esforços horizontais. A NBR 6118 (ABNT, 2014) aponta que o efeito de diafragma rígido considera a laje infinitamente rígida em seu plano, implicando na uniformidade dos deslocamentos dos contornos da laje. Tais esforços são distribuídos aos pilares e vigas e é de fundamental importância na formação da estrutura de contraventamento.

Há várias maneiras da distribuição de esforços ocorrer em lajes. Eles podem estar distribuídos linearmente ao longo de uma área estreita (como no caso do peso de uma parede sobre uma viga), distribuídos em área (como a carga de um monte de areia sobre uma laje) ou, no caso da área de contato ser muito pequena em relação à área do objeto, pode-se considerar que a força está sendo aplicada a um ponto, denominando-se força concentrada (HIBBELER, 2010).

Figura 1 - Exemplo dos esforços em uma laje



Fonte: O Autor (2017).

Conforme Lopes (2012), as lajes possuem algumas classificações:

Quanto à seção:

- Maciças: Lajes com a seção constituída integralmente de concreto armado;
- Nervuradas: Neste sistema há a presença de algum material sem função estrutural, ou até mesmo um espaço vazio, entre as nervuras que trabalham com os esforços de tração.

Quanto ao sistema:

- Convencional: Lajes que se apoiam em vigas;
- Cogumelo: Lajes que se apoiam diretamente em pilares, com o auxílio de uma estrutura de capitel, sem a necessidade de vigas;
- Lisas: Lajes que se apoiam diretamente em pilares, sem a necessidade de capitéis e vigas.

Quanto à execução:

- Moldadas *In Loco*: A concretagem é realizada no local definitivo da laje;
- Pré-fabricadas: São usados elementos pré-fabricados, ou seja, feitos fora do local da obra em processo industrial.

Nas seções seguintes são apresentadas particularidades sobre os três tipos de lajes abordadas neste trabalho.

2.4 LAJES MACIÇAS

Lajes maciças são placas de seção contínua de concreto armado, o que confere grande peso próprio ao sistema e, segundo Carvalho e Pinheiro (2009), sua utilização é recomendada quando os vãos são menores que 5 m. Geralmente contém apenas armaduras longitudinais para flexão, podendo ser dimensionada também com armaduras transversais.

Além do sistema convencional das lajes apoiadas nas vigas, também é possível apoiar as lajes de concreto armado diretamente nos pilares, com sistemas

de lajes lisas ou cogumelo. Pereira (2014) aponta que as lajes lisas não possuem uma estrutura de apoio aparente, enquanto as do tipo cogumelo apresentam uma estrutura piramidal no topo do pilar.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece alguns limites mínimos para a espessura das lajes maciças:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN.

2.4.1 Montagem das Lajes Maciças

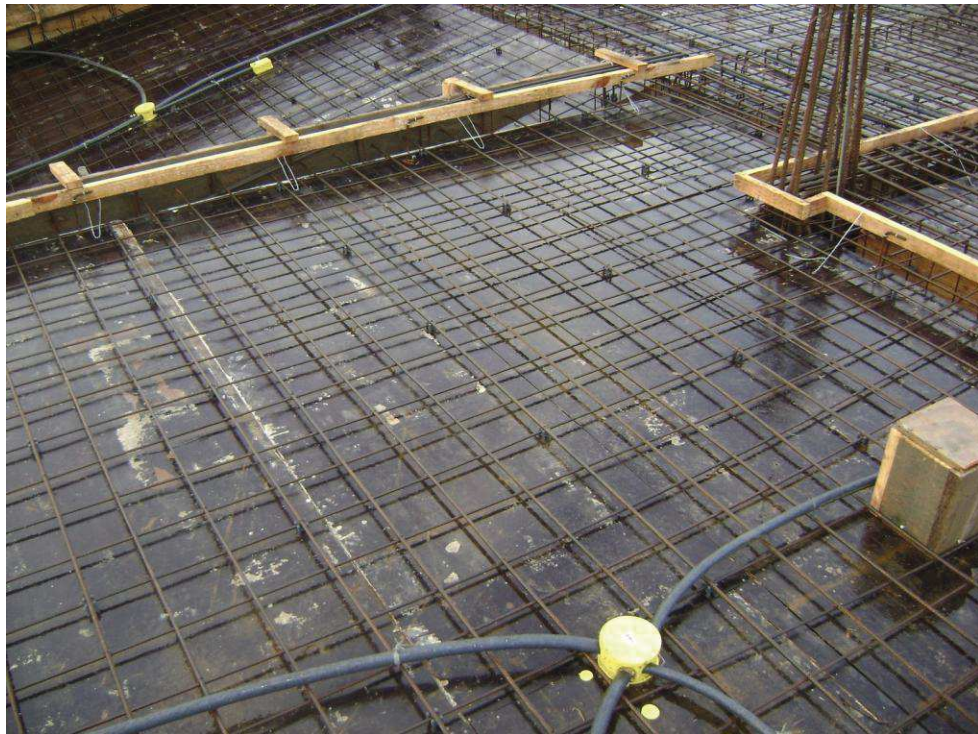
A execução da laje se inicia com a montagem das fôrmas, que tem seu procedimento descrito no item 7.2 da NBR 14931 (ABNT, 2004). As fôrmas podem ser feitas de chapas de madeira compensada (Figura 2), lisas, que são apoiadas por escoras de madeira ou de aço. As escoras e travamentos devem ser executados conforme o projeto de fôrmas do empreendimento em questão aponta.

A próxima etapa consiste em posicionar as armaduras sobre as chapas compensadas. Nesta fase são necessários os espaçadores “caranguejos”, responsáveis por separar as armaduras positiva e negativa e os espaçadores “cadeirinha”, que fazem com que a armadura fique suspensa sobre a fôrma, garantindo a espessura mínima de cobrimento. Em seguida, verifica-se o posicionamento de eletrodutos e outros itens que ficarão dentro do elemento de laje (SILVA, 2012).

Antes da concretagem faz-se necessário limpar as fôrmas para remover qualquer detrito e passar o desmoldante com o uso de uma escova do tipo broxa (MARANHÃO, 2000). Lança-se o concreto diretamente sobre a fôrmas e, logo em seguida, é feito o adensamento com vibradores, cuidando sempre para não encostá-

los em armaduras. Finalmente, nivela-se o piso utilizando-se régua (metálicas ou sarrafos de madeira) e desempenadeiras (BARROS e MELHADO, 1998).

Figura 2 - Fôrmas e armadura de laje maciça



Fonte: Fernandes (2017).

2.4.2 Vantagens e Desvantagens das Lajes Maciças

Silva (2002) apontou que uma das vantagens deste sistema é a sua fácil execução. Vizotto e Sartori (2010) ainda indicam outras vantagens, como o fato deste sistema exercer a função de placa, quando sujeitas a esforços perpendiculares; a função de membrana, que é, de acordo com Abu, Burgess, & Plank (2006), um comportamento favorável da ocorrência de forças equilibrantes desenvolvidos por lajes em situações de incêndio; o bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços e a empregabilidade em situações de singularidade estrutural, quando há bordos livres.

Spohr (2008) aponta como desvantagem, no caso de uma estrutura convencional com pilares e vigas, a grande quantidade de vigas que são exigidas

neste sistema, o que deixa as fôrmas do pavimento muito recortadas, diminuindo a produtividade da construção e o reaproveitamento das fôrmas, além do grande consumo destas. O autor também aponta o elevado consumo de concreto deste tipo de laje como desvantagem que, segundo Franca e Fusco (1997), pode chegar a dois terços do volume total de concreto da estrutura.

2.5 LAJES NERVURADAS

A NBR 6118 (ABNT, 2014) define que lajes nervuradas são lajes em que a zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado algum material sem função estrutural. Elas podem ser moldadas no local ou possuírem nervuras pré-fabricadas. As lajes nervuradas são, assim, um conjunto de vigas que se cruzam (PINHEIRO e RAZENTE, 2003). Um exemplo de laje nervurada pode ser visto na Figura 3:

Figura 3 - Laje lisa nervurada feita com fôrmas reutilizáveis



Fonte: Atex (2017a).

Conforme Schwetz *et al.* (2009), este sistema é uma evolução das lajes maciças, pois como elimina a maior parte do concreto abaixo da linha neutra,

gerando vazios em um padrão ordenado de arranjo, é possível obter um aumento econômico da espessura total das lajes. Isso implica em um alívio do peso próprio da estrutura e um melhor aproveitamento de aço e concreto.

A decisão técnica para a construção deste sistema é explicada, segundo Carvalho e Pinheiro (2009, p. 14), pelo fato de que “as lajes maciças geralmente apresentam, pelo menos no ELU, uma pequena região de concreto comprimido e, portanto, há muito concreto abaixo da linha neutra que está tracionado”, não colaborando para o comportamento desejado nesta situação, que é a resistência à flexão, ou seja, numa laje nervurada a mesa de concreto que suporta a compressão é mantida e o concreto que estava abaixo da linha neutra é deixado apenas onde se localizam as barras de aço.

Bastos (2015) ressalta que as lajes nervuradas, assim como as lajes maciças, podem distribuir os esforços em uma ou duas direções. Ainda, conforme Dacol (2013), as lajes nervuradas têm apresentado a opção de serem moldadas para distribuir os esforços de forma “tridirecional”. Nesse arranjo, as nervuras principais são rotacionadas a 45° da direção principal. Já na nervura extra, é possível adicionar cordoalhas de protensão ou armaduras passivas, conforme a Figura 4:

Figura 4 - Laje tridirecional

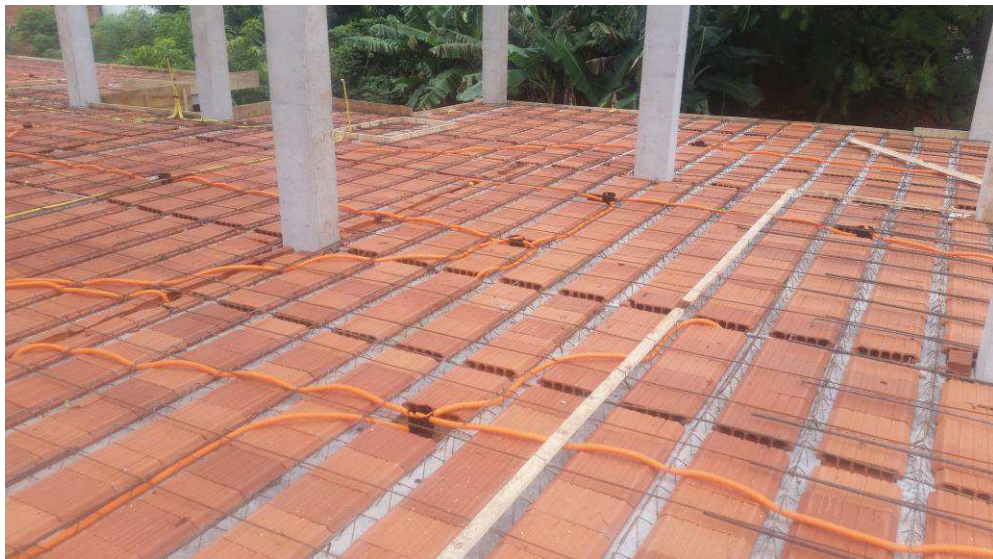


Fonte: Dacol (2013).

2.5.1 Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas

Este sistema de lajes nervuradas pré-fabricadas consiste em vigotas treliçadas de concreto armado, podendo ser uni ou bidirecionais, onde são apoiados os elementos inertes de enchimento, como as lajotas cerâmicas (Figura 5) e blocos de EPS. O concreto colocado sobre as lajotas/blocos e vigotas formam as “mesas”, solidarizando tais elementos e conferindo um comportamento intermediário de placa e grelha. A grelha é uma estrutura plana, formada por barras, que recebe esforços normais ao seu plano, e em sua análise são considerados os esforços solicitantes da força cortante normal ao plano, um momento fletor decorrente da flexão normal ao eixo das barras e um momento causado pela torção axial à barra (BOCCHI JR. e GIONGO, 2007).

Figura 5 - Lajes treliçadas com lajotas cerâmicas



Fonte: O Autor (2017).

2.5.1.1 Montagem das Lajes Nervuradas Pré-Fabricadas

Flório (2004) descreve que a montagem se inicia com o nivelamento do piso que servirá de base para os escoramentos, seguido da colocação das vigotas no

local da laje, utilizando os próprios blocos de EPS ou lajotas como gabaritos, o que garantirá o correto espaçamento entre nervuras. Essas vigotas podem ser apoiadas diretamente na estrutura de concreto armado, ou na alvenaria, dependendo da indicação do projeto estrutural. Após isso são colocados os elementos de enchimento restantes. A próxima etapa é o posicionamento de dutos elétricos, caixas de passagem e outros elementos que ficarão dentro do elemento de laje. Em seguida são colocadas as armaduras de distribuição e negativas, de acordo com o estipulado pelo projetista. Limpa-se a interface entre as nervuras de quaisquer substâncias e então é feito o umedecimento dos elementos.

A concretagem da capa de concreto é realizada, tomando cuidados básicos com o tratamento da interface, adensamento e cura do concreto. Durante a concretagem devem ser colocadas tábuas para servirem de passadiços e o concreto deve ser vibrado ao ponto de penetrar nas juntas entre os elementos inertes (EL DEBS, 2000).

2.5.2 Lajes Nervuradas Moldadas *In Loco*

As lajes nervuradas moldadas *in loco* são geralmente bidirecionais, ou seja, a distribuição das cargas ocorre para ambas as direções, resultando em um comportamento de chapa, no caso da laje ser submetida a esforços horizontais. As fôrmas utilizadas para criar as nervuras podem ser deixadas no elemento de laje, como blocos cerâmicos, blocos de concreto leve, isopor ou fôrmas plásticas ou podem ser retiradas após a cura do concreto. Tais fôrmas reutilizáveis são geralmente de polipropileno ou de metal (PINHEIRO e RAZENTE, 2003).

Estas fôrmas reutilizáveis são indicadas pelas fabricantes com a justificativa de que, conforme Dacol (2013), elas não acrescentam peso à estrutura e podem ser utilizadas até cem vezes.

2.5.2.1 Montagem das Lajes Nervuradas Moldadas *In Loco* com Elementos de Enchimento

Este sistema requer fôrmas em toda sua área (Figura 6), semelhante as lajes maciças, e geralmente são utilizadas chapas de madeira compensada. Estas fôrmas devem estar devidamente apoiadas sobre os cimbramentos contraventados. Segundo Bocchi Jr. e Giongo (2007), as fôrmas utilizadas nas estruturas de concreto armado têm por finalidade dar forma e sustentação antes que o concreto atinja determinada resistência mínima para se sustentar.

Figura 6 - Blocos de EPS sobre fôrma



Fonte: Moldimplas (2018).

Silva (2005) descreve que os blocos do material inerte são colocados sobre as fôrmas, começando pelas laterais, com a finalidade de utilizá-los de referência na colocação dos outros blocos. São então posicionados eletrodutos e outros elementos que são embutidos na laje. Após esta etapa, são colocadas as armaduras nas nervuras, seguidas da armadura de distribuição, na mesa. Caso existam armaduras negativas na mesa, essas devem ser colocadas após as armaduras de distribuição. Limpa-se o tablado e os elementos, procedendo-se com a concretagem. Deve-se procurar realizar a concretagem de uma só vez, evitando juntas de concretagem. São recomendados vibradores de imersão para o adensamento do concreto, cuidando para não ocorrer a desagregação do mesmo.

2.5.2.2 Montagem das Lajes Nervuradas Moldadas *In Loco* com Fôrmas Plásticas Reutilizáveis

As lajes em que este sistema é executado podem apresentar o sistema de fôrmas de madeira compensada em toda sua área, como no caso das lajes bidirecionais moldadas *in loco*, ou o sistema em que apenas as bordas das fôrmas são apoiadas em perfis metálicos, como na Figura 7.

Para este segundo caso, segundo os Dados Técnicos das Fôrmas Reutilizáveis (ATEX, 2017b), é preciso de um rigor técnico para se obter uma laje com máxima funcionalidade. De acordo com a SH - Fôrmas Andaimes e Escoramentos (2016), o escoramento precisa ser metálico para garantir uniformidade e manter o nível. Sobre este escoramento são montadas as régua e, apoiadas perpendicularmente acima destas régua, posicionam-se as cubetas, que nas extremidades são travadas com *dropheads*. As régua e as cubetas são perfis metálicos em formato de “I”.

Figura 7 - Montagem de laje com fôrmas reutilizáveis



Fonte: Jirau (2017).

As fôrmas são colocadas com suas bordas apoiadas nestes perfis, passa-se desmoldante e então são colocadas as armaduras nos espaços que se formam logo acima das régua. O concreto é então lançado sobre o sistema, adensado com vibradores com diâmetro menor que 25 mm e deve ser vibrado pontualmente no encontro das nervuras. Nivelase o piso e, após o enrijecimento do concreto, as escoras são removidas. Para a remoção das fôrmas utiliza-se uma cunha de madeira.

2.5.3 Vantagens e Desvantagens das Lajes Nervuradas

O sistema que utiliza vigotas pré-fabricadas com arranjo unidirecional apresenta uma boa eficiência para edificações e é uma tecnologia conhecida, fato que leva grande parcela da população a utilizá-las (CUNHA, 2012). Este sistema apresenta elementos com boa qualidade, resultante do processo de industrialização, dispensa fôrmas, utiliza pouco escoramento, não gera grande perda de material e não necessita de equipamentos especiais para a montagem na obra (FILHO, CARVALHO e JUNIOR, 2002).

