

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Ricardo Nervo

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES  
CONVENCIONAIS E LAJES NERVURADAS**

Santa Cruz do Sul

2012

Ricardo Nervo

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES  
CONVENCIONAIS E LAJES NERVURADAS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil, da Universidade de Santa Cruz do Sul, para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. José Antonio Rohlfes Jr.

Santa Cruz do Sul

2012

Ricardo Nervo

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE LAJES  
CONVENCIONAIS E LAJES NERVURADAS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil; Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

---

Ms. José Antonio Rohlfes Jr.

Professor Orientador – UNISC

---

Ms. Marcus Daniel Friederich dos Santos

Professor Examinador – UNISC

---

Ms. Valdi Henrique Spohr

Professor Examinador – UNISC

Santa Cruz do Sul

2012

Dedico este trabalho a

Deus

A minha Família em especial a minha Mãe Angela, Tia Ziza

E a minha namorada Daniele.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por esse momento especial.

Ao Professor José Antonio Rohlfes Júnior, pela orientação durante a elaboração deste trabalho, pela amizade.

Ao Professor Valdi Henrique Spohr, pela dedicação, pelos ensinamentos importantes transmitidos, pelo auxílio e amizade durante a elaboração deste trabalho.

A Professora Ana Lúcia Becker Rohlfes, pelos ensinamentos, pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho.

A minha mãe Angela Nervo e minha tia Maria Luiza Nervo, pelo carinho, incentivo, por estarem sempre ao meu lado em todas as horas, pelos ensinamentos, por lutarem para proporcionar-me sempre o melhor e pela formação concedida.

A minha namorada Daniele que sempre esteve ao meu lado, com muito carinho, compreensão, amor e incentivando em todos os momentos.

Aos meus amigos em especial Jeovane Kipper, Milena Jaenisch, Lucas Guarienti, Fernando Barcelos que sempre estiveram ao meu lado incentivando, pela confiança depositada e pela amizade.

Aos meus amigos do escritório Rohlfes Engenharia, Luís Thier e Myckel Simon pela amizade, pelo companheirismo e pelos bom momentos vivenciados dentro do escritório.

Aos colegas de graduação que estiveram ao meu lado durante toda esta jornada, pelo companheirismo, amizade e pelos momentos vivenciados durante a graduação.

Não há limites para as pessoas que acreditam no seu sonho.  
Realizá-los requer desenvolvimento pessoal, perseverança e amor.

*Autor desconhecido*

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar comparativamente os custos entre os sistemas estruturais de lajes convencionais e lajes nervuradas em concreto armado. Devido ao elevado crescimento da construção civil e a um crescente avanço tecnológico, dispõem-se atualmente de um grande número de sistemas estruturais aliados as novas ferramentas de cálculos, auxiliando com maior rapidez e precisão o processo de análise estrutural, fazendo com que os profissionais precisem escolher por um determinado sistema a ser utilizado. Muitas vezes, a opção escolhida não é a mais adequada para a edificação, porque cada obra tem suas particularidades arquitetônicas, construtivas, cabendo ao engenheiro de estruturas buscar, dentro das condições impostas, o sistema estrutural que garanta maior economia. Primeiramente apresenta-se os sistemas estruturais adotados, descrevendo suas principais características, destacando suas vantagens e desvantagens, introduzindo conceitos básicos sobre o tema, e também, abordando critérios de projetos. Assim, adotou-se um edifício residencial como modelo para realização desse estudo. Posteriormente, é feito o lançamento e análise estrutural para os sistemas estruturais escolhidos, obtendo-se assim os quantitativos de materiais, os quais são utilizados para comparação. Em seguida, foram comparados os custos totais da edificação obtidos através de composições de preços, obtendo-se um valor global para cada alternativa estrutural adotada. Após a realização da análise comparativa dos custos de cada sistema estrutural adotado, chegou-se a conclusão que a alternativa estrutural mais adequada para a edificação proposta é o Sistema convencional de lajes maciças. Com isso, apresenta-se resultados que possibilitam aos profissionais da construção civil uma estimativa de valores, para servir de referência na escolha da alternativa estrutural a ser adotada.

**Palavras-chaves:** Sistemas estruturais, custos, estruturas de concreto armado, lajes convencionais e lajes nervuradas.

## ABSTRACT

This work aims to analyze, comparatively, the costs between the structural system of conventional slabs and rib slabs in reinforced concrete. Due to an elevated improvement in the civil construction and an elevated advance in technology, there is, currently, a huge number of structural systems connected to new calculations tools, which help the process of structural analysis quickly and with exactitude, causing to many professionals the choice to a determinate system to be analyzed. But several times, the choice which is chosen is not the most suitable to an edification, because each workmanship has its characteristics particular architectural, constructive, causing to the engineer to find, in its condition, a structural system that benefits better economic conditions. First, it is displayed the structural system adopted, describing its main characteristics, highlighting its advantages and disadvantages, introducing basic concepts about its topic, and also, approaching the criterion of projects. Therefore, a building is adopted as an example of this study. Later, one becomes the launching and analysis of the structure for the structural system that has been chosen, getting the quantitative ones of materials, used for being compared. After the total costs of the workmanship gotten by its structural system used, concludes that the best structural alternative to its proposed edification is the conventional system of massive slabs. Besides that, the results are shown for giving the professional in civil construction an estimated value, to work as reference in the choice of structural alternatives to be adopted.

**Keywords:** structural systems, costs, reinforced concrete structures, conventional and rib slabs.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Isopletas da velocidade básica $V_o$ (m/s)	22
Figura 2 – Obtenção dos coeficientes de arrasto	23
Figura 3 – Coeficiente de arrasto, $C_a$ , para edificação paralelepipedica em vento de baixa turbulência	24
Figura 4 – Armação treliçada	30
Figura 5 – Armação da laje com armação treliçada e elemento de enchimento	31
Figura 6 – Laje com armação treliçada	31
Figura 7 – Laje pré-moldada treliçada unidirecional	32
Figura 8 – Laje pré-moldada treliçada bidirecional	32
Figura 9 – Laje lisa e laje-cogumelo apoiadas diretamente em pilares	35
Figura 10 – Laje lisa apoiadas diretamente em pilares	36
Figura 11 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente em pilares (vista superior)	39
Figura 12 – Aspecto final da laje lisa nervurada acabada	39
Figura 13 – Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos	41
Figura 14 – Ruína por punção em lajes lisas nervuradas	42
Figura 15 – Perímetro crítico em pilares internos	44
Figura 16 – Armadura contra colapso progressivo	45
Figura 17 – Residencial Arezzo Vêneto	48
Figura 18 – Planta de formas do Sistema estrutural 1	52
Figura 19 – Planta de formas do Sistema estrutural 2	54
Figura 20 – Planta de formas do Sistema estrutural 3	57
Figura 21 – Comparativo do volume de concreto ( $m^3$ ) entre os sistemas estruturais propostos	59
Figura 22 – Comparativo do peso do aço (Kg) entre os sistemas estruturais propostos	60
Figura 23 – Comparativo da área de formas ( $m^2$ ) entre os sistemas estruturais propostos	60
Figura 24 – Custo percentual do Sistema 1	61
Figura 25 – Custo percentual total por elemento do Sistema 1	62
Figura 26 – Custo percentual total por material do Sistema 1	62
Figura 27 – Custo percentual do Sistema 2	63
Figura 28 – Custo percentual total por elemento do Sistema 2	64