As desvantagens envolvidas neste sistema, conforme Brumatti (2008), são a não padronização dos elementos no país, a facilidade de apresentar trincas por falha na aderência da capa de concreto e os blocos de enchimento podem ser danificados durante a montagem da laje. Outro ponto, quando se utiliza o sistema com vigotas em arranjo unidirecional, as vigas em que os elementos são apoiados recebem a maior parte das cargas laje, configurando uma desvantagem em termos de arranjo estrutural (FILHO, CARVALHO e JUNIOR, 2002).

No caso das lajes nervuradas bidirecionais moldadas com fôrmas reutilizáveis, como aponta Albuquerque (1999), os elementos inertes não oneram o peso próprio da estrutura, implicando na vantagem da redução do peso próprio da estrutura. Na análise de Vizotto e Sartorti (2010), ainda são apontadas como vantagens o fato deste sistema oferecer funções de placa e membrana, a distribuição bidirecional de esforços e a possibilidade de reaproveitamento de fôrmas. Ainda, segundo os autores, as desvantagens apresentadas são o elevado consumo de fôrmas e escoras, elevado consumo de mão de obra de diversas

especialidades, opções de altura limitadas pela geometria das fôrmas e a necessidade de acabamento da face inferior com forro falso.

2.6 RECOMENDAÇÕES DAS NORMAS BRASILEIRAS NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

No Brasil, a norma que prescreve o dimensionamento de estruturas de concreto armado é a NBR 6118 (ABNT, 2003). Nesta seção são apresentados os principais itens pertinentes desta norma para o entendimento do trabalho, e também são apresentadas algumas recomendações de normas complementares.

2.6.1 Ações em Estruturas

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2003), ações são “causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações”. Os carregamentos e ações são provenientes de tudo o que se encontra sobre a laje, como pessoas, móveis, paredes de alvenaria, caixas de água, móveis, equipamentos, etc.

Os códigos de normas brasileiros para projetos estruturais fazem o uso do método de estados de limite para assegurar que as estruturas cumpram as exigências mínimas de funcionalidade e segurança (PEREIRA, BECK e DEBS, 2017).

As normas que sugerem os valores e coeficientes de ponderamento a serem considerados são a NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 6120 (ABNT, 1980) e a NBR 8681 (ABNT, 2003). Nos casos em que as normas disponíveis não forem suficientes, é recomendado consultar o fabricante (no caso de lajes pré-fabricadas), assim como códigos internacionais.

As normas consideram, para um dimensionamento usual, cargas permanentes (g) e cargas acidentais (q), também chamadas de variáveis.

2.6.1.1 Cargas Permanentes (g)

Ocorrem durante toda a vida útil da estrutura, com peso constante. São exemplos os elementos estruturais, paredes, revestimentos e equipamentos fixos.

Os valores a serem considerados são indicados pela NBR 6120 (ABNT, 1980). Alguns deles são mostrados a seguir:

- Concreto armado: 25 kN/m³;
- Argamassa de cimento e areia: 21 kN/m³;
- Parede de tijolos furados: 13 kN/m².

2.6.1.2 Cargas Acidentais (q)

Os valores destas cargas variam durante a vida útil da edificação, como o peso das pessoas, móveis e veículos.

A NBR 6120 (ABNT, 1980) apresenta os valores das cargas a serem consideradas. Para edifícios residenciais tem-se:

- Dormitórios, salas, cozinha e banheiros: 1,5 kN/m²;
- Despensa, área de serviço e lavanderia: 2 kN/m²;
- Forro sem acesso ao público: 0,5kN/m².

2.6.2 Combinações de Ações

Como há diversas possibilidades de ocorrência conjunta de diversas ações, faz-se necessário em um projeto analisar as possibilidades destas interações. As ações permanentes sempre são consideradas com seu valor total, enquanto as ações variáveis recebem coeficientes de ponderação. A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que um carregamento é definido pela combinação das ações que têm

probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

A mesma norma ainda esclarece, no item 11.8.1, que a combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente.

2.6.2.1 Combinações Últimas

O item 11.8.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014) define que uma combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção e excepcional.

- Combinações Últimas Normais

No item 1.8.2.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), é estabelecido que em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas secundárias, com seus valores reduzidos de combinação, conforme a NBR 8681 (ABNT, 2003).

- Combinações últimas especiais ou de construção

No item 1.8.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), é definido que em cada combinação devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível, de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003).

- Combinações últimas excepcionais

No item 1.8.2.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), é estabelecido que em cada combinação devem figurar as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores representativos e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003). Nesse caso se enquadram, entre outras, sismo e incêndio.

2.6.2.2 Tabela Resumida das Combinações Últimas

A Tabela 1 traz um resumo da combinações últimas:

Tabela 1 - Combinações últimas

Combinações Últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das Solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq SF_{nd}$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min} \text{ onde, } Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \Psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
Excepcionais		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \Psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$

Fonte: Adaptado do item 11.8.2.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Onde: F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última;

F_{gk} representa as ações permanentes diretas;

$F_{\varepsilon k}$ representa as ações indiretas permanentes como a retração $F_{\varepsilon gk}$ e variáveis como a temperatura $F_{\varepsilon qk}$;

F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal;

$\gamma_g, \gamma_{\varepsilon g}, \gamma_q, \gamma_{\varepsilon q}$ coeficientes de ponderação das cargas;

$\psi_{oj}, \psi_{o\varepsilon}$ coeficientes de ponderação das ações no estado-limite de serviço;

F_{sd} representa as ações estabilizantes;

F_{nd} representa as ações não estabilizantes;

G_{sk} é o valor característico da ação permanente estabilizante;

R_d é o esforço resistente considerado estabilizante, quando houver;

G_{nk} é o valor característico da ação permanente instabilizante;

$$Q_{nk} = Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \psi_{oj} Q_{jk};$$

Q_{nk} é o valor característico das ações variáveis instabilizantes;

Q_{1k} é o valor característico da ação variável instabilizante considerada principal;

ψ_{oj} e Q_{jk} são as demais ações variáveis instabilizantes, consideradas com seu valor reduzido;

$Q_{s,\text{mín}}$ é o valor característico mínimo da ação variável estabilizante que acompanha obrigatoriamente uma ação variável instabilizante.

2.6.2.3 Combinações de Serviço

A NBR 6118 (ABNT, 2014) classifica as combinações de serviço de acordo com sua permanência na estrutura e sugere que sejam verificadas como estabelecido a seguir:

- **Quase permanentes**

Podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;

- **Frequentes**

Repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;

- **Raras**

Ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de formação de fissuras.

2.6.2.4 Tabela Resumida das Combinações de Serviço

A Tabela 2 traz um resumo das combinações de serviço:

Tabela 2 - Combinações de serviço

Combinações de Serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das Solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_2 F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \psi_2 F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + F_{q1k} + \sum \psi_1 F_{qjk}$

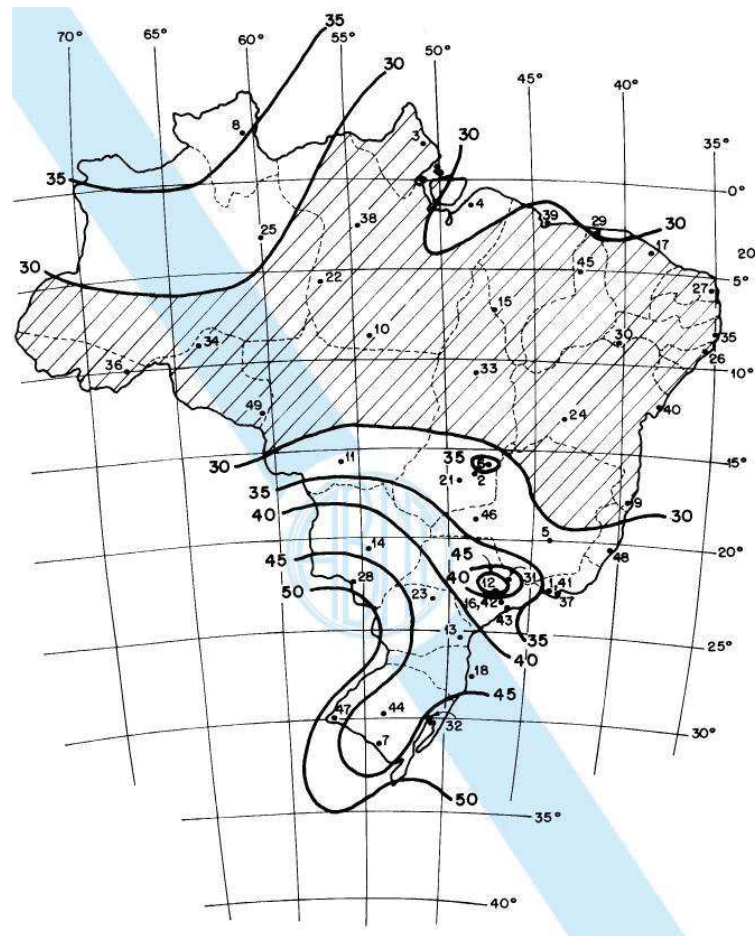
Fonte: Item 11.8.3.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Onde: $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;
 F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas;
 ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS;
 ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

2.6.3 Cargas de Vento

Os esforços provenientes do vento são calculados de acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1988). Esta norma leva em consideração as dimensões do edifício, o perfil topográfico do local da obra, a interferência de edificações vizinhas na propagação do vento, a velocidade básica do vento (V_o) de acordo com a região (Figura 8), entre outros fatores.

Figura 8 - Mapa das Isoletas



Fonte: NBR 6123 (ABNT, 1988).

2.6.4 Cobrimentos Mínimos

A tabela 6.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) aponta que estruturas em ambiente urbano devem ser classificadas como sujeitas a agressividade ambiental moderada, denominada classe II. Já a tabela 7.2 da mesma norma aponta que os cobrimentos mínimos necessários para as estruturas pertencentes à classe II são:

- 2,5 cm para lajes;
- 3 cm para vigas e pilares.

Quando os elementos estruturais pertencem a um ambiente interno seco, pode-se admitir uma menor agressividade ambiental, resultando em 0,5 cm de cobrimento a menos em cada um dos itens citados acima.

2.6.5 Estabilidade da Estrutura e Deslocamentos

2.6.5.1 Deslocamentos Horizontais (Movimento Lateral de Edifícios)

A Tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014) aponta que o deslocamento total horizontal no topo edificação não deve ultrapassar o limite de $H/1700$, sendo H a altura do edifício.

2.6.5.2 Deslocamentos Visíveis em Elementos Estruturais

A Tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014) traz que o deslocamento a ser adotado como limite no caso vigas e lajes, no quesito de aceitabilidade sensorial é $l/250$, onde l é o comprimento do vão dos elementos.

2.7 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS

O pré-dimensionamento é uma das primeiras fases na elaboração de um projeto estrutural. Ele visa fornecer uma seção inicial para o projetista ter uma base de cálculo. Além disso, ele auxilia a concepção do projeto arquitetônico, compatibilizando ambos os projetos. Porém, muitas vezes ele é tratado na literatura de uma maneira simplificada, sem muitas especificações (ALVA, 2007). Ele pode ser feito com o uso de ábacos, fórmulas empíricas, de acordo com a experiência do profissional, em restrição apenas da arquitetura, entre outros métodos.

2.7.1 Pré-Dimensionamento de Pilares

As fórmulas apresentadas a seguir foram estipuladas por Bastos (2005, apud Melo, 2013), e podem ser empregadas em edificações com menos de 30 m de altura.

- Para pilares intermediários utiliza-se a Equação (01):

$$A_c = \frac{Nd}{0,6 f_{ck} + 0,42} \quad (01)$$

- Para pilares de extremidade e de canto, emprega-se a Equação (02):

$$A_c = \frac{1,45Nd}{0,6 f_{ck} + 0,42} \quad (02)$$

Onde:

A_c é a área da seção transversal do elemento;

Nd é a carga de cálculo do pilar, obtida através da área de influência;

f_{ck} é a resistência característica do concreto.

2.7.2 Pré-Dimensionamento de Vigas

Melo (2013) indica uma opção de procedimento para o pré-dimensionamento de vigas. Primeiramente determina-se a largura da base do elemento (b_w) de acordo com o vão:

- $b_w = 12$ cm (vão ≤ 4 m);
- $b_w = 20$ cm (4 m < vão ≤ 8 m);
- $b_w = 25$ a 30 cm (vão > 8 m).

Para obter-se a altura de uma viga bi-apoiada, a Equação (03) pode ser utilizada:

$$h = l/10 \quad (03)$$

Onde:

h é a altura da viga;

l é o comprimento da viga.

Para vigas em balanço usa-se a Equação (04):

$$h = l/6 \quad (04)$$

2.7.3 Pré-Dimensionamento de Lajes

2.7.3.1 Lajes Maciças

Primeiramente determinam-se as medidas referentes ao l_x (menor dimensão da laje medida a partir do centro de cada viga). De acordo com Dias (2004), a espessura da laje maciça bidirecional deve estar dentro do intervalo da Equação (05):

$$\frac{l_x}{50} \leq h \leq \frac{l_x}{40} \quad (05)$$

2.7.3.2 Lajes Nervuradas com Fôrmas Reutilizáveis

Di Pietro (2000) indica que a altura de uma laje nervurada armada em duas direções pode ser considerada inicialmente como mostrado pela Equação (06):

$$h \geq \frac{l}{40} \quad (06)$$

Onde:

l é o menor vão da laje;

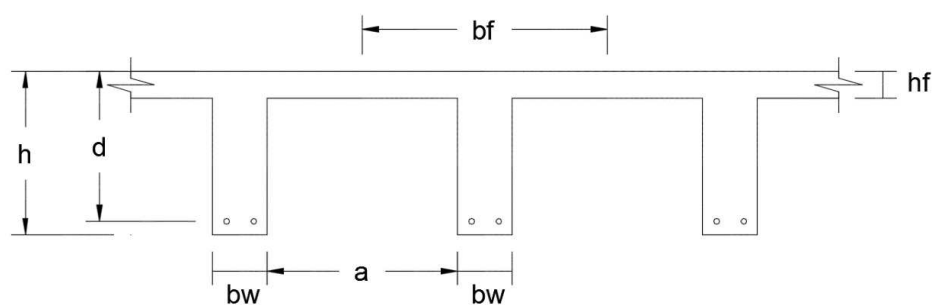
h é a espessura total da laje.

A partir da espessura total, é possível utilizar as tabelas fornecidas pelas fabricantes de fôrmas reutilizáveis para encontrar a altura do molde, a capa de concreto e a largura da nervura em função do vão e da carga. Um exemplo desse tipo de tabela pode ser visto no Anexo B.

Mesmo no pré-dimensionamento, é importante ter em vista algumas recomendações das normas. Tais recomendações, dispostas no item 13.2.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014), indicam que a mesa de uma laje nervurada (Figura 9) não pode apresentar espessura mínima (h_f) inferior à 3 cm e, no caso da existência de tubulações horizontais embutidas, $h_f \geq 4 \text{ cm}$. Ainda, a espessura da mesa deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as faces das nervuras. Em resumo tem-se o que apresenta a Equação (07):

$$h_f \geq \begin{cases} 3 \text{ cm} \\ 4 \text{ cm} \text{ (tubulações com } \varnothing \leq 12,5\text{mm)} \\ a/15 \end{cases} \quad (07)$$

Figura 9 - Perfil de uma laje nervurada



Fonte: O Autor (2017).

Ainda, a norma dispõe que a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm e que nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão.

No caso da verificação do espaçamento entre eixos das nervuras, a NBR 6118 (ABNT, 2014) aponta que:

a) $bf \leq 65 \text{ cm}$

- A verificação de flecha na mesa é dispensada;
- Para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, é possível considerar os critérios de laje.

b) $65 < bf \leq 110 \text{ cm}$

- 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) $bf > 110 \text{ cm}$

- A mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

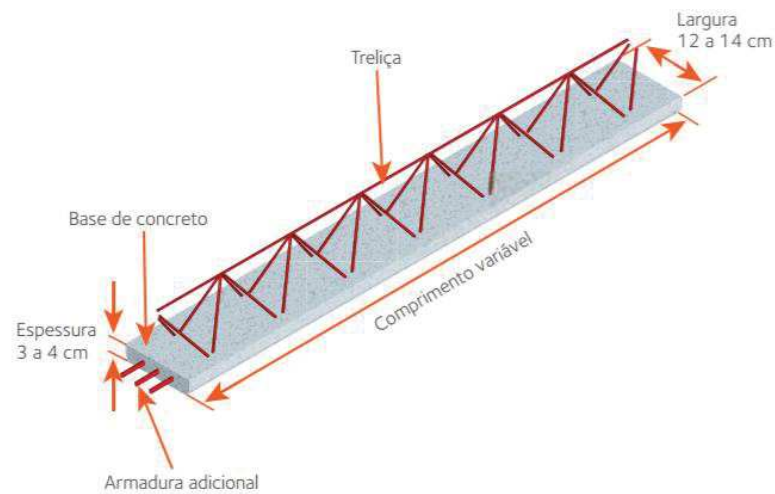
2.7.3.3 Lajes Nervuradas com Vigotas Trelaçadas

A NBR 6118 (ABNT, 2014) não apresenta indicações quanto ao dimensionamento de lajes pré-moldadas trelaçadas. Para isto, é indicado usar as recomendações dos fabricantes. Como exemplo, será utilizado o Manual Técnico de Lajes Trelaçadas (ARCELORMITTAL, 2010).