Figura 29 – Custo percentual total por material do Sistema 2	64
Figura 30 – Custo percentual do Sistema 3	65
Figura 31 – Custo percentual total por elemento do Sistema 3	66
Figura 32 – Custo percentual total por material do Sistema 3	66
Figura 33 – Custo total dos sistemas estruturais propostos	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de K	44
Tabela 2 – Consumo de materiais do Sistema 1	53
Tabela 3 – Índices do Sistema 1	53
Tabela 4 – Consumo de materiais do Sistema 2	54
Tabela 5 – Blocos de enchimento do Sistema 2	54
Tabela 6 – Índices do Sistema 2	54
Tabela 7 – Consumo de materiais do Sistema 3	58
Tabela 8 – Blocos de enchimento do Sistema 3	58
Tabela 9 – Índices do Sistema 3	58
Tabela 10 – Comparativo de materiais e índices	59
Tabela 11 – Resumo de custos do Sistema 1	61
Tabela 12 – Resumo de custos do Sistema 2	63
Tabela 13 – Resumo de custos do Sistema 3	65
Tabela 14 – Comparativo total de custos em Reais (R\$)	67

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Área e limitação do tema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa. ....</b>	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Concepção para elaboração de projeto estrutural.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2</b>	<b>Materiais utilizados nas estruturas de concreto armado.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Aços utilizados .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Concreto.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Ações verticais na estrutura.....</b>	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Ações horizontais na estrutura.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Verificação da indeslocabilidade.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Parâmetro de instabilidade <math>\alpha</math>.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Coeficiente <math>\gamma_z</math>.....</b>	<b>26</b>
<b>2.6</b>	<b>Deslocamentos horizontais nas estruturas.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7</b>	<b>Introdução aos sistemas estruturais adotados.....</b>	<b>27</b>
<b>2.7.1</b>	<b>Sistema estrutural convencional com lajes maciças.....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.1.1</b>	<b>Vantagens das lajes convencionais.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.1.2</b>	<b>Desvantagens das lajes convencionais.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.2</b>	<b>Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré- moldadas treliçadas.....</b>	<b>29</b>
<b>2.7.2.1</b>	<b>Vantagens das lajes com armação treliçada.....</b>	<b>33</b>
<b>2.7.2.2</b>	<b>Desvantagens das lajes com armação treliçada.....</b>	<b>33</b>
<b>2.7.2.3</b>	<b>Bloco de EPS para enchimento.....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.2.4</b>	<b>Vantagens da utilização dos blocos de EPS.....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.2.5</b>	<b>Desvantagens da utilização dos blocos de EPS.....</b>	<b>34</b>
<b>2.7.3</b>	<b>Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas.....</b>	<b>35</b>
<b>2.7.3.1</b>	<b>Vantagens das lajes lisas.....</b>	<b>36</b>
<b>2.7.3.2</b>	<b>Desvantagens das lajes lisas.....</b>	<b>37</b>

2.7.3.3	Cubas de polipropileno para enchimento.....	38
2.7.3.4	Vantagens das cubas de polipropileno.....	38
2.7.3.5	Desvantagens das cubas de polipropileno.....	38
2.7.3.6	Determinações da ABNT NBR 6118 (2007) para lajes lisas.....	40
2.7.3.7	Análise estrutural de lajes lisas.....	40
2.7.3.8	Punção.....	42
2.7.3.9	Colapso progressivo.....	45
3	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
3.1	Considerações gerais.....	46
3.2	Sistemas construtivos adotados.....	46
3.2.1	Sistema construtivo.....	46
3.2.2	Etapas consideradas.....	46
3.2.3	Serviços e insumos envolvidos.....	46
3.3	Edifício modelo.....	47
3.4	Ferramenta de cálculo estrutural.....	48
3.5	Especificações adotadas para comparação.....	49
3.5.1	Índice de formas (if).....	49
3.5.2	Índice de aço (ia).....	49
3.5.3	Índice de aço II (ia).....	49
3.5.4	Índice de concreto (ic).....	50
3.6	Especificações adotadas para o cálculo dos custos.....	50
4	<b>COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....</b>	<b>51</b>
4.1	Sistema estrutural convencional com lajes maciças.....	51
4.1.1	Dados do projeto.....	51
4.1.2	Resultados do Sistema 1.....	53
4.2	Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré- moldadas treliçadas.....	53
4.2.1	Dados do projeto.....	53
4.2.2	Resultados do Sistema 2.....	55
4.3	Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas.....	56
4.3.1	Dados do projeto.....	56
4.3.2	Resultados do Sistema 3.....	58
4.4	Análise dos resultados e custos.....	58

4.4.1	Resultados.....	58
4.5	Custos.....	61
4.5.1	Sistema 1 - Estrutura de laje convencional.....	61
4.5.2	Sistema 2 - Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-fabricadas treliçadas.....	63
4.5.3	Sistema 3 - Estrutura com lajes lisas nervuradas.....	64
4.6	Comparativo total de custos.....	66
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	ANEXO A – Composições utilizadas.....	73
	ANEXO B – Valores e insumos utilizados.....	76
	ANEXO C – Planta baixa – Pavimento térreo.....	77
	ANEXO D – Planta baixa – Segundo pavimento.....	78
	ANEXO E – Planta baixa – Terceiro pavimento.....	79
	ANEXO F – Planta baixa – Pavimento tipo.....	80
	ANEXO G – Planta baixa – Cobertura inferior.....	81
	ANEXO H – Planta baixa – Cobertura superior.....	82
	ANEXO I – Planta baixa – Reservatório superior.....	83
	ANEXO J – Corte BB.....	84
	ANEXO K – Fachada principal.....	85

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira vive uma grande fase, deixando para trás décadas de dificuldades. Nem mesmo a nova crise internacional está assustando o setor que mantém o mercado imobiliário em grande ascensão.

Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (Cbic), há grandes chances do setor ser “o grande *player*” de 2012, com um crescimento projetado de 5,2% no Produto Interno Bruto (PIB) do setor. A expectativa é de que o crescimento seja ainda maior, entre 8,5% e 9%.

Parte do otimismo se deve aos reflexos do Programa Minha Casa, Minha Vida no mercado de imóveis destinados às classes média e baixa, além das obras da Copa de 2014, das Olimpíadas de 2016 e do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC).

Com o crescimento do mercado imobiliário e surgimento de novas empresas no setor da construção, tornou-se importante para essas empresas a busca por soluções mais econômicas que as convencionais.

Conforme Spohr (2008, p. 13), “enquanto as estruturas eram construídas com vãos relativamente pequenos e sujeitas apenas a cargas distribuídas, o emprego de lajes maciças não acarretava maiores problemas”.

No passado, as edificações em concreto armado adotavam uma estrutura convencional com lajes maciças convencionais, sem maiores impedimentos, visto que, utilizavam peças maiores em relação aos dias de hoje. Com a evolução da tecnologia, os materiais como o aço e o concreto ganharam maior resistência, aumentando sua eficiência, o que possibilitou a diminuição das peças e o uso de vãos cada vez maiores.

De acordo com Costa (1997), a evolução do processo construtivo começa pela qualidade dos projetos, e entre os projetos elaborados para a construção civil, destaca-se o estrutural. A estrutura de uma edificação, individualmente, responde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção (15% a 20% do custo total).

Albuquerque (1999) salienta que uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar, no custo total, uma diminuição de 2%. Em termos práticos, 2% do

custo total corresponde à execução de toda etapa de pintura ou a todos os serviços de movimento de terra, soleiras, rodapés, peitoris e cobertura juntos.

À medida que os vãos aumentaram, a utilização de lajes maciças tornou-se antieconômica. Logo, novos sistemas estruturais capazes de vencer grandes vãos começaram a surgir, tais como lajes nervuradas, pré-moldadas, protendidas, entre outras.

Devido ao grande número de soluções estruturais encontradas nos dias de hoje, os profissionais devem optar pelo sistema mais adequado para cada situação, levando em conta as características específicas de cada empreendimento.

O aperfeiçoamento das ferramentas de cálculo (softwares), possibilita realizar análises mais refinadas e acelerar a produtividade no detalhamento dos projetos para as várias alternativas estruturais existentes no mercado. Por conseguinte, essa evolução permite uma diversificação nas dimensões das peças de concreto armado, possibilitando soluções mais ousadas para as edificações.

No entanto, cabe ao engenheiro durante a concepção estrutural levar em consideração vários aspectos, tais como: manter a estética e a funcionalidade do projeto arquitetônico, ter uma ideia aproximada dos esforços atuantes na estrutura, métodos construtivos e custos. Logo, cabe ao calculista estrutural juntamente com o arquiteto fazer a escolha da opção estrutural mais adequada para cada obra.

### **1.1 Área e limitação do tema**

O presente trabalho focalizará a área de estruturas de concreto armado, diante disso, pretende-se elaborar uma análise comparativa de alguns sistemas estruturais usuais.

No estudo, será tomado como base um edifício modelo para elaborar uma comparação quantitativa e de custos para os sistemas estruturais de lajes convencionais maciças, estruturas de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas com enchimento de EPS e estruturas de lajes lisas nervuradas com enchimento de cubas de polipropileno.

No dimensionamento estrutural de cada alternativa de laje, será utilizado somente a ferramenta de cálculo CAD/TQS®.



## **1.2 Justificativa**

O elevado crescimento da construção civil e um crescente avanço tecnológico nesta área tem proporcionado aos profissionais da construção civil um estímulo muito grande em termos de pesquisa e investimentos, onde muitos processos construtivos estão em constante evolução.

Devido ao grande número de sistemas estruturais existentes, aliado as novas ferramentas de cálculos que auxiliam com maior rapidez e precisão, o processo de análise estrutural, acelerando a produtividade no desenvolvimento e detalhamento nos projetos de estruturas. Optou-se por realizar neste trabalho, um estudo comparativo de alguns sistemas estruturais convencionais. Entre os sistemas a serem estudados, são citados: sistema estrutural convencional de lajes maciças, estruturas de lajes nervuradas treliçadas com enchimento de EPS e estruturas de lajes nervuradas com enchimento de cubas de polipropileno, utilizando como base, um edifício modelo para analisar quantitativamente e economicamente a estrutura, servindo como referência na escolha do sistema estrutural mais adequado para ser utilizado em um determinado tipo de projeto.

Para tanto foram elaboradas três opções para o projeto estrutural, entre as quais são destacadas:

- Sistema estrutural 1: estrutura convencional com lajes, vigas e pilares.
- Sistema estrutural 2: estrutura convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas, vigas e pilares.
- Sistema estrutural 3: estrutura com lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais de lajes convencionais e estrutura de lajes nervuradas, em concreto armado.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Fazer uma breve revisão bibliográfica para os sistemas estruturais adotados, descrevendo suas principais características, assim como destacar as suas vantagens e desvantagens.

Analisar o consumo dos materiais empregados, levando em consideração volume de formas, aço e concreto para cada alternativa adotada.

Apresentar resultados que possibilitem aos profissionais da construção civil uma estimativa de valores, para utilizar de referência na escolha da alternativa estrutural a ser adotada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Concepção para elaboração de projeto estrutural

“O problema tem como característica fundamental a complexidade, por causa do número de variáveis presentes e da multiplicidade de soluções possíveis” (CORRÊA, 1991, p. 19).

A concepção da estrutura, consiste em escolher um sistema estrutural que forme a parte resistente do edifício. Essa etapa é uma das mais importantes que implica em escolher os elementos a serem utilizados e fazer a locação dos elementos estruturais, de modo a formar um sistema eficiente, capaz de absorver os esforços originários das ações atuantes na estrutura.

A solução estrutural adotada deve levar em conta a finalidade da edificação e atender aos requisitos de qualidade, desempenho e durabilidade estabelecidos pelas normas técnicas.

O projeto também deve estar em harmonia com os demais projetos, como: de instalações elétricas, hidráulicas, ar condicionado e outros, de maneira que possa permitir a funcionalidade e a construtibilidade dos sistemas.

Em geral, se inicia a estruturação pelo pavimento-tipo, após é feita a locação dos pilares que deve seguir a seguinte ordem: pilares de canto, pilares nas áreas comuns a todos os pavimentos (área de elevadores e escadas) e onde estão localizados, no pavimento de cobertura, a casa de máquinas e reservatório, pilares de extremidade e por último os pilares internos.

Além disso, deve-se verificar se a posição dos pilares poderá ser mantida e se não estão interferindo na arquitetura dos demais pavimentos. Caso não possa, deve-se estudar novas possibilidades que satisfaçam as necessidades estruturais e arquitetônicas. No pavimento térreo é importante uma solução estética, enquanto nas garagens é preciso que a posição dos pilares não interfiram, a fim de prejudicar o trânsito e o estacionamento dos veículos.

A utilização das vigas vai depender do tipo de laje a ser adotada, uma vez que as vigas delimitam o contorno das lajes. A colocação das vigas devem ser no alinhamento das alvenarias e começa-se definindo as vigas externas do pavimento, depois aquelas que se unem aos pilares constituindo os pórticos, além de outras vigas que podem ser necessárias, seja para dividir um painel de laje de grandes

dimensões ou para suportar uma parede divisória e evitar que essa se apoie diretamente sobre a laje.

Com o arranjo das vigas o posicionamento das lajes ficam praticamente definidas, faltando apenas, as lajes em balanço caso existam.

## **2.2 Materiais utilizados nas estruturas de concreto armado**

Os materiais utilizados nas estruturas de concreto armado para os diferentes sistemas estruturais seguem a disponibilidade comercial e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

### **2.2.1 Aços utilizados**

Os aços utilizados nas estruturas de concreto armado, seguem as especificações da ABNT NBR 7480 (2007).