O pré-dimensionamento deve começar escolhendo-se a altura do elemento de enchimento que, quanto mais alto, maior será o vão livre possível. Sabendo o comprimento do vão, utiliza-se uma das tabelas de armaduras adicionais para conferir se a espessura da lajota em análise suporta aquele vão. Caso não seja suficiente, analisa-se a tabela de um elemento de enchimento mais alto. Com a lajota selecionada, verifica-se a espessura mínima de capa resistente para tal caso, conforme a tabela de capa mínima resistente para as alturas totais padronizadas.

Para selecionar a armadura da vigota, volta-se a tabela de armaduras adicionais. Para a conferência de carga ou, caso o dimensionamento seja feito por um *software*, informa-se as dimensões da base da vigota ao programa. Para o fabricante em questão, estas dimensões são padronizadas e apresentadas na Figura 10. Todas as tabelas citadas encontram-se disponíveis no Anexo C.

Figura 10 - Dimensões das treliças ArcelorMittal



Fonte: ArcelorMittal (2010).

2.8 REVISÃO DA LITERATURA

2.8.1 Albuquerque e Pinheiro (2002)

Este estudo contemplou um edifício de 20 pavimentos para a cidade de Fortaleza/CE, cada pavimento com dois apartamentos de 105 m² de área útil. Os autores modelaram diferentes sistemas de laje com auxílio do *software* TQS, sendo eles lajes maciças, lajes com caixotes reutilizáveis de polipropileno, lajes com enchimento de tijolo, lajes pré-fabricadas, lajes lisas nervuradas e lajes com protensão com monocordoalhas engraxadas.

Para a estimativa de custos, os autores consultaram o banco de dados de uma construtora da região, adotando-se, para cada caso, os preços unitários de obras já executadas com o mesmo sistema de lajes.

Foi constatado que a alternativa mais econômica foi a estrutura convencional, com pilares e vigas, e lajes com utilização de caixotes de polipropileno reaproveitáveis, implicando numa redução de 15,2% do custo total da obra, em relação às lajes maciças, seguido pelo sistema de lajes treliçadas pré-fabricadas bidirecionais, que apresentou uma economia de 10,8%.

2.8.2 Vizotto e Sartorti (2010)

Neste estudo foram analisados os sistemas de lajes maciças, lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas treliçadas e lajes nervuradas com fôrmas reutilizáveis para uma laje hipotética simplesmente apoiada. A análise contemplou os custos dos materiais para a região de Campinas-SP, para o período de 2009.

A laje formada por vigotas pré-fabricadas treliçadas teve um custo 19,1% menor que a laje maciça, enquanto o sistema com fôrmas reutilizáveis apresentou uma economia de apenas 0,8%.

2.8.3 Lopes (2012)

No estudo realizado por Lopes (2012), foi modelado um edifício com um pavimento de subsolo, um pavimento térreo, quatro pavimentos-tipo, um pavimento de cobertura e um de coberta, bem como o reservatório de água superior e a casa de máquinas.

Para esta análise, o autor utilizou o *software* CYPECAD 2010 e, para a composição dos custos dos sistemas, foi utilizada a tabela SINAPI de preços de insumos para o estado de Pernambuco, referente ao mês de agosto de 2012.

Neste estudo foi constatado que o sistema com estrutura convencional e lajes nervuradas feitas com fôrmas reaproveitáveis tiveram o melhor desempenho,

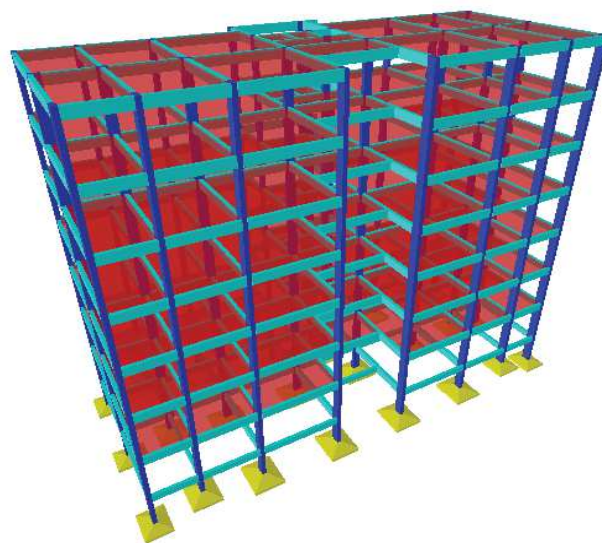
gerando uma economia de aproximadamente 11,2% no custo total da obra em relação ao sistema estrutural constituído por lajes maciças. O autor aponta que os fatores responsáveis foram o baixo consumo de material e mão de obra em relação aos outros modelos analisados. Já o sistema com vigotas pré-fabricadas apresentou uma redução de 6,9% no custo global da estrutura.

2.9 EBERICK V8

O *software* Eberick V8 é produzido e distribuído pela AltoQi Tecnologia em Informática Ltda. A AltoQi é uma empresa consolidada no mercado brasileiro, situada em Florianópolis-SC e tem ênfase em *softwares* para engenharia. O Eberick é um *software* para elaboração de projetos estruturais, que realiza a análise da estrutura, a modelagem e dimensionamento dos elementos estruturais e ainda permite a geração de pranchas e relatórios de esforços e materiais.

É possível importar o projeto arquitetônico para realizar o lançamento estrutural já compatibilizando ambos os projetos. Também é possível visualizar o modelo 3D da estrutura enquanto realizar o seu lançamento, para verificar interferências com outras partes do projeto ou irregularidades. A Figura 11 mostra um exemplo do pórtico 3D:

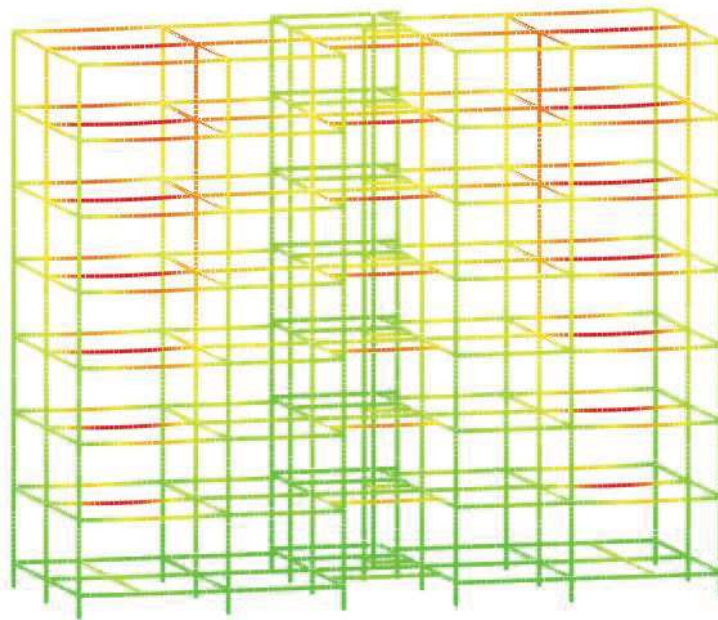
Figura 11 - Representação do Modelo 3D gerada pelo Eberick



Fonte: O Autor (2018).

Conforme Coelho *et al.* (2010), o programa verifica os elementos para o estado limite último e de serviço (ELU e ELS) de acordo com as normas brasileiras. A análise feita pelo *software* é dividida em duas partes, sendo elas o cálculo dos painéis de lajes e o cálculo do pórtico espacial. Apesar do programa não considerar as lajes no cálculo do pórtico espacial, elas são contabilizadas através de uma hipótese de diafragma rígido, ou seja, as lajes são consideradas infinitamente rígidas no seu plano, fazendo com que todos os pontos de seus contornos se desloquem uniformemente. Um exemplo de pórtico espacial pode ser visto na Figura 12.

Figura 12 - Exemplo de Deslocamentos no Pórtico para o Modelo Elástico

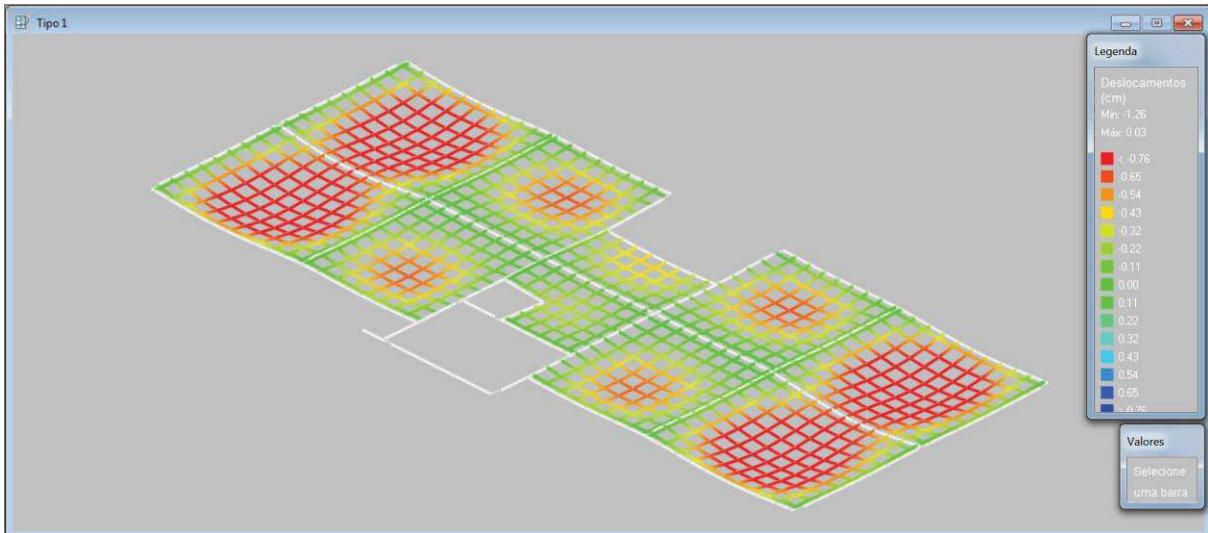


Fonte: O Autor (2018).

Para o cálculo dos esforços nas lajes, o programa utiliza o processo de analogia de grelha. De acordo com Silva *et al.* (2003), este método consiste em separar a laje e as vigas em uma série de barras ortogonais, que se cruzam para formar a grelha. Tal método se mostra bastante preciso, principalmente quando utilizado por uma ferramenta computacional.

Dentro do *software*, é possível que o usuário defina a distância dessas barras, para o caso de lajes maciças. Para as lajes nervuradas o programa irá posicionar automaticamente as barras nas nervuras, como no exemplo da Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de Deslocamentos em uma Grelha de Laje Nervurada



Fonte: O Autor (2018).

Spohr (2008) ainda lista as principais características e vantagens deste *software*:

- Entrada gráfica de dados em ambiente CAD;
- Visualização do modelo tridimensional sem a necessidade de processamento da estrutura;
- Análise do pórtico espacial com verificação da estabilidade global;
- Diferentes ligações de elementos, como rótulas, engastes e ligações semi-rígidas;
- Dimensionamento de acordo com as normas brasileiras;
- Detalhamento automático dos elementos e possibilidade de edição do arranjo do aço;
- Apresentação de diagramas de esforços para os elementos estruturais;
- Geração de pranchas e relatórios com formatos configuráveis para adaptar aos modelos usuais do mercado.

Conforme Martinelli (2010), após o processamento da estrutura, o programa apresenta dois tipos de mensagens quando é identificada alguma incoerência ou impossibilidade no projeto. Elas podem ser mensagens de erros ou avisos:

- Erros: Os erros são emitidos quando os elementos estruturais não apresentam condições suficientes ou adequadas para o dimensionamento ou detalhamento. Logo, o trabalho deve ser interrompido e faz-se necessário analisar o erro apontado, procurando a melhor solução possível. Os elementos não são detalhados.
- Avisos: Os avisos emitidos pelo programa não impedem o detalhamento do elemento estrutural. Os avisos são apresentados quando os elementos apresentam uma situação particular, que exige alguma verificação por parte do engenheiro, pois ela não foi realizada pelo programa. O caso de flechas excessivas em lajes serve como exemplo, pois apesar da mensagem de aviso, os elementos são calculados e detalhados.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foi efetuada uma comparação de custos entre as superestruturas de sistemas com diferentes tipos de lajes em concreto armado. Primeiramente foram definidos os tipos de laje a serem utilizados e, em seguida, escolheu-se um edifício-exemplo e seu projeto arquitetônico para servir de base para os lançamentos estruturais de cada tipo de sistema. Após os lançamentos, efetuou-se a análise e dimensionamento estrutural de cada modelo utilizando um *software* de cálculo estrutural (Eberick V8).

Com os resultados fornecidos pelo *software*, obteve-se a lista dos quantitativos de materiais, divididos de acordo com o material (concreto, aço e fôrmas) e o elemento estrutural em que foi usado (pilares, vigas ou lajes). Logo, utilizando-se de tabelas para composição de custos e de tabelas de preços de insumos, foi elaborado um orçamento para cada caso.

Os custos foram divididos e categorizados de acordo com o elemento estrutural e com o material empregado, e também foi calculado o custo global da superestrutura de cada sistema. Esses custos foram então comparados entre si. Também foram criados índices que expressam o consumo e preço de cada material por unidade de área da edificação.

3.1 TIPOS DE LAJES ANALISADOS

- Estrutura convencional com lajes maciças;
- Estrutura convencional com lajes formadas por vigotas pré-fabricadas treliçadas, unidirecionais, com blocos de EPS;
- Estrutura convencional com lajes nervuradas, bidirecionais, moldadas com fôrmas reutilizáveis de polipropileno.

Por “estrutura convencional” entende-se a utilização de vigas apoiadas em pilares, ao contrário dos sistemas de lajes lisas e cogumelo, onde não há vigas.

Para seguir o mesmo método dos estudos anteriores citados na seção 2.8, as lajes maciças foram adotadas como referência (índice 100%). Foram escolhidas também as lajes formadas por vigotas pré-fabricadas treliçadas por sua ampla utilização no Brasil (CUNHA, 2012), e as nervuradas com fôrmas removíveis por apresentarem os menores custos na maior parte dos estudos mencionados.

3.2 EDIFÍCIO-EXEMPLO

O projeto arquitetônico do edifício exemplo foi fornecido pela construtora Bettega, de Toledo-PR. A autorização de uso encontra-se no Apêndice A. O projeto apresenta uma edificação de sete pavimentos, sendo um pavimento térreo com garagem e sala comercial, cinco pavimentos tipo, com quatro apartamentos em cada andar e um terraço parcialmente coberto, conforme a Figura 14.

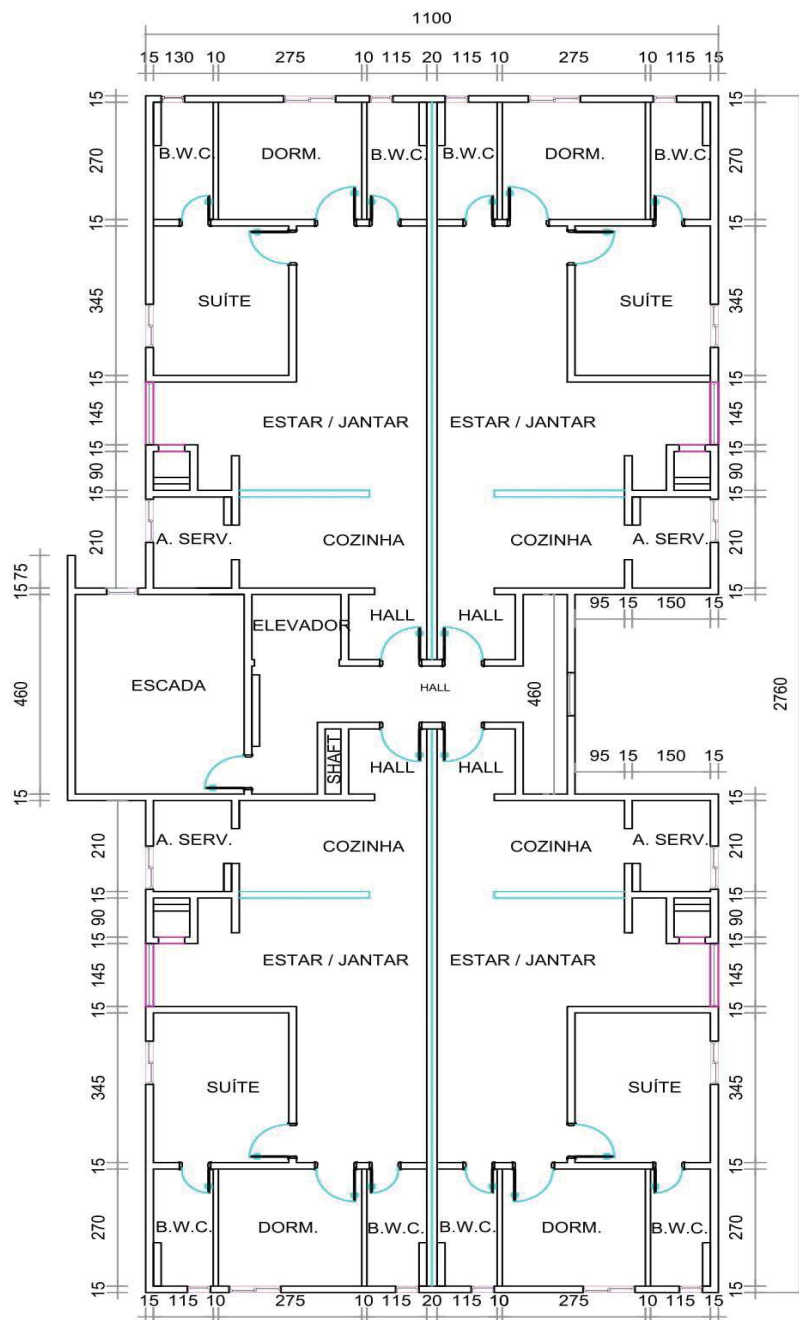
Figura 14 - Edifício Utilizado como Modelo



Fonte: O Autor (2018).

Para a análise, é considerado que todos os pavimentos são iguais ao Tipo 1, resultando numa área total edificada de aproximadamente 2085 m². A distância entre pavimentos tipo é de 3,15 m e a distância das fundações a baldrame é 1 m. Este estudo não contempla os pavimentos da estrutura para caixa d'água, o dimensionamento das escadas e a casa de máquinas para elevador. A planta baixa do projeto arquitetônico pode ser vista na Figura 15.

Figura 15 - Planta Adaptada do Projeto Arquitetônico



Fonte: O Autor (2018).

3.3 MATERIAIS ANALISADOS

- Concreto;
- Aço;
- Fôrmas e escoras;
- Elementos inertes para enchimento.

3.4 ÍNDICES UNITÁRIOS DE COMPARAÇÃO

Os índices de comparação servem para expressar o consumo unitário de determinado material em função da área total da edificação. Eles podem ser usados na análise de custos de projetos semelhantes ao deste trabalho.

3.4.1 Taxa de aço (ia)

É dada pela razão do consumo total de aço da estrutura e a área total da edificação, conforme a Equação (08):

$$ia = \frac{Pa}{A} \quad (08)$$

Onde:

Pa = consumo total de aço, em kg;

A = área total da edificação, em m².

3.4.2 Taxa de concreto (ic)

É expressa pelo consumo total de concreto e a área total da edificação, conforme a Equação (09):

$$i_c = \frac{v_c}{A} \quad (09)$$

Onde:

v_c = volume total de concreto, em m³;

A = área total da edificação, em m².

3.4.3 Taxa de fôrmas (i_f)

É a razão entre a área das fôrmas e a área total do edifício, como na Equação (10):

$$i_f = \frac{A_f}{A} \quad (10)$$

Onde:

A_f = área total de fôrmas, em m²;

A = área total da edificação, em m².

3.5 DADOS UTILIZADOS NO DIMENSIONAMENTO

Buscou-se seguir as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014), conforme indicado na seção 2.6.

3.5.1 Resistência do concreto (f_{ck})

Para todas as análises, considerou-se a resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) igual a 25 MPa para todos os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes).

3.5.2 Resistência do aço

O aço utilizado com diâmetro de 5,0 mm pertence a classe CA-60. O aço utilizado com os diâmetros de 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0; 25,0 mm são da classe CA-50.

3.5.3 Cobrimento (*c*)

Adotou-se a classe de agressividade ambiental II para o presente trabalho, que exigem os valores de cobrimento (*c*) de 3 cm para vigas e pilares e 2,5 cm para lajes, conforme descrito na tabela 7.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

3.5.4 Força do Vento

A velocidade básica foi considerada de acordo com o mapa das isopletas, resultando em $V_o = 47\text{m/s}$.

3.5.5 Cargas

As cargas provenientes do peso próprio da estrutura e de ações variáveis utilizadas foram as indicadas no item 2.6.1.

Para a carga das paredes descontou-se as aberturas de portas e janelas, a fim de otimizar o projeto.

3.5.6 Definição das Seções Iniciais dos Elementos Estruturais

Os elementos estruturais foram posicionados inicialmente conforme a sugestão do projeto arquitetônico. Suas dimensões iniciais foram obtidas através dos resultados dos cálculos de pré-dimensionamento descritos na seção 2.8.

Após cada processamento da estrutura, corrigiram-se os erros e avisos emitidos pelo programa através do redimensionamento ou reposicionamento dos elementos ou, quando se fez necessário, elementos estruturais foram adicionados ou removidos.

Sempre que possível as seções foram reduzidas a fim de diminuir o consumo de materiais, procedendo-se com a atualização do custo total da superestrutura para o novo arranjo, pois em alguns casos a diminuição da seção de determinado elemento estrutural implicou no aumento exponencial da taxa de aço no próprio elemento ou em outros, que é um comportamento desfavorável para o custo. Nestes casos voltava-se à seção anterior.

Também se buscou seguir a maior uniformização possível das seções, com o propósito de aumentar a reutilização de fôrmas e facilitar a execução no canteiro.

3.6 CÁLCULO DOS CUSTOS

Como o custo apenas dos materiais não expressa fielmente o que acontece na realidade, já que enquanto um sistema poder ter um menor consumo de materiais, ele pode exigir mais mão-de-obra, optou-se por utilizar as tabelas de composição de serviços disponibilizadas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), assim como os preços dos insumos para o estado do Paraná relativos ao mês de fevereiro de 2018. As composições utilizadas são apresentadas no ANEXO A. Nos casos em que as tabelas do SINAPI não foram suficientes, outras fontes foram utilizadas.

O custo unitário básico da construção (CUB), calculado pelo Sindicato da Construção (SINDUSCON), correspondia à R\$1.342,49 para o mesmo período. Como a superestrutura é responsável por 15% a 20% dos custos da obra, esperou-

se que as superestruturas em análise, que contam com uma área de 2085 m², apresentassem um custo entre R\$ 419.863,40 e R\$ 559.818,00.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES MACIÇAS

4.1.1 Quantitativo de Materiais e Índices

O quantitativo de materiais deste sistema é apresentado na Tabela 3. Já a Tabela 4 traz os índices unitários gerais dos materiais, enquanto a Tabela 5 demonstra os deslocamentos horizontais da estrutura e o coeficiente γ_z do sistema. A Figura 16 exibe a planta de fôrmas para este caso.

Tabela 3 – Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Maciças

	Pilares	Vigas	Lajes
Fôrmas (m ²)	1049,9	1933	1725
Aço 5 mm (kg)	1854,3	1672,5	6304,6
Aço 6,3 mm (kg)	-	79,2	2781,8
Aço 8 mm (kg)	-	6501,1	2128,4
Aço 10 mm (kg)	3797,7	1209,6	-
Aço 12,5 mm (kg)	535,5	-	-
Aço 16 mm (kg)	1209,6	-	-
Aço 20 mm (kg)	1069,5	-	-
Aço Total (kg)	8466,6	9462,4	11214,8
Concreto (m ³)	88,3	165,9	184,5

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 4 – Índices Gerais para o Sistema com Lajes Maciças

Taxa de Concreto (m ³ /m ²)	Taxa de Aço (kg/m ²)	Taxa de Fôrmas (m ² /m ²)
0,23	15,38	2,48

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 5 – Deslocamentos e Coeficiente γ_z

	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (cm)	1,34 (lim 1,36)	0,35 (lim 1,36)
γ_z	1,06	1,05

Fonte: O Autor (2018).

4.2 SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES TRELIÇADAS

Foi possível dimensionar todos os painéis com as vigotas TR12 nos pavimentos tipo. Como a carga aplicada na laje de cobertura é menor, foi utilizado o perfil TR08, que apresentou flechas dentro dos limites. A Figura 17 exhibe a planta de fôrmas para este caso.

4.2.1 Quantitativo de Materiais e Índices

O quantitativo de materiais deste sistema é apresentado na Tabela 6. As Tabelas 7 e 8 mostram, respectivamente, o quantitativo das vigotas pré-fabricadas e os elementos de enchimento. Já a Tabela 9 traz os índices unitários gerais dos materiais, enquanto a Tabela 10 demonstra os deslocamentos horizontais da estrutura e o coeficiente γ_z do sistema.

Tabela 6 - Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas

	Pilares	Vigas	Lajes
Fôrmas (m²)	1004,4	1902,6	-
Aço 5 mm (kg)	1667,6	1629,9	147,7
Aço 6,3 mm (kg)	-	4777,5	1409,4
Aço 8 mm (kg)	-	1494,1	1405,0
Aço 10 mm (kg)	3870,8	292,4	-
Aço 12,5 mm (kg)	756,1	-	-
Aço 16 mm (kg)	545,3	-	-
Aço 20 mm (kg)	415,7	-	-
Aço Total (kg)	7255,5	8193,9	2962,1
Concreto (m³)	72,8	152,6	94,1

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 7 – Quantitativo de Vigotas Trelaçadas

Vigotas Pré-Fabricadas (m²)	
TR08644	270,74
TR12645	1624,42

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 8 – Quantitativo de elementos de Enchimento

Blocos de Enchimento (un.)	
EPS 8x40x100	585
EPS 12x40x100	3492

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 9– Índices Gerais para o Sistema com Lajes Trelaçadas Pré-Fabricadas

Taxa de Concreto (m ³ /m ²)	Taxa de Aço (kg/m ²)	Taxa de Fôrmas (m ² /m ²)
0,15	8,83	0,47

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 10 - Deslocamentos e Coeficiente γ_z para o Sistema com Lajes Trelaçadas Pré-Fabricadas

	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (cm)	1,30 (lim 1,36)	0,39 (lim 1,36)
γ_z	1,07	1,06

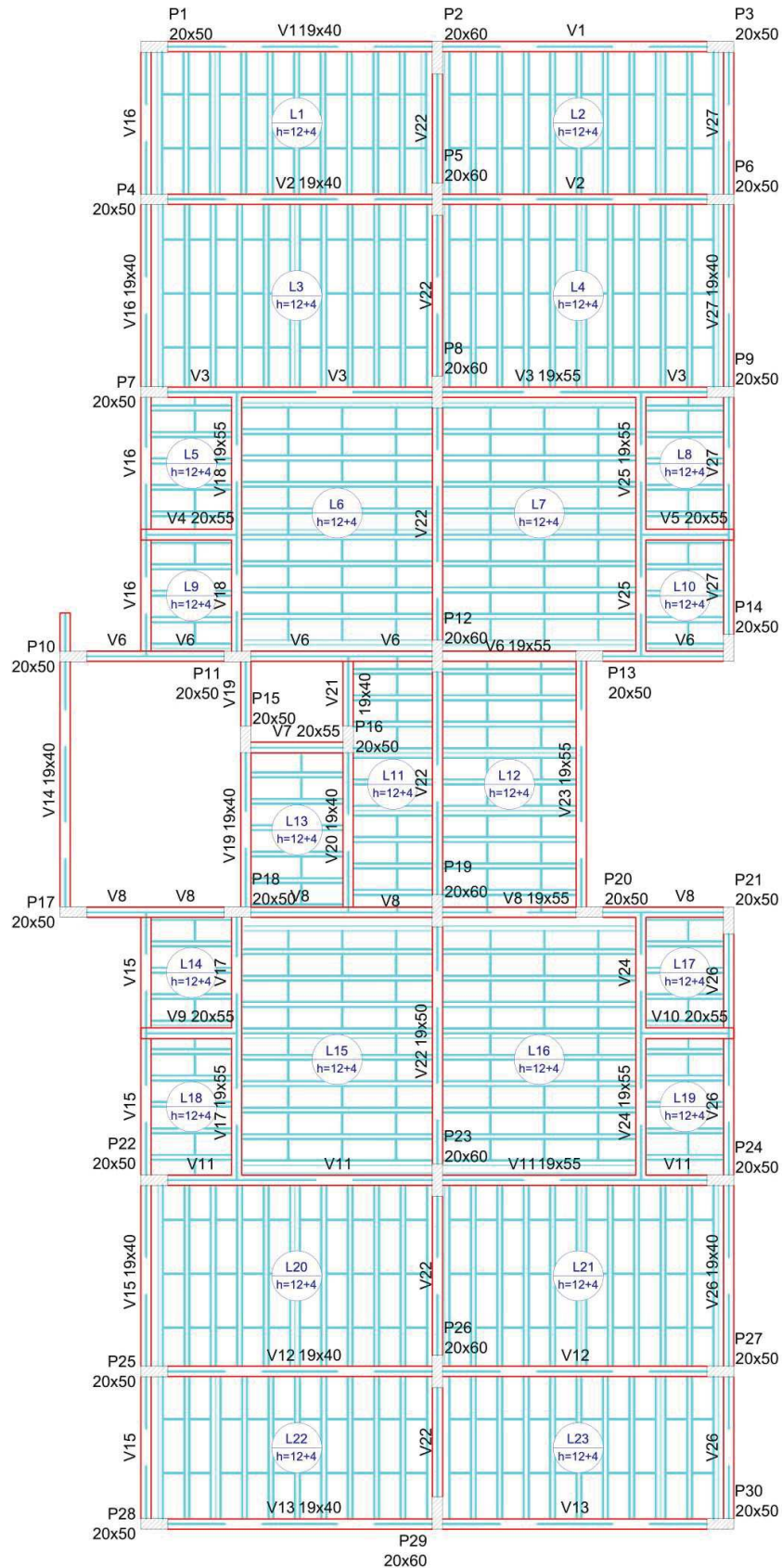
Fonte: O Autor (2018).

Apesar do Manual Técnico de Lajes Trelaçadas (ArcelorMittal 2010) indicar um espaçamento entre escoras de 1,10 m para lajes em que os elementos inertes tenham 8 cm de altura e 1,50 m para lajes com elementos de 12 cm de altura, adotou-se o espaçamento entre escoras como 1,20 m para ser compatível com as tabelas de custo do SINAPI.

Para as armaduras adicionais deste sistema, considerou-se uma armadura de distribuição com \emptyset 6,3 mm a cada 30 cm para as lajes dos pavimentos tipo e armadura com \emptyset 5,0 mm a cada 30 cm para o pavimento de cobertura. Já as armaduras negativas foram consideradas \emptyset 8 mm por vigora para os pavimentos tipo e \emptyset 8 mm por vigora para o pavimento de cobertura.

Como existem paredes sobre as lajes, foram posicionadas vigotas duplas apenas na faixa destas paredes, evitando-se assim flechas excessivas em tais regiões.

Figura 17 - Planta de Fôrmas do Pavimento Tipo para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas



Fonte: O Autor (2018).

4.3 SISTEMA ESTRUTURAL CONVENCIONAL COM LAJES NERVURADAS COM CUBETAS DE POLIPROPILENO

Neste sistema, foi possível retirar as vigas v2 e v12, assim como os pilares que as sustentavam, aumentando o vão sem gerar flechas excessivas nas lajes, nem instabilidade na estrutura, característica das lajes nervuradas bidirecionais.

Foi adotada a fôrma com seção 18x61x61 cm, pois se obteve o menor custo total da obra quando este perfil foi utilizado. A Figura 18 exibe a planta de fôrmas para este sistema.

4.3.1 Quantitativo de Materiais e Índices

O quantitativo de materiais deste sistema é apresentado na Tabela 11. A Tabela 12 mostra a quantidade de cubetas necessárias por pavimento. Já a Tabela 13 traz os índices unitários gerais dos materiais, enquanto a Tabela 14 demonstra os deslocamentos horizontais da estrutura e o coeficiente γ_z do sistema.

Tabela 11 - Quantitativo de Materiais para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis

	Pilares	Vigas	Lajes
Fôrmas (m²)	819,7	1574,7	1725
Aço 5 mm (kg)	1443,3	1294,4	4113,5
Aço 6,3 mm (kg)	-	1136	45,5
Aço 8 mm (kg)	-	1832,8	133,5
Aço 10 mm (kg)	2946,9	1530,1	748,7
Aço 12,5 mm (kg)	1319,8	1232,1	6761
Aço 16 mm (kg)	786,2	1548,6	-
Aço 20 mm (kg)	445,8	294,2	-
Aço Total (kg)	6942	8868,2	11802,2
Concreto (m³)	68,1	112,4	158,7

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 12 – Quantitativo de Cubetas por Pavimento para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis

Seção	altura (cm)	dir. x (cm)	dir. y (cm)	Quantidade
B18/61/61	18	61	61	591
B18/30,5/61	18	30,5	61	39

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 13 – Índices Gerais para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis

Taxa de Concreto (m ³ /m ²)	Taxa de Aço (kg/m ²)	Taxa de Fôrmas (m ² /m ²)
0,18	14,57	2,17

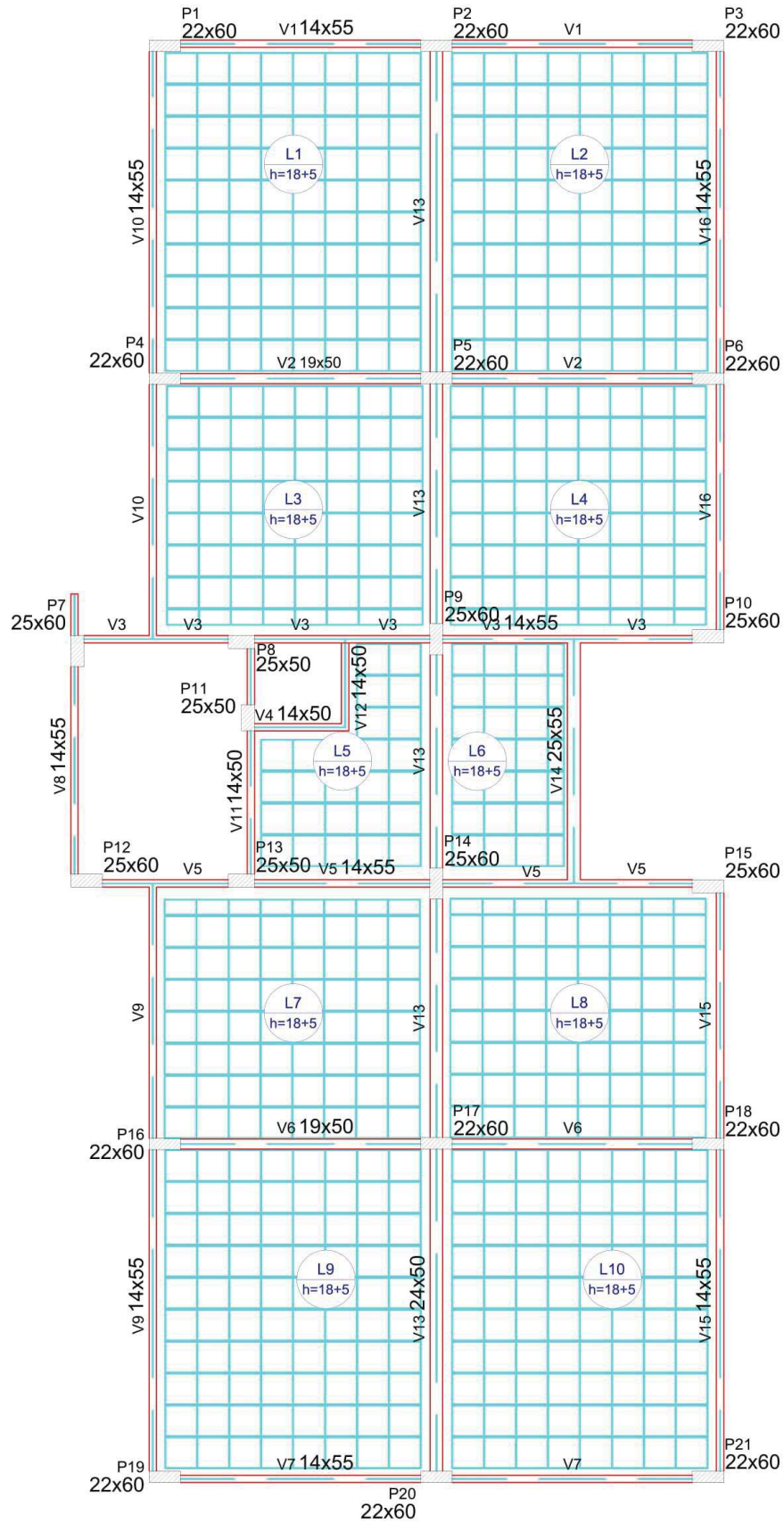
Fonte: O Autor (2018).