Aço CA-60 com diâmetro de 4,2 mm e 5,0 mm para armadura de lajes e estribos de vigas e pilares.

Aço CA-50 com diâmetros de 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0; 20,0 e 25,0 mm para armaduras longitudinais de pilares, vigas e lajes.

### **2.2.2 Concreto**

A escolha da resistência à compressão do concreto depende da classe de agressividade ambiental. Como trata-se de um edifício de apartamentos residenciais (ambiente interno seco), situado em zona urbana revestido com argamassa e pintura, considera-se a classe de agressividade I para o edifício em estudo.

E nas vigas de fundação, considera-se a classe de agressividade II, pois a estrutura está em contato com solo úmido e não agressivo.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2007), para esse caso, tem-se a classe de resistência mínima exigida para o concreto a classe C25 (concreto com  $F_{ck} = 25$  MPa aos 28 dias de idade).

Conforme a ABNT NBR 6118 (2007), os cobrimentos de concreto adotados para os elementos estruturais da classe de agressividade I e II, são os seguintes:

Classe I: 20 mm para lajes e 25 mm para vigas e pilares.

Classe II: 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares.

### 2.3 Ações verticais na estrutura

As ações são as causas que provocam as deformações ou esforços nas estruturas, em função da variabilidade no tempo.

Segundo a ABNT NBR 8681 (2003), essas ações podem ser classificadas como permanentes, variáveis e excepcionais.

#### a) *Ações Permanentes*

São as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida útil da estrutura e dividem-se em diretas e indiretas.

As ações permanentes diretas correspondem ao peso próprio da estrutura, peso dos elementos construtivos (alvenarias, revestimentos, etc.), peso de equipamentos fixos, empuxo de terra.

As ações permanentes indiretas são as que ocorrem devido as deformações impostas por retração e fluência do concreto, recalques de apoio, imperfeições geométricas e a protensão (no caso de concreto protendido).

#### b) *Ações Variáveis*

São constituídas por cargas acidentais previstas para o uso da construção, que variam ao longo do tempo da vida da construção, pela ação do vento, variação de temperatura, cargas móveis e etc.

Para o estudo, apresentam-se os pesos específicos e cargas acidentais que serão utilizadas.

Conforme a ABNT NBR 6120 (1980) – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações, utilizaram-se os pesos específicos:

Concreto armado.....	25KN/m <sup>3</sup>
Alvenaria de tijolos furados.....	13KN/m <sup>3</sup>
Argamassa de cal, cimento e areia .....	19KN/m <sup>3</sup>
Revestimentos.....	1,0KN/m <sup>2</sup>
Telhado (estrutura e telha fibrocimento).....	0,5KN/m <sup>2</sup>

Segundo a ABNT NBR 6120 (1980), utilizaram-se as seguintes cargas acidentais:

Pisos residenciais (dormitório, sala, copa, cozinha e banheiro).....	1,5KN/m <sup>2</sup>
Pisos residenciais (despensa, área de serviço e lavanderia).....	2,0KN/m <sup>2</sup>

Escadas sem acesso público .....	2,5KN/m <sup>2</sup>
Forros sem acesso a pessoas.....	0,5KN/m <sup>2</sup>

c) *Cargas Excepcionais*

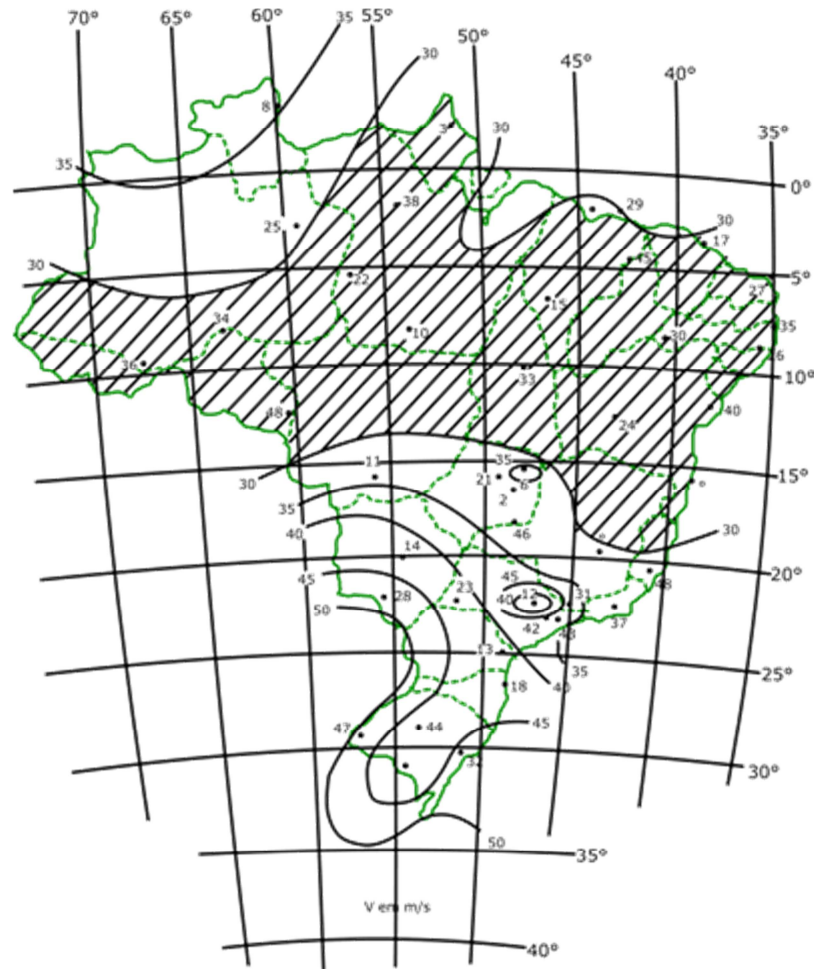
São aquelas que possuem duração muito curta e com baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas em algumas estruturas, como, sismos, explosões, incêndios e etc.

## 2.4 Ações horizontais na estrutura

As ações do vento no edifício foram calculadas de acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) – Forças devidas ao vento em edificações, para isso consideraram os seguintes dados adicionais:

- O edifício está localizado no centro da cidade de Santa Cruz do Sul, em terreno fracamente acidentado;
- As edificações vizinhas são do mesmo porte ou mais baixas que o edifício considerado;
- A velocidade do vento para o local da edificação, obtida pelo gráfico de isopletras da ABNT NBR 6123 (1988), conforme a figura 1, é  $V_0 = 45\text{m/s}$ .