Tabela 14 Deslocamentos e Coeficiente γ_z para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis

	Direção X	Direção Y
Deslocamento Total (cm)	1,34 (lim 1,36)	0,63 (lim 1,36)
γ_z	1,07	1,10

Fonte: O Autor (2018).

Figura 18 - Planta de Fôrmas para o Sistema com Lajes Nervuradas com Cubetas Reutilizáveis



Fonte: O Autor (2018).

4.4 COMPARATIVO DE MATERIAIS ENTRE SISTEMAS

A Tabela 15 apresenta um resumo das quantidades de materiais de cada sistema e a diferença percentual entre eles. As Figuras 19, 20 e 21 mostram os consumos de cada material, em cada sistema.

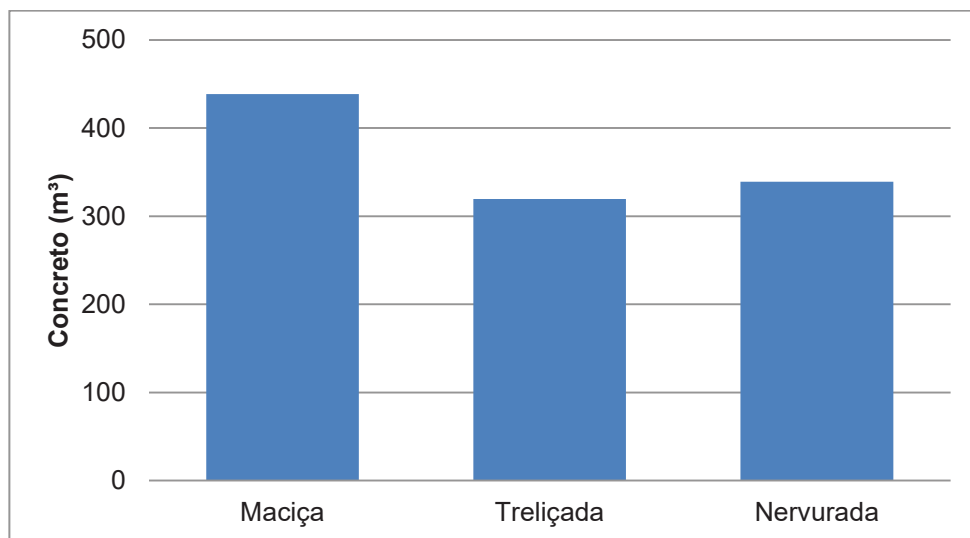
Tabela 15 – Quantidades Totais de Materiais por Sistema e Índices Unitários

Sistema	Concreto (m ³)		Aço (kg)		Fôrmas e Escoras (m ²)		Taxa de Concreto (m ³ /m ²)	Taxa de Aço (kg/m ²)	Taxa de Fôrmas (m ² /m ²)
Maciça	438,7	100%	29143,8	100%	4707,9	100%	0,23	15,38	2,48
Pré-Fabricada*	319,5	-27%	18411,4	-37%	2907,0	-38%	0,15	8,83	0,47
Nervurada	339,2	-23%	27612,4	-5%	4119,4	-13%	0,18	14,57	2,17

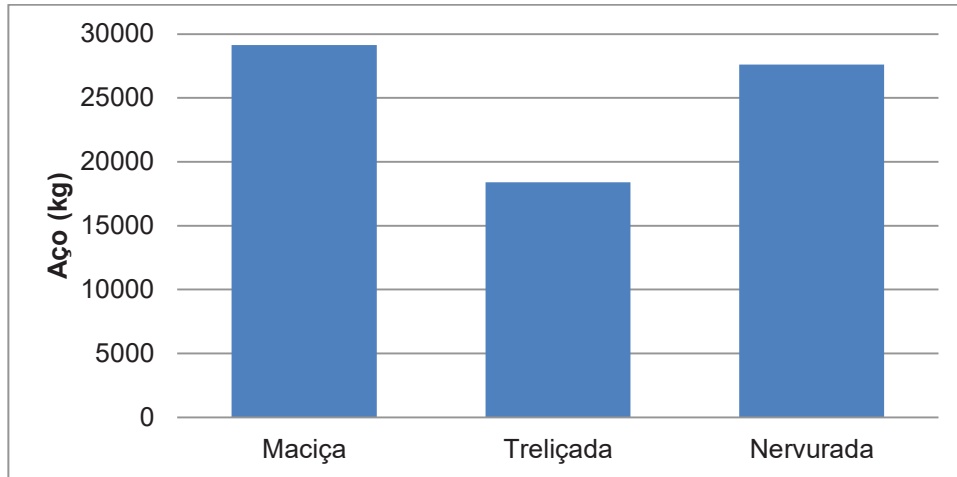
Fonte: O Autor (2018).

*O consumo de concreto e aço das vigotas pré-fabricadas não está contabilizado neste valor, apenas o concreto que forma a mesa e as armaduras negativas e de distribuição.

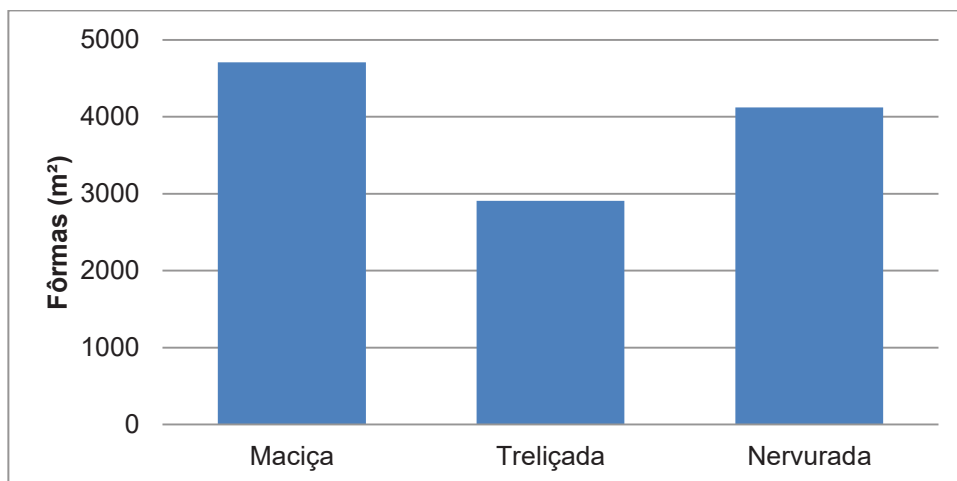
Figura 19 - Comparação do Consumo de Concreto entre os Sistemas



Fonte: O Autor (2018).

Figura 20 - Comparação do Consumo de Aço entre os Sistemas

Fonte: O Autor (2018).

Figura 21 - Comparação do Consumo de Fôrmas entre os Sistemas

Fonte: O Autor (2018).

4.5 CUSTOS

4.5.1 Custos do Sistema com Lajes Maciças

O custo total deste sistema foi R\$ 504.356,00, conforme a Tabela 16. Os custos parciais de acordo com o material e elemento estrutural podem ser visualizados na Figura 22. As vigas foram os elementos estruturais que tiveram o maior impacto no custo total da obra, representando 40% do mesmo, como indica a

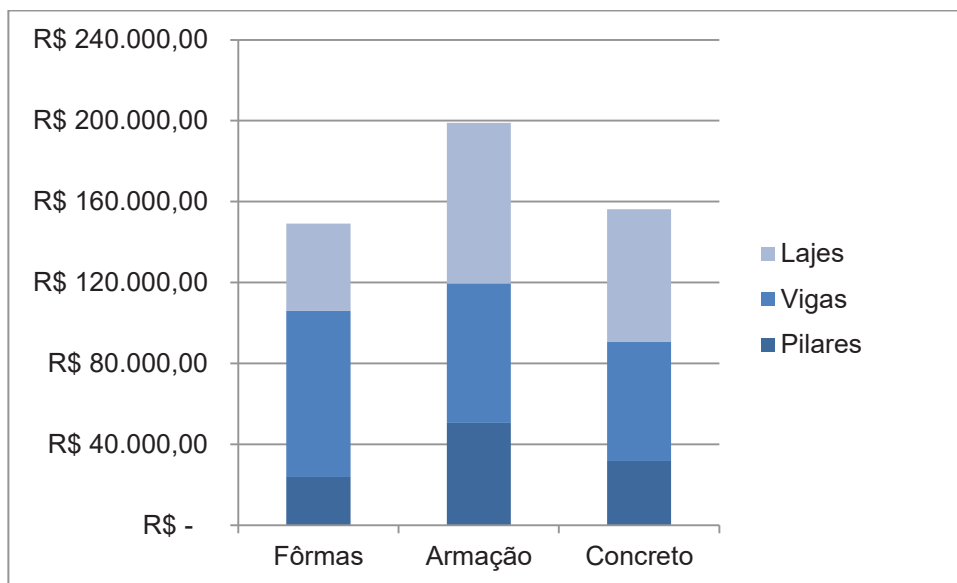
Figura 23. Na divisão por materiais, o aço foi a parcela mais representativa, responsável por 39% do custo total, conforme a Figura 24.

Tabela 16 – Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema com Lajes Maciças

	Pilares		Vigas		Lajes		TOTAL
Fôrmas	R\$	23.853,73	R\$	82.094,51	R\$	43.159,50	R\$ 149.107,74
Armação	R\$	50.556,75	R\$	69.059,47	R\$	79.433,33	R\$ 199.049,55
Concretagem	R\$	31.694,11	R\$	58.947,82	R\$	65.556,79	R\$ 156.198,72
TOTAL	R\$	106.104,59	R\$	210.101,79	R\$	188.149,62	R\$ 504.356,00

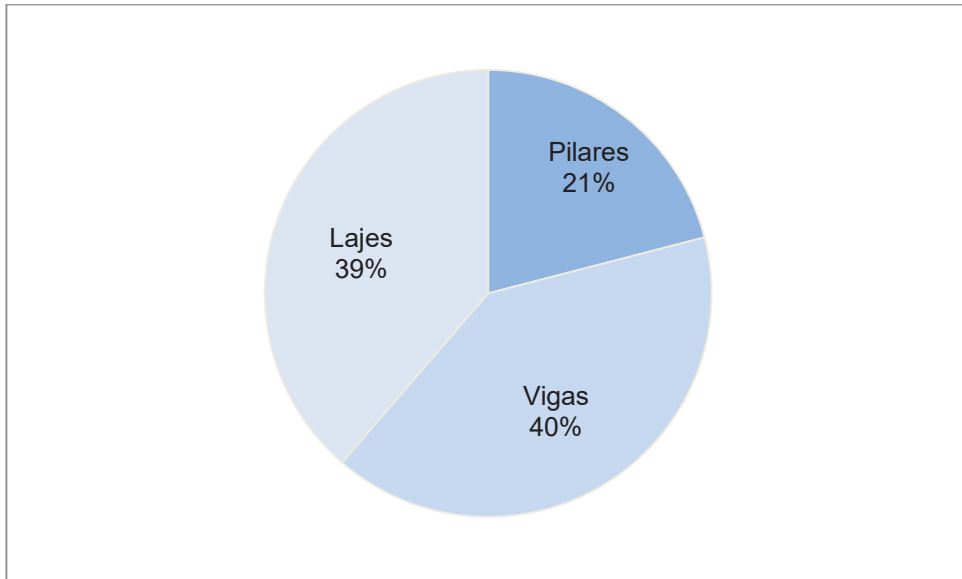
Fonte: O Autor (2018).

Figura 22 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema com Lajes Maciças



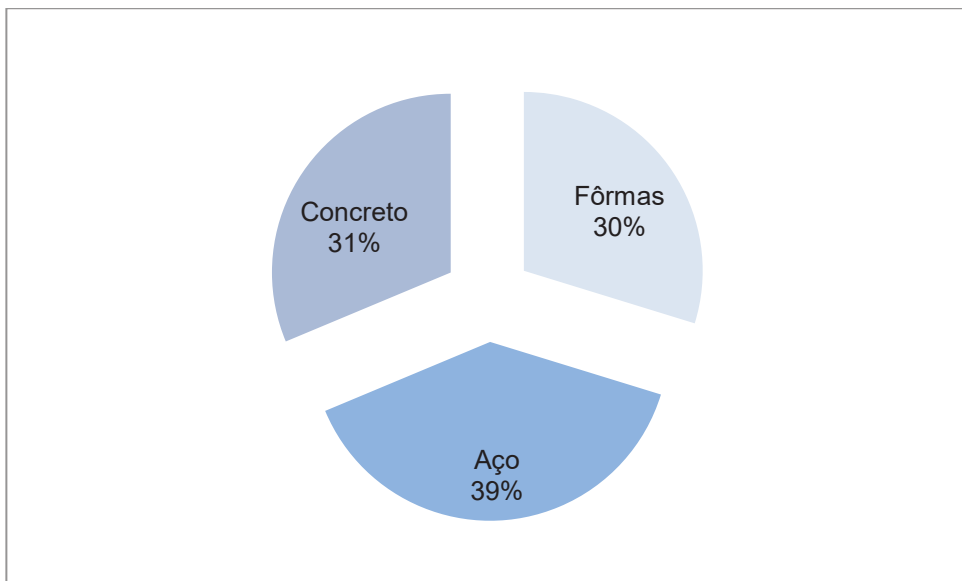
Fonte: O Autor (2018).

Figura 23 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema com Lajes Maciças



Fonte: O Autor (2018).

Figura 24 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema com Lajes Maciças



Fonte: O Autor (2018).

4.5.2 Custos do Sistema com Lajes Trelaçadas

O custo total deste sistema foi R\$ 452.067,05, conforme a Tabela 17. Os custos parciais de acordo com o material e elemento estrutural podem ser

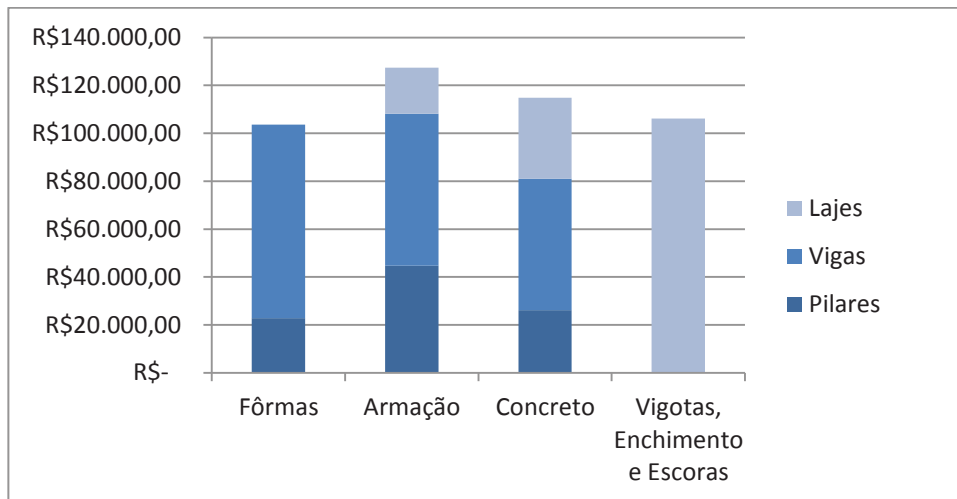
visualizados na Figura 25. Novamente as vigas foram os elementos estruturais que tiveram o maior impacto no custo total da obra, representando 44% do mesmo, como indica a Figura 26. Na divisão por materiais, o aço é responsável pela parcela mais representativa (31% do custo total), conforme a Figura 27. Vale ressaltar que o concreto utilizado nas lajes é referente apenas à parcela da capa de cobertura e o aço referente à malha utilizada sobre os blocos de EPS.