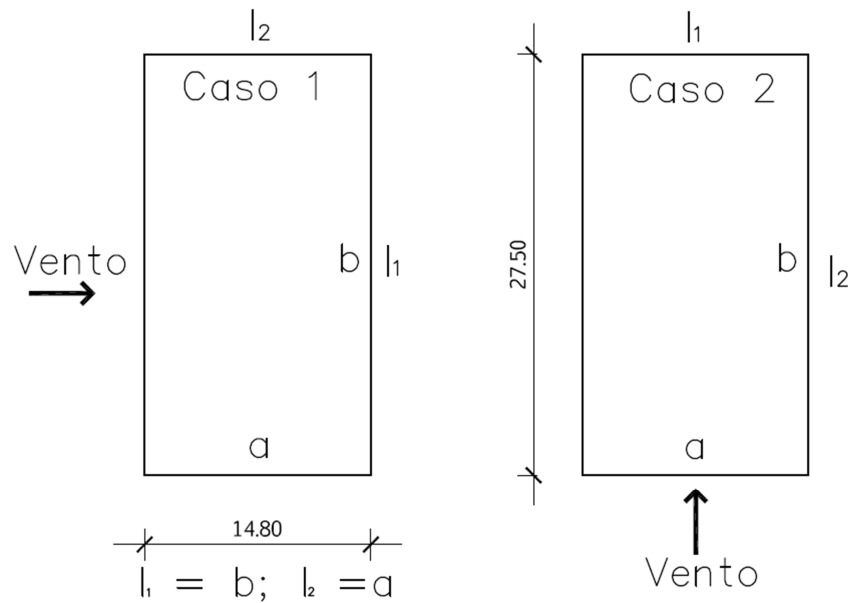
Figura 1 – Isopletas da velocidade básica  $V_o$ (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

- Fator topográfico  $S_1$ : Considerando que o terreno é plano ou fracamente acidentado, tem-se  $S_1 = 1,0$ .
- Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno: Fator  $S_2$ ; conforme a localização da edificação consideramos a categoria III para rugosidade do terreno. Considera-se que edifício pertence a classe B, porque a maior dimensão está entre 20 e 50m.
- Fator estatístico  $S_3$ : como se trata de uma edificação residencial, tem-se  $S_3 = 1,0$ , pertencendo ao grupo 2.
- Coeficiente de arrasto: foram considerados dois casos, conforme a figura 2, onde a altura  $H = 42,40$  m e as medidas dos lados em planta  $a = 14,80$  m e  $b = 27,50$  m.

Figura 2 – Obtenção dos coeficientes de arrasto



Fonte: figura elaborada pelo autor.

**Caso 1:** vento segundo a direção X

Neste caso tem-se  $l_1 = 27,50$  m e  $l_2 = 14,80$  m. Entrando-se no gráfico 4 da ABNT NBR 6123 (1988) com as seguintes relações  $\frac{27,50}{14,80} = 1,86$ ;  $\frac{42,40}{27,50} = 1,54$ .

Com esse gráfico, obtém-se o coeficiente de arrasto  $C_a \cong 1,33$ .

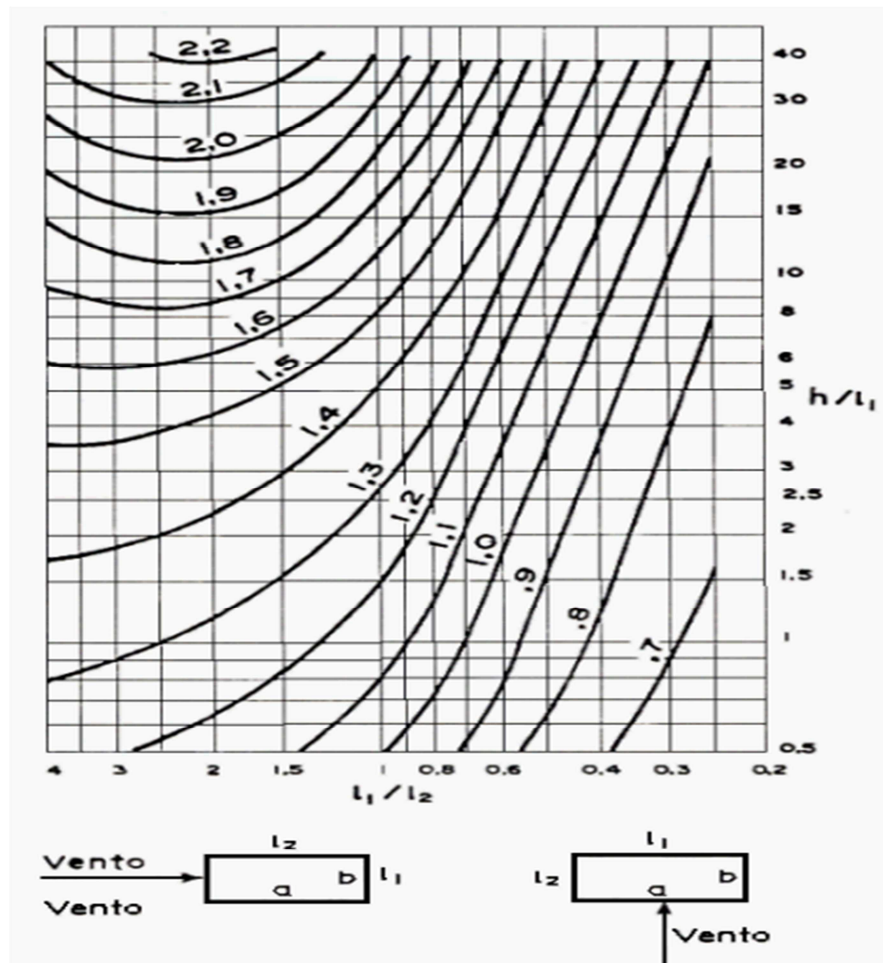
**Caso 2:** vento segundo a direção Y

Neste caso tem-se  $l_1 = 14,80$  m e  $l_2 = 27,50$  m. Com o gráfico 4 da ABNT NBR 6123 (1988) com as seguintes relações  $\frac{14,80}{27,90} = 0,53$ ;  $\frac{42,40}{14,80} = 2,86$ .

Com o gráfico da figura 3, obtém-se o coeficiente de arrasto  $C_a \cong 0,98$ .



Figura 3 - Coeficiente de arrasto,  $C_a$ , para edificação paralelepédica em vento de baixa turbulência



Fonte: ABNT NBR 6123 (1988).

## 2.5 Verificação da indeslocabilidade

Segundo Albuquerque (1999), com o pré-dimensionamento concluído, processa-se o pórtico espacial e calculam-se os parâmetros “gama” e “alfa”; se os valores não forem aceitáveis, volta-se para a fase de concepção ou de pré-dimensionamento e aumenta-se a rigidez do edifício. Para aumentar a rigidez pode-se rever a posição dos pilares ou aumentar as dimensões das vigas e dos pilares que formam os pórticos; caso não seja suficiente podem-se inserir núcleos rígidos ou pilares-parede.

Conforme a ABNT NBR 6118 (2007) relata que por conveniência de análise, é possível identificar dentro da estrutura, subestruturas que devido à sua grande rigidez a ações horizontais, resistem à maior parte dos esforços decorrentes dessas

ações. Essas subestruturas são chamadas subestruturas de contraventamento e os elementos que não participam da subestrutura de contraventamento são chamados de elementos contraventados.

Com os recursos computacionais existentes, pode-se analisar tridimensionalmente o conjunto da edificação, considerando as cargas verticais e horizontais devidas as ações do vento atuando simultaneamente na estrutura. Com isso, a estabilidade global do edifício pode ser verificada por meio da análise da estrutura de contraventamento.