Tabela 17 - Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas

	Pilares		Vigas		Lajes	TOTAL
Fôrmas	R\$	22.819,97	R\$	80.803,42	-	R\$ 103.623,39
Armação	R\$	44.658,64	R\$	63.519,74	R\$ 19.216,07	R\$ 127.394,45
Concretagem	R\$	26.130,59	R\$	54.886,17	R\$ 33.845,27	R\$ 114.862,04
Vigotas, EPS e Escoramento		-		-	R\$ 106.187,184	R\$ 106.187,184
TOTAL	R\$	93.609,20	R\$	199.209,33	R\$ 159.248,52	R\$ 452.067,05

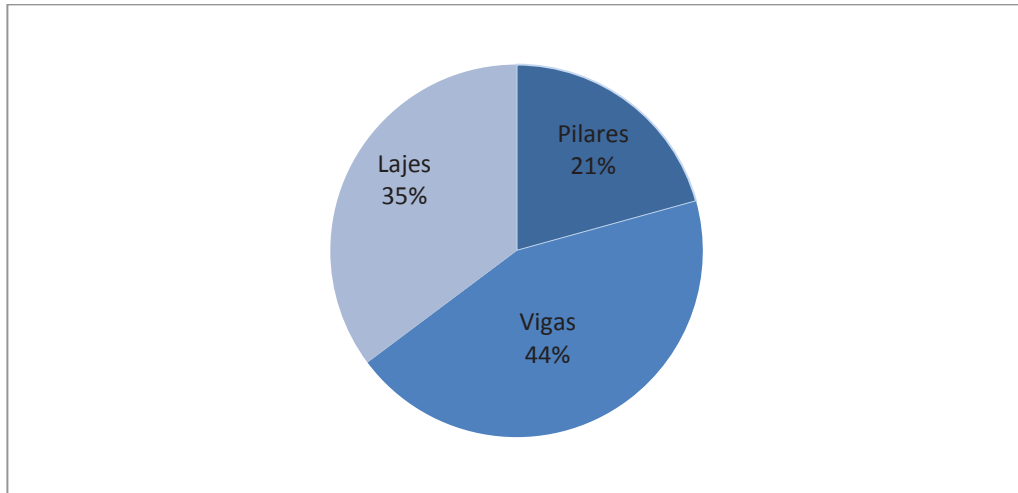
Fonte: O Autor (2018).

Figura 25 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas



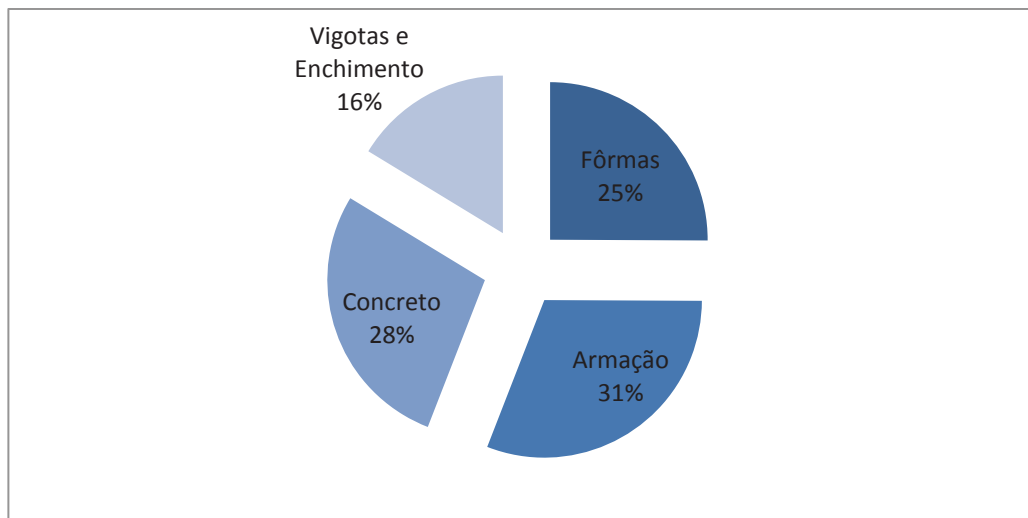
Fonte: O Autor (2018).

Figura 26 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas



Fonte: O Autor (2018).

Figura 27 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas



Fonte: O Autor (2018).

4.5.3 Custos do Sistema com Lajes Nervuradas

O custo total deste sistema foi R\$ 432.410,87, conforme a Tabela 18. Os custos parciais de acordo com o material e elemento podem ser visualizados na Figura 28. As lajes foram os elementos estruturais que tiveram o maior impacto no custo total da obra, representando 43% do mesmo, como indica a Figura 29. Na

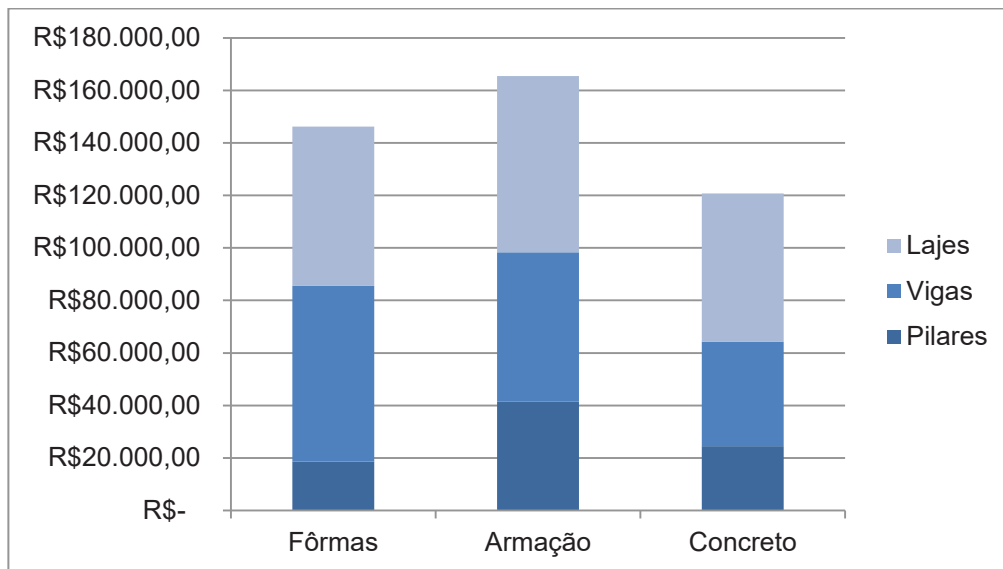
divisão por materiais, o aço foi a parcela mais representativa, responsável por 38% do custo total, conforme a Figura 30. Conforme a composição de custo deste item, as fôrmas de polipropileno são consideradas como locadas.

Tabela 18 - Resumo dos Custos de Acordo com Material e Elemento Estrutura do Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis

	Pilares	Vigas	Lajes	TOTAL
Fôrmas	R\$ 18.623,58	R\$ 66.877,51	R\$ 60.702,66	R\$ 146.203,76
Armação	R\$ 41.475,22	R\$ 56.832,85	R\$ 67.127,83	R\$ 165.435,91
Concretagem	R\$ 24.443,59	R\$ 39.938,12	R\$ 56.389,50	R\$ 120.771,21
TOTAL	R\$ 84.542,39	R\$ 163.648,48	R\$ 184.220,00	R\$ 432.410,87

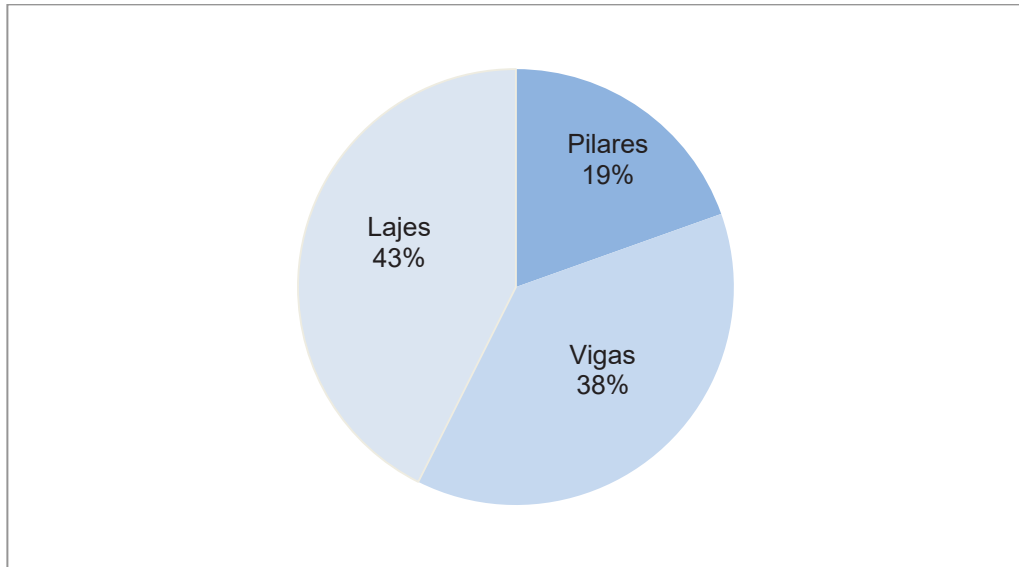
Fonte: O Autor (2018).

Figura 28 - Custos Parciais dos Materiais do Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis



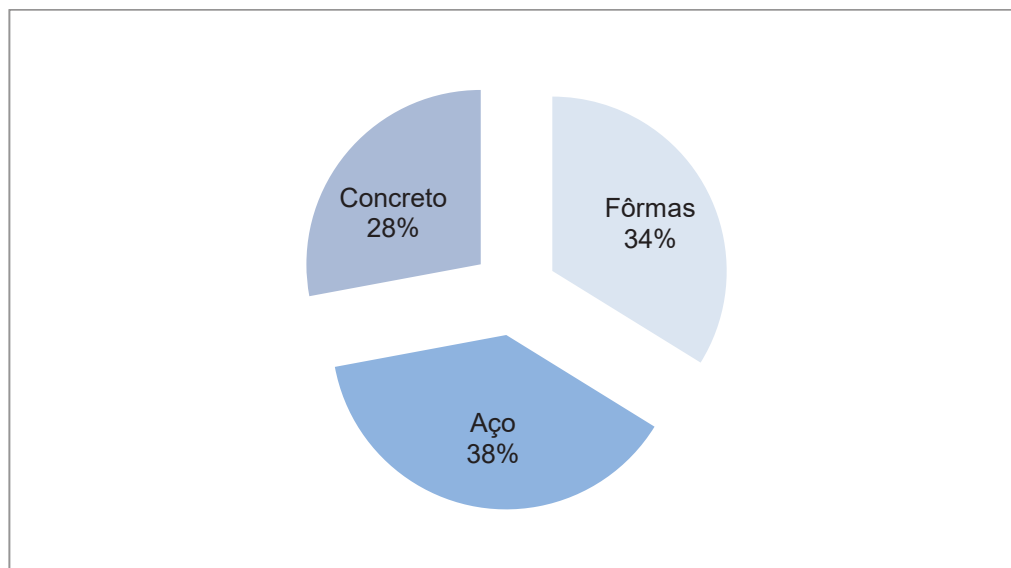
Fonte: O Autor (2018).

Figura 29 - Percentual do Custo Total em Relação aos Elementos Estruturais para o Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis



Fonte: O Autor (2018).

Figura 30 - Percentual do Custo Total em Relação aos Materiais para o Sistema de Lajes com Fôrmas Reutilizáveis



Fonte: O Autor (2018).

4.6 CUSTOS E ÍNDICES UNITÁRIOS

Os custos e índices unitários de cada sistema são apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 19 – Dados Unitários para o Sistema com Lajes Nervuradas

Elemento Estrutural	Insumo	Taxa	Total (R\$/m²)
Lajes		0,09	R\$ 31,44
Vigas	Concreto	0,08	R\$ 28,27
Pilares	(m ³ /m ²)	0,04	R\$ 15,20
Total Parcial		0,21	R\$ 74,92
Lajes		5,38	R\$ 38,10
Vigas	Aço	4,54	R\$ 33,12
Pilares	(kg/m ²)	4,06	R\$ 24,25
Total Parcial		13,98	R\$ 95,47
Lajes		0,83	R\$ 20,70
Vigas	Fôrmas	0,93	R\$ 39,37
Pilares	(m ² /m ²)	0,50	R\$ 11,44
Total Parcial		2,26	R\$ 71,51
Custo Unitário Total			R\$ 241,90
Custo Percentual Comparado ao CUB			18,13%

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 20 - Dados Unitários para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas (continua)

Elemento Estrutural	Insumo	Taxa	Total (R\$/m²)
Lajes		0,05	R\$ 16,23
Vigas	Concreto	0,07	R\$ 26,32
Pilares	(m ³ /m ²)	0,03	R\$ 12,53
Total Parcial		0,15	R\$ 55,09
Lajes		1,42	R\$ 9,22
Vigas	Aço	3,93	R\$ 30,47
Pilares	(kg/m ²)	3,48	R\$ 21,42
Total Parcial		8,83	R\$ 61,10

Tabela 20 – Dados Unitários para o Sistema com Lajes Treliçadas Pré-Fabricadas (conclusão)

Elemento Estrutural	Insumo	Taxa	Total (R\$/m²)
Lajes		-	-
Vigas	Fôrmas	0,07	R\$ 38,75
Pilares	(m ² /m ²)	0,39	R\$ 10,94
Total Parcial		0,47	R\$ 49,70
TR08	Vigotas,	0,13	R\$ 6,45
TR12	EPS e	0,78	R\$ 44,47
	Escoras		
Total Parcial	(m ² /m ²)	0,91	R\$ 50,93
Custo Unitário Total			R\$ 216,82
Custo Percentual Comparado ao CUB			16,25%

Fonte: O Autor (2018).

Tabela 21 - Dados Unitários para o Sistema com Lajes Nervuradas com Fôrmas Reutilizáveis

Elemento Estrutural	Insumo	Taxa	Total (R\$/m²)
Lajes		0,08	R\$ 27,05
Vigas	Concreto	0,05	R\$ 19,15
Pilares	(m ³ /m ²)	0,03	R\$ 11,72
Total Parcial		0,16	R\$ 57,92
Lajes		5,66	R\$ 32,20
Vigas	Aço	4,25	R\$ 27,26
Pilares	(kg/m ²)	3,33	R\$ 19,89
Total Parcial		13,24	R\$ 79,35
Lajes		0,83	R\$ 29,11
Vigas	Fôrmas	0,76	R\$ 32,08
Pilares	(m ² /m ²)	0,39	R\$ 8,93
Total Parcial		1,98	R\$ 70,12
Custo Unitário Total			R\$ 207,39
Custo Percentual Comparado ao CUB			15,45%

Fonte: O Autor (2018).

4.7 COMPARAÇÃO DOS CUSTOS GLOBAIS DA SUPERESTRUTURA

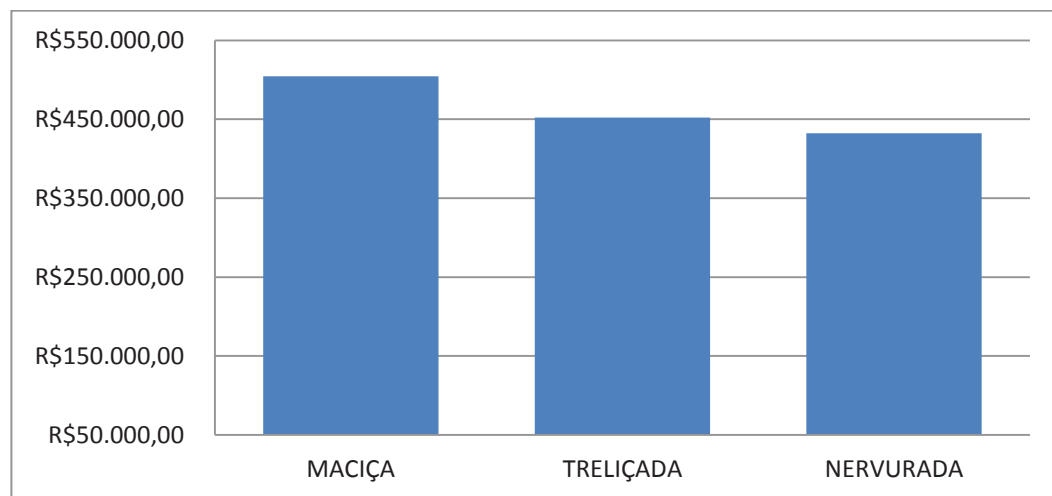
A Tabela 22 mostra que o sistema com lajes pré-fabricadas apresentou uma redução global de custo de 10,4%, enquanto o sistema com lajes nervuradas com fôrmas reutilizáveis teve seu custo reduzido em 14,3% em relação ao sistema com lajes maciças. É possível comparar tais resultados na Figura 31.

Tabela 22 – Resumo dos Custos Globais dos Sistemas

	MACIÇA	TRELIÇADA	NERVURADA
CUSTO (R\$)	R\$ 504.356,00	R\$ 452.067,05	R\$ 432.410,87
DIFERENÇA (R\$)	-	- R\$ 52.288,95	- R\$ 71.945,13
VARIAÇÃO (%)	-	- 10,4%	- 14,3%

Fonte: O Autor (2018).

Figura 31 - Comparação de Custos entre os Sistemas



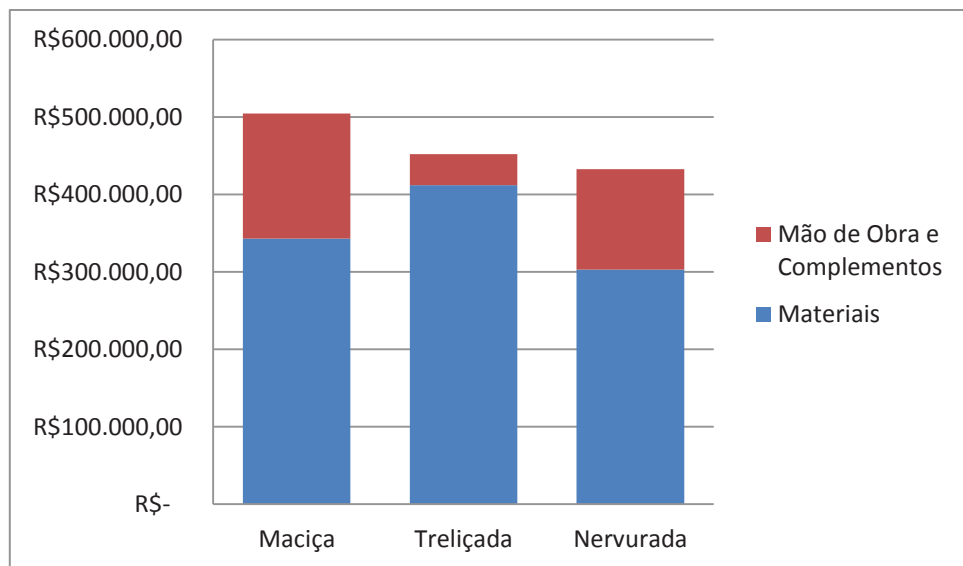
Fonte: O Autor (2018).

4.8 CUSTO CONSIDERANDO APENAS OS MATERIAIS

É possível comparar os custos relativos apenas aos principais materiais, sem contabilizar a mão de obra e materiais para serviços auxiliares, como, por exemplo,

arame para amarrações, desmoldante para fôrmas, etc., restando apenas os custos do concreto, vergalhões de aço e chapas de madeira compensada, como na Figura 32. Com a diferença dos valores, é possível estimar aproximadamente a parcela do custo total que é referente à mão de obra e insumos complementares, para cada caso, representado na Tabela 23.

Figura 32 - Divisão dos Custos dos Sistemas



Fonte: O Autor (2018).

Tabela 23 – Diferenças Entre os Sistemas Considerando Apenas Materiais

Custo Total	Custo de Materiais	Mão de Obra e Serviços Complementares
R\$ 504.356,00	R\$ 342.795,31	32%
R\$ 452.067,05	R\$ 412.099,86	9%
R\$ 432.410,87	R\$ 302.882,23	30%

Fonte: O Autor (2018).

4.9 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES

Mais informações sobre o processamento da estrutura, para cada caso analisado, podem ser encontradas no Apêndice B.

4.9.1 Fundações

Pelo fato de se tratar de um estudo hipotético, optou-se por não incluir as fundações no dimensionamento e orçamento do estudo. Como existem diversas soluções de fundações e a escolha depende da resistência do solo de cada terreno, da presença de água e de outros fatores e, como os custos também variam entre estas soluções, a aplicabilidade dos resultados obtidos só seria possível caso o tipo de fundação usada no estudo fosse a mesma da obra a ser executada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se escolher o sistema estrutural a ser utilizado em um projeto, não se deve comparar apenas os custos dos materiais do sistema desejado, pois isso pode induzir a um orçamento equivocado. Uma estimativa completa deve contemplar outros fatores, como a mão de obra, disponibilidade de materiais e compatibilidade de projetos. Cada sistema estrutural possui peculiaridades que dependem e geram implicações nos outros quesitos da obra, como arquitetura, funcionalidade, estabilidade, etc. Enquanto um sistema pode apresentar menores deformações, seu custo pode ser mais elevado, ou a arquitetura mais recortada, e é responsabilidade do engenheiro conciliar todos os fatores na busca pela melhor solução.

Neste trabalho, a alternativa com estrutura convencional e lajes maciças apresentou o maior custo da superestrutura, equivalente a 18,1% do valor total da edificação, tendo como referência o CUB de fevereiro de 2018 para o estado do Paraná. Apesar de a estrutura ter apresentado maior rigidez, as lajes maciças exigem painéis de lajes pequenos (restrição imposta pelo consumo exponencial de concreto conforme se aumenta a espessura), o que provoca um acréscimo do número de vigas no sistema.

O sistema mais econômico analisado neste trabalho foi o que empregou o uso de fôrmas de polipropileno nas lajes, diminuindo em 14,3% o custo da superestrutura em relação ao sistema com lajes maciças. Tal resultado é explicado por diversos motivos, como o menor número de vigas na estrutura, que se deve aos poucos recortes nos painéis de lajes e a possibilidade de enfrentar grandes vãos sem apresentar flechas excessivas. Também, o fato de não haver material na região das nervuras acarretou num menor peso próprio das lajes, logo os outros elementos da superestrutura estavam sujeitos a esforços menores, quando comparados aos outros sistemas. Não obstante, as nervuras que são formadas com os moldes geram uma distribuição de esforços para as vigas de maneira mais uniforme, pois são direcionados para ambas as direções, exigindo pilares e vigas menos robustos.

O sistema com as lajes unidirecionais formadas por vigotas pré-fabricadas treliçadas e enchimento com blocos de EPS teve uma redução de 10,4% em relação ao sistema com lajes maciças. Este sistema é o que exigiu a menor quantidade de fôrmas, pois as lajes treliçadas às dispensam, sendo necessárias apenas escoras.

Este estudo não tem o objetivo de generalizar as estimativas de valores para todos os tipos de obras, apenas serve como referência para a escolha de sistemas para projetos com características semelhantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU, Anthony K.; BURGESS, Ian W.; PLANK, Roger J. Tensile Membrane Action of Thin Slabs Exposed to Thermal Gradients. **Journal Of Engineering Mechanics**. v. 139, p.1497-1507, 2013.

ALBUQUERQUE, Augusto T. de. **Análise de Alternativas Estruturais para Edifícios em Concreto Armado**. 1999. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ALBUQUERQUE, Augusto T. de; PINHEIRO, Libânio M. **Viabilidade Econômica de Alternativas Estruturais de Concreto Armado Para Edifícios**. Cadernos de Engenharia, n. 19, p. 1-19. São Carlos, 2002. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee19_1.pdf> Acesso em 12 de fev. 2018.

ALVA, G. M. S. **Concepção Estrutural de Edifícios em Concreto Armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

ARCELORMITTAL. **Manual Técnico de Lajes Treliçadas**. 2010. Disponível em: <<http://longos.arcelormittal.com/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manual-tecnico-trelicas.pdf>> Acesso em 15 de nov. de 2017.

ATEX. **Brasil Atex – A Fôrma da Laje**. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/>> Acesso em 27 de jul. de 2017a.

ATEX. **Dados Técnicos das Fôrmas Reutilizáveis**. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/Content/dadosTecnicos.pdf>> Acesso em 15 de ago. de 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655 – **Concreto de Cimento Portland - Preparo, Controle, Recebimento e Aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931 – **Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 – **Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123 – **Forças Devidas ao Vento em Edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480 – **Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado - Especificação**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681 – **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

BARROS, Mercia M. B.; MELHADO, Silvio B. **Recomendações Para A Produção De Estruturas De Concreto Armado Em Edifícios**. São Paulo, 1998.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto**. Notas de aula. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015. Disponível em: < <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf> > Acesso em 7 de ago. de 2017.

BOCCHI JR., Carlos Fernando; GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: projeto e Construção de Lajes Nervuradas**. São Carlos, 2007. Apostila da disciplina de Concreto Armado. Disponível em: < http://www.gdace.uem.br/romel/MDidatico/EstruturasConcretoll/Giongo_Lajes%20Nervuradas-2007.pdf > Acesso em 15 de jul. de 2017.

BRUMATTI, Dioni O. **Uso De Pré-Moldados - Estudo E Viabilidade**. 2008. 54 f. Monografia (Especialização em Construção Civil), Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória, 2008.

CAIO, Felipe. **Análise Comparativa Entre Sistemas Estruturais de Lajes Maciças e Nervuradas Treliçadas**. 2014. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Univates, Lajeado, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues Figueiredo. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. V. 1. 4. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2014. 416 p.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas usuais de Concreto Armado**. V. 2. 1. ed. São Paulo: Pini, 2009. 618 p.

CLÍMACO, João C. T. de Souza. **Estruturas de Concreto Armado: Fundamentos de Projeto, Dimensionamento e Verificação**. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008. 33 p.

COELHO, E. L.; SOUZA R. M.; GRECO, M. **Estudo Comparativo entre Sistemas Estruturais com Lajes Maciças, Nervuradas e Lajes Lisas**. Artigo apresentado no Simpósio de Mecânica Computacional da Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia. São João Del Rei, 2010.

COUTO, José A.; CARMINATTI, Rafael L.; NUNES, Rogério R.; MOURA, Ruan C. **O Concreto Como Material de Construção**. Periódico Cadernos de Graduação, Sergipe, v. 1. n. 17, p. 49-58, out. 2013.

CYPE. **Gerador de Preços - CYPE Ingenieros**. Disponível em: < http://www.brasil.geradordeprecos.info/obra_nova/calculaprecio > Acesso em 03 mar. 2018.

DACOL, Karina. **Forma e Função**. Téchne, São Paulo, ed. 192, ano 21, p. 30-33, mar. 2013.

DI PIETRO, João E. **O Conhecimento Qualitativo das Estruturas das Edificações na Formação do Arquiteto e do Engenheiro**. 2000. 180 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DIAS, R. H. **Sistemas Estruturais para Grandes Vãos em Pisos e a Influência na Concepção Arquitetônica**. Vitruvius Arquitectos. v. 44. n. 5. São Paulo, 2004. Disponível em: < www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/04.044/622 >. Acesso em 24 jan. 2018.

EL DEBS, Mounir K. **Concreto Pré-moldado – Fundamentos e Aplicações**. São Carlos: EESC-USP, 2000, 441p.

FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de; CARVALHO, R. C.; FURLAN FILHO, Sydney. **O Uso de Sistemas de Lajes com Vigotas Pré-Moldadas na Construção de Residências de Baixo Custo**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. Anais do Entac, 2002.

Disponível em:

<http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1785_1794.pdf>.

Acesso em 19 jan. 2018.

FILHO, Américo Campos. **Projeto de Escadas de Concreto Armado**. Porto Alegre, 2014. Apostila da disciplina de Estruturas de Concreto Armado II. Disponível em:

<<https://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112/>> Acesso em 10 de jul. De 2017.

FLÓRIO, Márcio C. **Projeto e Execução de Lajes Unidirecionais com Vigotas em Concreto Armado**. 2004. 202 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P. B. **As Lajes Nervuradas na Moderna Construção de Edifícios**. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997. 96 p.

GOULART, Mauricio S. S. **Contribuição da Rigidez à Flexão das Lajes para a Estabilidade Global de Edifícios**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

HIBBELER, Russel Charles. **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

JIRAU. **Andaimes e Escoramentos**. Disponível em:

<<http://www.andaimesjirau.com.br/equipamentos.html>> Acesso em 19 de ago. de 2017.

LOPES, André Felipe de Oliveira. **Estudo Técnico Comparativo Entre Lajes Maciças e Nervuradas com Diferentes Tipos de Materiais de Enchimentos**. 2012. 131 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

MARANHÃO, George M. **Fôrmas Para Concreto: Subsídios Para a Otimização do Projeto Segundo a NBR 71910/97**. 2000. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

MARTINELLI, Marina. **Avisos e Erros. Disponível em:**

<<http://faq.altoqi.com.br/content/402/410/pt-br/avisos-e-erros.html>> Acesso em 20 de mar. de 2018.

MELO, Paula R. de. **Pré-Dimensionamento de Estruturas de Madeira, de Aço e de Concreto para Auxílio à Concepção de Projetos Arquitetônicos.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

MOLDIMPLAS. **Espaçador para Laje Nervurada.** Disponível em: <

<https://moldimplas.com.br/project/espacador-laje-nervurada> > Acesso em 02 de fev. 2018.

PEREIRA, Eduardo Diego Alves. **Análise Comparativa de Normas para o Cálculo de Lajes Submetidas ao Efeito da Punção.** 2014. 139 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

PEREIRA, M. F.; BECK, A. T.; EL DEBS, A. L. H. . **Confiabilidade de Pilares Mistos Aço-Concreto Parcialmente Revestidos em Flexo-Compressão.**

REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS, v. 10, p. 298-316, 2017.

PEREIRA, Erdwins H. N.; OLIVEIRA, Carlos M.; DAVI, Hérbete H. R. C. **Avaliação da Estabilidade Global em Edifícios de Concreto Armado pelo Coeficiente Gama-Z e Processo P-Delta.** Tecnologia & Informação, v. 2, n. 3, p. 44-53, jul./out. 2015.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios.**

2010. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

PINHEIRO, Libânio Miranda; RAZENTE, Julio Antonio. **Lajes Nervuradas.** Notas de aula. Departamento de Engenharia de Estruturas – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em:

<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Laje%20Nervurada/Lajes_nervuradas.pdf> Acesso em 18 de jul. de 2017.

REYES, Fredy Enrique Garzón. **Análise da Aderência Entre Barras de Aço e Concretos (CC, CAA E CAAFA), sob Influência de Ações Monotônicas e Cíclicas.** 2009. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas),

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SARTORI, Artur Lenz; VIZOTTO, Itamar. **Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa.** Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Rio Grande, v. 10, n. 15, p. 19-28, 2010. Disponível em: <http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art3_N15.pdf> Acesso em 13 de jul. de 2017.

SCHWETZ, P. F.; GASTAL, F. L.; SILVA, L. P.. Análise Teórico-Experimental de uma Laje Nervurada em Escala Natural. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 2, p. 380-403, 2009.

SH – FÔRMAS ANDAIMES E ESCORAMENTOS. **Como funciona o sistema de escoramento para lajes nervuradas?** 2016. Disponível em: <<http://www.sh.com.br/2016/como-funciona-o-sistema-de-escoramento-para-lajes-nervuradas>> Acesso em 27 de set. de 2017.

SILVA, Andréia Rodrigues. **Análise Comparativa de Custos de Sistemas Estruturais para Pavimentos de Concreto Armado.** 2002. 235 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

SILVA, Lucas Pergher. **Estudo Comparativo Entre Lajes Nervuradas e Maciças em Função dos Vãos de Apoio.** 2010. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, Marcos A. F. da; FILHO, J. R.; CARVALHO, Roberto Chust. **A Utilização Da Analogia De Grelha Para Análise De Pavimentos De Edifícios Em Concreto Armado.** In: V Simpósio EPUSP sobre de Estruturas de Concreto, 2003, São Paulo. Anais do V Simpósio EPUSP sobre de Estruturas de Concreto, 2003.

SILVA, Marcos A. F. da. **Projeto e Construção de Lajes Nervuradas de Concreto Armado.** 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas.** 2008. 108 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Relatório de Insumos e Composições – FEV/18**. Disponível em: < www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi > Acesso em 20 de mar. 2018.

SINDUSCON – Sindicato da Construção do Paraná. **Custo Unitário Básico de Construção**. Disponível em: < www.sindusconpr.com.br/serie-historica-cub-pr-r8n-382-p > Acesso em 22 de mar. 2018.

TRIGO, Cristina; SIMÕES, João Roberto; OLIVEIRA, Claudia. **Pré-Dimensionamento Estrutural – Concreto Armado**. São Paulo, 2007. Apostila da disciplina de Concreto Armado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/275354802>> Acesso em 27 de set. de 2017.

REBELLO, Yopanan C. P. **A Concepção Estrutural e a Engenharia**. Integração: Ensino, Pesquisa e Extensão, São Paulo, v. 51, p. 309-314, out./nov./dez. 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DO PROJETO

Eu, **Thiago Bettega**, representando a Construtora Thiago Bettega LTDA., autorizo o uso do projeto arquitetônico referente ao Condomínio ZL para uso no Trabalho de Conclusão de Curso do aluno José Felipe Richter Gularte, para a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Toledo.



Thiago Bettega
Engº Civil CREA/PR 94803/E

Thiago Bettega
Toledo, 02 de maio de 2018

APÊNDICE B – MENSAGENS DO PROCESSAMENTO ESTRUTURAL

Análise de 1ª ordem:
 Processo de pórtico espacial

Cargas verticais:
 Peso próprio = 1105.42 tf
 Adicional = 797.37 tf
 Acidental = 297.43 tf
 Total = 2200.22 tf
 Área aproximada = 1895.31 m²
 Relação = 1160.27 kgf/m²

Deslocamento horizontal:
 Direção X = 1.34 cm (limite 1.36)
 Direção Y = 0.35 cm (limite 1.36)

Coefficiente Gama-Z:
 Direção X = 1.06 (limite 1.10)
 Direção Y = 1.05 (limite 1.10)

Análise de 2ª ordem:
 Processo P-Delta

Deslocamentos no topo da edificação:
 Acidental: 0.02 »» 0.02 (+3.96%)
 Vento X+: 4.19 »» 4.46 (+6.58%)
 Vento X-: 4.19 »» 4.46 (+6.58%)
 Vento Y+: 1.10 »» 1.16 (+5.42%)
 Vento Y-: 1.10 »» 1.16 (+5.42%)
 Desaprumo X+: 0.15 »» 0.16 (+6.60%)
 Desaprumo X-: 0.15 »» 0.16 (+6.60%)
 Desaprumo Y+: 0.12 »» 0.13 (+5.46%)
 Desaprumo Y-: 0.12 »» 0.13 (+5.46%)

Figura B.1 - Mensagens do sistema com lajes maciças
Fonte: O Autor (2018).