Albuquerque (1999) salienta que é importante lembrar ainda que os parâmetros de instabilidade devem ser verificados nas duas direções, isso porque a direção secundária muitas vezes, devido à falta de pórticos, apresenta resultados mais desfavoráveis que os da direção principal.

Para efeito de cálculo, as estruturas são consideradas como de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2.<sup>a</sup> ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1.<sup>a</sup> ordem). Nessas estruturas, basta considerar os efeitos locais e localizados de 2.<sup>a</sup> ordem, como indica a ABNT NBR 6118 (2007).

### 2.5.1 Parâmetro de instabilidade $\alpha$

Giongo (2007) relata que a análise da estabilidade global de um edifício avalia a “sensibilidade” da mesma em relação aos efeitos de 2.<sup>a</sup> ordem. Essa “sensibilidade” é tradicionalmente medida por um coeficiente  $\alpha$ , introduzido por Beck em 1966 e, posteriormente, denominado de parâmetro de instabilidade por Franco em 1985.

O modelo proposto por Beck só era válido dentro do regime elástico e considerava um pilar de seção constante, engastado na base e livre no topo, submetido a um carregamento uniformemente distribuído ao longo de toda a sua altura. Esse parâmetro é dado por:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} I_c}} \quad (1)$$

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \text{ se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \text{ se: } n \geq 4$$

$n$  – é o número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

$H_{tot}$  - é a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo;

$N_k$  - é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de  $H_{tot}$ ), com seu valor característico;

$E_{cs}I_c$  - representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. No caso de estruturas de pórticos, de treliças ou mistas, ou com pilares de rigidez variável ao longo da altura, pode ser considerado o valor da expressão  $E_{cs}I_c$  de um pilar equivalente de seção constante.

### 2.5.2 Coeficiente $\gamma_Z$

Criado pelos engenheiros Mário Franco e Augusto Carlos Vasconcelos, o coeficiente  $\gamma_Z$  serve para medir a importância dos efeitos de 2.<sup>a</sup> ordem das edificações. Serve como um majorador, aplicado somente às forças horizontais, determinando com grande aproximação os efeitos de 2.<sup>a</sup> ordem que realmente ocorrem nos elementos estruturais.

Segundo a ABNT NBR 6118 (2007), o coeficiente  $\gamma_Z$  é uma avaliação dos esforços de segunda ordem globais, válido para estruturas reticulares de no mínimo quatro andares. Ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez dados em 15.7.2.

O valor de  $\gamma_Z$  para cada combinação de carregamento é dado pela expressão:

$$\gamma_Z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (2)$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$  - é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$  - é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1.<sup>a</sup> ordem;

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição:  
 $\gamma_Z \leq 1,1$ .

Conforme Araújo (2010), a vantagem do coeficiente  $\gamma_Z$  sobre o parâmetro de instabilidade  $\alpha$  é que  $\gamma_Z$  serve para uma avaliação aproximada dos esforços globais na estrutura. O parâmetro de instabilidade  $\alpha$  só indica se a estrutura pode ser considerada indeslocável.

Para este estudo, será utilizado apenas o parâmetro de instabilidade global o coeficiente  $\gamma_Z$ . Levando em consideração que a estrutura será de nós fixos, logo,  
 $\gamma_Z \leq 1,1$ .

## 2.6 Deslocamentos horizontais nas estruturas

Conforme a Tabela 13.2 – Limites para deslocamentos da ABNT NBR 6118 (2007), o deslocamento horizontal máximo admissível no topo da edificação é dado por  $H/1700$ , onde  $H$  é a altura da estrutura, provocado pela ação do vento para combinação frequente ( $\Psi_1 = 0,30$ ).

Além disso, a ABNT NBR 6118 (2007) relata que o deslocamento horizontal relativo entre pavimentos deve ser limitado a  $h_i/850$ , onde  $h_i$  é o desnível entre pavimentos vizinhos.

Logo se  $h_i = 290$  cm, tem-se para este estudo  $290/850 = 0,34$  cm de deslocamento entre dois pavimentos.

## 2.7 Introdução aos sistemas estruturais adotados

Um sistema construtivo é caracterizado pelos materiais empregados na sua composição. Neste estudo, o sistema construtivo em Concreto Armado, como o próprio nome sugere, é a associação do concreto simples com uma armadura, normalmente constituída por barras de aço capazes de resistir a qualquer tipo de carga.

Segundo ABECE (1998), a padronização dos materiais é, sem dúvida, pré-requisito importantíssimo para a otimização dos processos construtivos. No contexto internacional, ela é condição básica para o alcance de menores custos, alta produtividade e melhor qualidade. Além disso, é através dela que atingiremos alto

grau de industrialização nas obras, transformando-as, como ocorre em outros setores da economia, em uma linha de montagem, obtendo-se a partir daí ganho de escala, melhor produtividade da mão de obra e mais competitividade.

Adotou-se neste trabalho, a denominação de sistema estrutural para caracterizar cada tipo de estrutura seguido da caracterização do processo construtivo escolhido, concreto armado.

### **2.7.1 Sistema estrutural convencional com lajes maciças**

As lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Estes elementos estruturais têm por função básica receber as cargas acidentais aplicadas nos pisos das edificações, transferindo-as aos apoios, que normalmente são constituídos por vigas.

Uma estrutura convencional de concreto armado é aquela formada basicamente por lajes maciças que se apoiam em vigas, que por sua vez, apoiam-se nos pilares. As lajes recebem as cargas de utilização aplicadas no pavimento, acrescido do seu peso próprio, transmitem os esforços às vigas, que remetem as cargas aos pilares, e, a partir destes, o carregamento é transferido para as fundações.

Segundo Spohr (2008), a laje maciça convencional não é adequada para vencer grandes vãos. É prática usual adotar-se como vão médio um valor entre 3,5 m e 5 m.

Nos edifícios de múltiplos pavimentos com estruturas de concreto armado as lajes maciças são responsáveis pelo consumo de elevada parcela do volume total de concreto utilizado.

De acordo com Franca e Fusco (1997), utilizando-se o sistema de lajes maciças com vigas nos pavimentos de edifícios usuais de concreto armado, também conhecido sistema convencional, esta parcela chega a quase 2/3 do volume total de concreto consumido pelas estruturas do edifício (no conjunto total da edificação).

A ABNT NBR 6118 (2007) prescreve os limites mínimos para a espessura das lajes maciças:

- a) 5 cm para lajes de cobertura em balanço;
- b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;

- d) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 KN.

### **2.7.1.1 Vantagens das lajes convencionais**

As principais vantagens são:

- durante muito tempo foi o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto armado, por isso, a mão de obra já é bastante treinada;
- a existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura;
- facilidade no lançamento e adensamento do concreto;
- existe uma grande contribuição das mesas na deformação das vigas;
- possibilidade de descontinuidade em sua superfície.

### **2.7.1.2 Desvantagens das lajes convencionais**

Algumas desvantagens desse sistema são:

- alto consumo de fôrmas e escoramento;
- apresenta grande quantidade de vigas, fato esse que deixa as fôrmas do pavimento muito recortadas, diminuindo a produtividade da construção.
- grande consumo de aço e concreto;
- os recortes diminuem o reaproveitamento das fôrmas;
- tempos de execução das fôrmas e do processo de desforma muito grandes.

### **2.7.2 Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas**

Conforme Droppa Junior (1999), as lajes treliçadas podem ser tratadas como estruturas monolíticas, devido à grande solidarização da armadura com o concreto moldado no local. A princípio, estas lajes têm o mesmo funcionamento estrutural de uma laje projetada da forma convencional, sendo que os elementos pré-moldados têm, no caso, função de racionalização na execução, proporcionando à obra rapidez e economia.

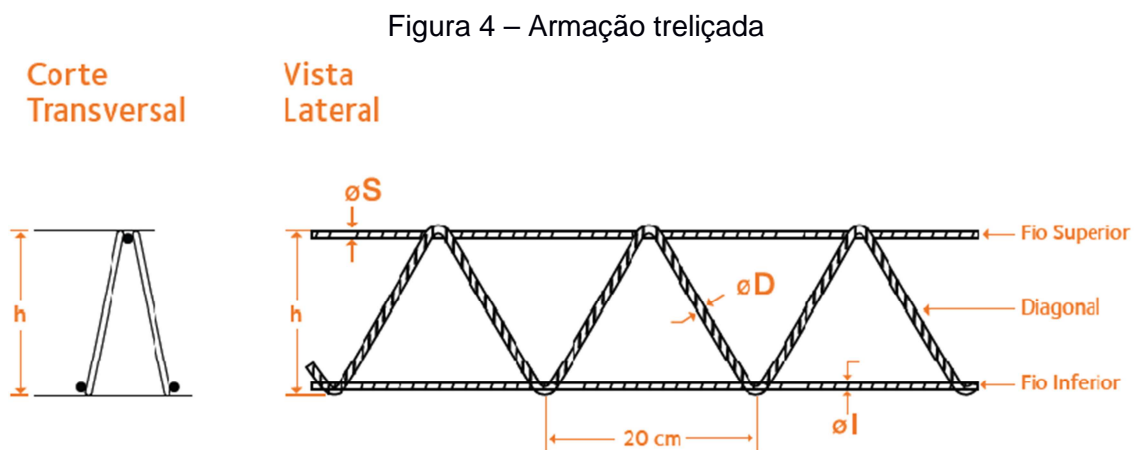
A armadura treliçada é uma estrutura formada por sistema de eletrofusão, de modo a formar duas treliças unidas pelo vértice. As diagonais proporcionam rigidez ao conjunto e excelentes condições de transporte e manuseio.

As vigotas treliçadas podem ser fabricadas com diferentes quantidades de aço, com valores especificados pelo projetista. A *armadura adicional* pode ser composta do mesmo tipo de aço utilizado na treliça, fios de aço CA-60, ou ainda de barras de aço CA-50.

De acordo com as especificações do Catálogo Técnico Belgo (2012), os fios longitudinais superiores  $\varnothing S$ , além de garantirem rigidez ao conjunto, podem ainda colaborar como armadura resistente ao momento fletor negativo após a retirada dos escoramentos, e também como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da estrutura treliçada.

As diagonais  $\varnothing D$ , além de colaborarem como armadura resistente à força cortante, servem para promover uma perfeita coesão entre o concreto do elemento pré-moldado e o concreto de capeamento.

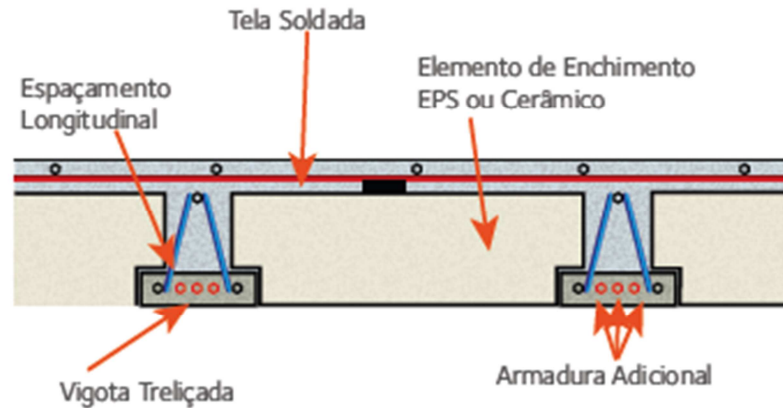
Os fios longitudinais inferiores  $\varnothing I$  colaboram como armadura resistente ao momento fletor positivo. A armação pode ser visualizada na figura 4.



Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

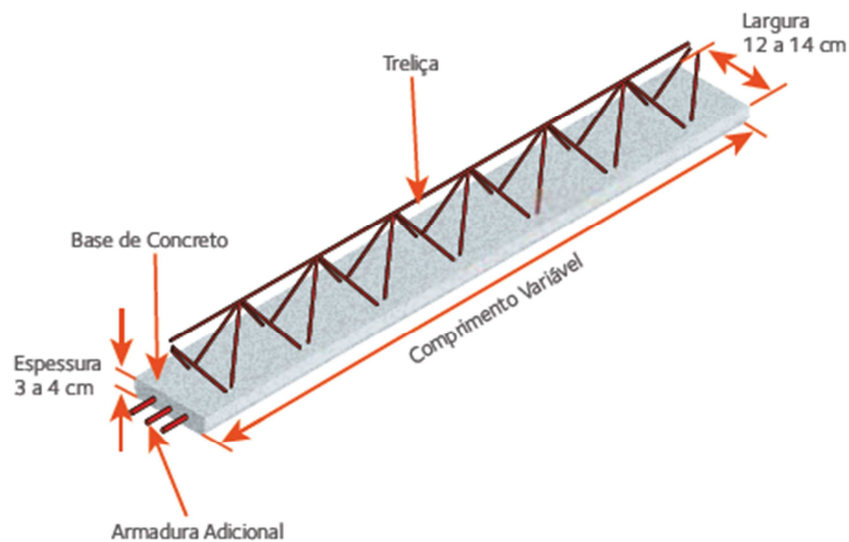
Segundo o item 14.7.7 da ABNT NBR 6118 (2007), as lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração (região abaixo da linha neutra) para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte, de acordo como ilustra a figura 5 e 6.

Figura 5 – Armação da laje com armação treliçada e elemento de enchimento



Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

Figura 6 – Laje com armação treliçada



Fonte: Catálogo Técnico Belgo (2012).

As lajes treliçadas podem ser classificadas como lajes unidirecionais ou bidirecionais. De acordo com a ABNT NBR 14859-1 (2002), as lajes pré-fabricadas unidirecionais são constituídas por nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção. Podem ser empregadas algumas nervuras transversais perpendiculares às nervuras principais para fazer o travamento lateral, de acordo com a figura 7.