Análise de 1ª ordem:
 Processo de pórtico espacial

Cargas verticais:
 Peso próprio = 846.38 tf
 Adicional = 818.44 tf
 Acidental = 297.50 tf
 Total = 1962.32 tf
 Área aproximada = 1895.88 m²
 Relação = 1033.41 kgf/m²

Deslocamento horizontal:
 Direção X = 1.30 cm (limite 1.36)
 Direção Y = 0.39 cm (limite 1.36)

Coefficiente Gama-Z:
 Direção X = 1.07 (limite 1.10)
 Direção Y = 1.06 (limite 1.10)

Análise de 2ª ordem:
 Processo P-Delta

Deslocamentos no topo da edificação:
 Acidental: 0.03 »» 0.03 (+5.00%)
 Vento X+: 4.06 »» 4.34 (+6.87%)
 Vento X-: 4.06 »» 4.34 (+6.87%)
 Vento Y+: 1.22 »» 1.29 (+6.41%)
 Vento Y-: 1.22 »» 1.29 (+6.41%)
 Desaprumo X+: 0.15 »» 0.17 (+6.95%)
 Desaprumo X-: 0.15 »» 0.17 (+6.95%)
 Desaprumo Y+: 0.14 »» 0.15 (+6.49%)
 Desaprumo Y-: 0.14 »» 0.15 (+6.49%)

Figura B.2 - Mensagens do sistema com lajes pré-fabricadas unidirecionais
Fonte: O Autor (2018).

Análise de 1ª ordem:

Processo de pórtico espacial

Cargas verticais:

Peso próprio = 853.81 tf

Adicional = 720.03 tf

Acidental = 298.93 tf

Total = 1872.77 tf

Área aproximada = 1895.97 m²Relação = 982.07 kgf/m²**Deslocamento horizontal:**

Direção X = 1.34 cm (limite 1.36)

Direção Y = 0.63 cm (limite 1.36)

Coefficiente Gama-Z:

Direção X = 1.07 (limite 1.10)

Direção Y = 1.10 (limite 1.10)

Análise de 2ª ordem:

Processo P-Delta

Deslocamentos no topo da edificação:

Acidental: 0.04 »» 0.04 (+5.12%)

Vento X+: 4.19 »» 4.48 (+6.94%)

Vento X-: 4.19 »» 4.48 (+6.94%)

Vento Y+: 1.90 »» 2.10 (+10.54%)

Vento Y-: 1.90 »» 2.10 (+10.54%)

Desaprumo X+: 0.16 »» 0.17 (+6.93%)

Desaprumo X-: 0.16 »» 0.17 (+6.93%)

Desaprumo Y+: 0.31 »» 0.34 (+10.58%)

Desaprumo Y-: 0.31 »» 0.34 (+10.58%)

Figura B.3 - Mensagens do sistema com lajes nervuradas bidirecionais
Fonte: O Autor (2018).

ANEXOS

ANEXO A – COMPOSIÇÕES DE CUSTOS UTILIZADAS

Buscou-se utilizar as composições de custos e preços de insumos divulgados pelo SINAPI. Os detalhes destas composições e os preços dos insumos que as constituem podem ser encontrados nas tabelas disponibilizadas pela Caixa Econômica Federal, com referência ao período de fev/2018, em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi>.

Tabela A.1 – Fôrma de Laje Maciça

FUES	92513	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA COM ÁREA MÉDIA MENOR OU IGUAL A 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,01
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,397
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,03
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,108
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,59
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,341

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.2 – Fôrma de Laje Nervurada

FUES	92490	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE NERVURADA COM CUBETA E ASSOALHO COM ÁREA MÉDIA MAIOR QUE 20 M ² , PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES. AF_12/2015	M2	
INSUMO	2692	DESMOLDANTE PROTETOR PARA FORMAS DE MADEIRA, DE BASE OLEOSA EMULSIONADA EM AGUA	L	0,008
INSUMO	10749	LOCACAO DE ESCORA METALICA TELESCOPICA, COM ALTURA REGULAVEL DE *1,80* A *3,20* M, COM CAPACIDADE DE CARGA DE NO MINIMO 1000 KGF (10 KN), INCLUSO TRIPE E FORCADO	MES	0,397
INSUMO	40270	VIGA DE ESCORAMAENTO H20, DE MADEIRA, PESO DE 5,00 A 5,20 KG/M, COM EXTREMIDADES PLASTICAS	M	0,03
INSUMO	40290	LOCACAO DE FORMA PLASTICA PARA LAJE NERVURADA, DIMENSOES *61* X *61* X *18* CM	MES	1,03
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,158
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,86
COMPOSICAO	92267	FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA LAJES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, E = 17 MM. AF_12/2015	M2	0,183

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.3 – Armação de Baldrame com Aço 5 mm

FUES	96543	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME E SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1,9665
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0635
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1945
COMPOSICAO	92791	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.4 – Armação de Baldrame com Aço 6,3 mm

FUES	96544	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1,19
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,049
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,151
COMPOSICAO	92792	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.5 – Armação de Baldrame com Aço 8 mm

FUES	96545	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,724
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0375
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1155
COMPOSICAO	92793	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.6 – Armação de Baldrame com Aço 10 mm

FUES	96546	ARMAÇÃO DE BLOCO, VIGA BALDRAME OU SAPATA UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10 MM - MONTAGEM. AF_06/2017	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,4655
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,029
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,089
COMPOSICAO	92794	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.7 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 5 mm

ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015				
FUES	92759			KG
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1,19
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0203
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1241
COMPOSICAO	92791	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.8 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 6,3 mm

ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015				
FUES	92760			KG
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,97
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0155
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0947
COMPOSICAO	92792	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.9 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 8 mm

ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015				
FUES	92761			KG
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,743
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0115
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0707
COMPOSICAO	92793	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.10 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 10 mm

ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015				
FUES	92762			KG
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,543
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0086
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0529

COMPOSICAO	92794	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1
------------	-------	--	----	---

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.11 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 12,5 mm

FUES	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,367
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0063
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0386
COMPOSICAO	92795	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 12,5 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.12 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 16 mm

FUES	92764	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 16,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,212
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0043
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0261
COMPOSICAO	92796	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 16,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.13 – Armação de Pilar ou Viga com Aço 20 mm

FUES	92765	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,113
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0028
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0172
COMPOSICAO	92797	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 20,0 MM, UTILIZADO EM ESTRUTURAS DIVERSAS, EXCETO LAJES. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.14 – Armação de Laje com Aço 5 mm

FUES	92768	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	2,118
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,014
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0855
COMPOSICAO	92800	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-60, DIÂMETRO DE 5,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.15 – Armação de Laje com Aço 6,3 mm

FUES	92769	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	1,333
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0105
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0646
COMPOSICAO	92801	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.16 – Armação de Laje com Aço 8 mm

FUES	92770	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 8,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPACADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLASTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,728
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0078
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0475
COMPOSICAO	92802	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.17 – Armação de Laje com Aço 10 mm

FUES	92771	ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	
INSUMO	337	ARAME RECOZIDO 18 BWG, 1,25 MM (0,01 KG/M)	KG	0,025
INSUMO	39017	ESPAÇADOR / DISTANCIADOR CIRCULAR COM ENTRADA LATERAL, EM PLÁSTICO, PARA VERGALHAO *4,2 A 12,5* MM, COBRIMENTO 20 MM	UN	0,357
COMPOSICAO	88238	AJUDANTE DE ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0057
COMPOSICAO	88245	ARMADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0348
COMPOSICAO	92803	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 10,0 MM, UTILIZADO EM LAJE. AF_12/2015	KG	1

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.18 – Concretagem de Viga ou Laje Maciça ou Nervurada

FUES	92725	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MENOR OU IGUAL A 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M3	
INSUMO	1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	1,103
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,094
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,565
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,638
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,056
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,133

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.19 – Concretagem de Laje Pré-Moldada

FUES	92723	CONCRETAGEM DE LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MENOR OU IGUAL A 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M3	
INSUMO	1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	1,103
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,112
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,67
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,744
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,079
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,144

Fonte: SINAPI (2018).

Tabela A.20 – Concretagem de Pilar

FUES	92720	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	M3	
INSUMO	1527	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	1,103
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,199
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,199
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,192
COMPOSICAO	90586	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHP DIURNO. AF_06/2015	CHP	0,068
COMPOSICAO	90587	VIBRADOR DE IMERSÃO, DIÂMETRO DE PONTEIRA 45MM, MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO POTÊNCIA DE 2 CV - CHI DIURNO. AF_06/2015	CHI	0,131

Fonte: SINAPI (2018).

Quando as tabelas do SINAPI não foram suficientes, adaptou-se ou buscou-se utilizar tabelas de outras fontes, mantendo os preços dos insumos.

Tabela A.21 – Vigotas TR08, Enchimento e Escoramento

FUES	74202/1	LAJE PRE-MOLDADA P/FORRO, SOBRECARGA 100KG/M2, VAOS ATE 3,50M/E=8CM, C/EPS. ESCORAMENTO (REAPR.3X)	M2	
INSUMO	3736	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (EPS + VIGOTAS TR08) PARA FORRO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 100 KG/M2, VAO ATE 4,00 M	M2	1
INSUMO	4491	PECA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL 7,5 X 7,5CM (3X3) NAO APARELHADA (P/FORMA)	M	0,29
INSUMO	5061	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,03
INSUMO	6189	TABUA MADEIRA 2A QUALIDADE 2,5 X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	M	0,17
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16
COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,35
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,36

Fonte: Adaptado do SINAPI (2018).

Tabela A.22 – Vigotas TR12, Enchimento e Escoramento

FUES	74202/2	LAJE PRE-MOLDADA P/PISO, SOBRECARGA 200KG/M2, VAOS ATE 3,50M/E=12CM, C/EPS. ESCORAMENTO (REAPR.3X)	M2	
INSUMO	3743	LAJE PRE-MOLDADA CONVENCIONAL (EPS + VIGOTAS TR12) PARA PISO, UNIDIRECIONAL, SOBRECARGA DE 200 KG/M2, VAO ATE 3,50 M	M2	1
INSUMO	4491	PECA DE MADEIRA NATIVA / REGIONAL 7,5 X 7,5CM (3X3) NAO APARELHADA (P/FORMA)	M	0,29
INSUMO	5061	PREGO DE ACO POLIDO COM CABECA 18 X 27 (2 1/2 X 10)	KG	0,03
INSUMO	6189	TABUA MADEIRA 2A QUALIDADE 2,5 X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	M	0,17
COMPOSICAO	88239	AJUDANTE DE CARPINTEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16

COMPOSICAO	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,16
COMPOSICAO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,4
COMPOSICAO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,44

Fonte: Adaptado do SINAPI (2018).

Tabela A.23 – Composição de custo para fôrma de viga

MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO METÁLICO, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA PLASTIFICADA 8 UTILIZAÇÕES.	M²	QUANTIDADE
PAINEL DE MADEIRA COMPENSADA, PLASTIFICADO DE 10 MM DE ESPESSURA, COM BORDAS RETAS, SEGUNDO NBR ISO 1096.	M ²	0,14
PONTALETES DE MADEIRA SERRADA, DE PINUS (PINUS SPP), DE 7,5X7,5 CM, DE 2ª QUALIDADE, SEGUNDO ABNT NBR 11700.	M	1,18
SARRAFO DE MADEIRA SERRADA, DE PINUS (PINUS SPP), DE 2,5X7 CM, DE 2ª QUALIDADE, SEGUNDO ABNT NBR 11700.	M	0,70
PREGOS COMUNS 17X21 COM CABEÇA, DE 3 MM DE DIÂMETRO E 48 MM DE COMPRIMENTO.	KG	0,05
AGENTE DESMOLDANTE, À BASE DE ÓLEOS ESPECIAIS, EMULSIONANTE EM ÁGUA PARA FÔRMAS METÁLICAS, FENÓLICAS OU DE MADEIRA.	L	0,03
MONTADOR DE FÔRMAS.	H	0,67
AJUDANTE DE MONTADOR DE FÔRMAS.	H	0,67

Fonte: CYPE (2018).

Tabela A.24 – Composição de custo para fôrma de pilar

MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MENOR OU IGUAL A 0,25 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA, 8 UTILIZAÇÕES.	M²	QUANTIDADE
PAINEL DE MADEIRA COMPENSADA, PLASTIFICADO DE 10 MM DE ESPESSURA, COM BORDAS RETAS, SEGUNDO NBR ISO 1096.	M ²	0,15
SARRAFO DE MADEIRA SERRADA, DE PINUS (PINUS SPP), DE 2,5X7 CM, DE 2ª QUALIDADE, SEGUNDO ABNT NBR 11700.	M	0,28
ESCORA APRUMADORA METÁLICA, TELESCÓPICA, COM EXTREMIDADES ARTICULADAS, DE ATÉ 4 M DE COMPRIMENTO.	UN	0,01
ESCORA APRUMADORA METÁLICA, TELESCÓPICA, COM EXTREMIDADES ARTICULADAS, DE ATÉ 3 M DE COMPRIMENTO.	UN	0,01
GRAVATA METÁLICA PARA FÔRMAS DE PILARES, DE 1 M DE COMPRIMENTO.	UN	0,02
CONJUNTO CONSTITUÍDO POR BARRA DE ANCORAGEM ROSCADA DE 5/8" DE DIÂMETRO, TUBO DISTANCIADOR DE PVC E PORCAS TIPO BORBOLETA.	UN	0,01
PREGOS COMUNS 17X21 COM CABEÇA, DE 3 MM DE DIÂMETRO E 48 MM DE COMPRIMENTO.	KG	0,07
AGENTE DESMOLDANTE, À BASE DE ÓLEOS ESPECIAIS, EMULSIONANTE EM ÁGUA PARA FÔRMAS METÁLICAS, FENÓLICAS OU DE MADEIRA.	L	0,03
MONTADOR DE FÔRMAS.	H	0,44
AJUDANTE DE MONTADOR DE FÔRMAS.	H	0,44

Fonte: CYPE (2018).

ANEXO B – DADOS TÉCNICOS DAS FÔRMAS REUTILIZÁVEIS ATEX

Tabela B.1 – Dados da Fôrma ATEX 610 - 180

ALTURA DA FÔRMA	ESPESSURA DA LÂMINA	ALTURA TOTAL	LARGURA DA NERVURA			ÁREA DA SEÇÃO	PESO PRÓPRIO	VOLUME DE CONCRETO
			INFERIOR	SUPERIOR	MÉDIA			
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	kN/m ²	m ³ /m ²
18	5	23	7	9,9	8,5	458	2,40	0,096
d1	ds	D	bi	bs	br	A	Concreto 25 kN/m³	

Fonte: ATEX (2010b).

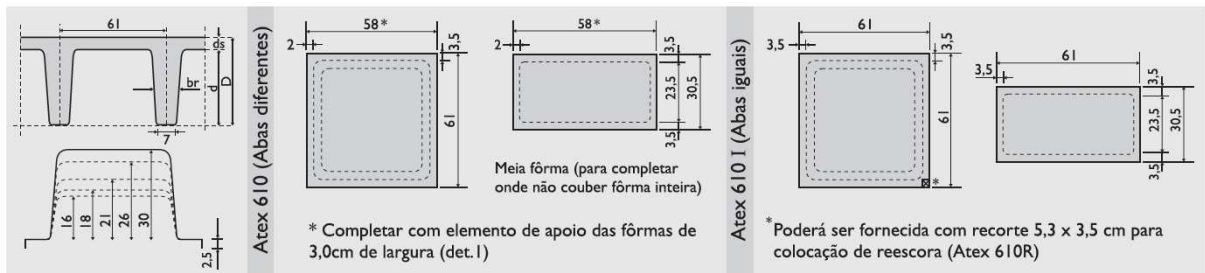


Figura B.1 - Dados das Fôrmas ATEX 610

Fonte: ATEX (2010b).

ANEXO C – DADOS DO MANUAL TÉCNICO DE LAJES TRELIÇADAS ARCELORMITTAL

**Tabela C.1 – Altura Total Mínima de Acordo
com a Altura do Elemento de Enchimento**

Altura do elemento de enchimento (h_e) (cm)	Altura mínima da laje (h) (cm)
7	11
8	12
10	14
12	16
16	20
20	24
24	29
29	34

Fonte: AcelorMittal (2010).

**Tabela C.2 – Capa Mínima de
Acordo com a Altura Total**

Altura total da laje (h) (cm)	Espessura mínima da capa (cm)
10	3
11	4
12	4
13	4
14	4
16	4
17	4
20	4
21	4
24	4
25	5
29	4
30	5
34	5

Fonte: AcelorMittal (2010).

Tabela C.3 – Armaduras Adicionais

Cargas Acidentais (kgf/m ²)								
Vão	50	100	150	200	250	300	350	400
Livre (m)								
2				1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 5,0
2,2			1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0
2,4		1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	3 Ø 4,2
2,6	1 Ø 4,2	1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2
2,8	1 Ø 4,2	1 Ø 5,0	1 Ø 6,0	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0	1 Ø 10,0
3	1 Ø 4,2	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	2 Ø 5/16
3,2	1 Ø 5,0	2 Ø 4,2	4 Ø 4,2	4 Ø 4,2	1 Ø 10,0	4 Ø 5,0	3 Ø 6,0	1 Ø 12,5
3,4	2 Ø 4,2	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0
3,6	2 Ø 5,0	1 Ø 5/16	4 Ø 5,0	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5	4 Ø 6,0	3 Ø 5/16	2 Ø 10,0
3,8	2 Ø 5,0	4 Ø 4,2	4 Ø 5,0	1 Ø 12,5				
4	4 Ø 4,2	3 Ø 5,0						

Fonte: AcelorMittal (2010).