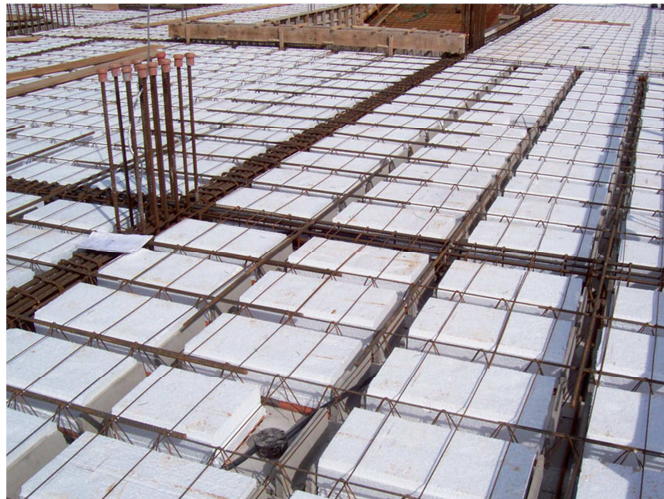
Figura 7 – Laje pré-moldada treliçada unidirecional



Fonte: Lajes Pillar (2012).

A ABNT NBR 14859-2 (2002), prescreve que as lajes pré-fabricadas bidirecionais, são constituídas por nervuras principais nas duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado um material inerte para o preenchimento dos mesmos, como é demonstrado na figura 8.

Figura 8 – Laje pré-moldada treliçada bidirecional



Fonte: Plano Concreto (2012).

As lajes nervuras de um modo geral, são usadas para vencer grandes vãos, sendo usual em edifícios de múltiplos pavimentos elas sejam empregadas com vãos variando de 6 a 12 metros, podendo inclusive atingir vãos maiores e as nervuras são constituídas por vigotas pré-fabricadas treliçadas que são dispostas na direção do

menor vão da laje, além de colaborarem na estabilidade global de edifícios de vários andares.

### **2.7.2.1 Vantagens das lajes com armação treliçada**

As principais vantagens segundo Muniz (1991) são:

- diminuição do peso da laje e conseqüentemente alívio sobre as fundações;
- redução significativa de formas acarretando economia de madeiramento e evitando desperdícios;
- sensível redução do escoramento das lajes, já que se recomenda apenas a colocação de escoras com travessas entre 1.05 m e 1.90 m, dependendo do tipo de escoramento (metálico ou madeira), durante a fase de cura do concreto;
- reduz a quantidade de estoque e movimentação de materiais no canteiro de obras;
- diminuem custos de mão de obra de ferreiros e carpinteiros;
- reduzem-se os prazos de execução de obras;
- a fôrma possui poucas vigas, ou seja, é pouco recortada, facilitando a execução;
- o fato de ter poucas vigas, faz com que a estrutura não interfira muito na arquitetura.

### **2.7.2.2 Desvantagens das lajes com armação treliçada**

Algumas desvantagens:

- o transporte, se a obra for longe da fábrica;
- os equipamentos necessários para o içamento das peças;
- normalmente aumentam a altura total da edificação;
- aumentam as dificuldades de compatibilização com outros subsistemas (instalações, vedação, entre outros.);
- dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo;
- dificuldade na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação dos mesmos durante a concretagem.

### **2.7.2.3 Bloco de EPS para enchimento**

A função do elemento de enchimento é aumentar a altura da laje, aumentar o braço de alavanca formado pela capa de concreto comprimido e a armadura tracionada. Como o concreto abaixo da linha neutra não tem função estrutural, ele é substituído por materiais leves e vazios. As únicas cargas que os elementos de enchimento devem suportar são o peso do concreto fresco moldado “in loco” e as ações de execução da concretagem.

Os blocos de EPS vêm ganhando espaço na execução de lajes nervuradas, sendo utilizados principalmente junto com as vigotas pré-moldadas treliçadas.

### **2.7.2.4 Vantagens da utilização dos blocos de EPS**

As principais vantagens segundo Silva (2002):

- possibilita a execução de estruturas leves;
- gera redução no custo dos materiais nos diversos elementos estruturais;
- facilidade no transporte das peças;
- proporciona redução do volume de mão de obra e aumento de produtividade;
- possibilita construções com amplos vãos livres;
- resulta em edificações mais econômicas e confortáveis.

### **2.7.2.5 Desvantagens da utilização dos blocos de EPS**

Algumas desvantagens segundo Silva (2002):

- por apresentar baixo peso específico, o processamento de concretagem torna-se complicado, em virtude da tendência dos blocos emergirem no concreto;
- incorporam, de certa forma, relativa carga permanente à laje, quando comparado com fôrmas constituídas de moldes de polipropileno;
- o EPS não pode receber diretamente o revestimento, devendo ser feito com chapisco, utilizando-se um aditivo de base acrílica (PVA).

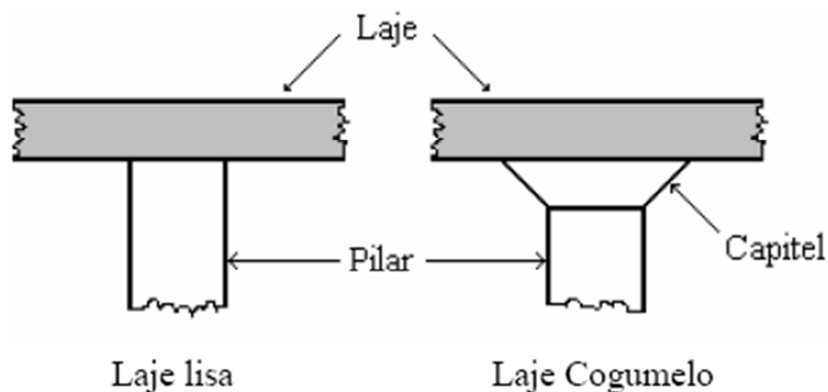
### 2.7.3 Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas

As lajes nervuradas são compostas por nervuras em uma ou duas direções, formando espaços entre elas nos quais são utilizados elementos de enchimento.

A alternativa estrutural adotada para esse sistema será concebida com laje lisa nervurada com enchimento de cubas de polipropileno, que formam um espaço vazio entre as nervuras que dão forma a esse tipo de laje. As fôrmas em formas de cubas podem ser removidas após o tempo de cura para serem reutilizadas nos pavimentos subsequentes.

A ABNT NBR 6118 (2007), prescreve que lajes-cogumelos são aquelas apoiadas diretamente sobre pilares com capitéis, enquanto as lajes lisas são apoiadas diretamente em pilares, conforme a figura 9.

Figura 9 – Laje lisa e laje-cogumelo apoiadas diretamente em pilares



Fonte: Guimarães (2008).

As lajes nervuradas lisas são concretadas maciçamente nas regiões próximas aos pilares internos, com o propósito de resistir aos esforços de flexão sobre o pilar e a punção na laje, como demonstrado na figura 10.

Figura 10 – Laje lisa apoiadas diretamente em pilares



Fonte: Atex (2012).

Segundo Spohr (2008), as lajes nervuradas adaptam-se a qualquer tipo de estrutura, tais como:

- edifícios residenciais;
- edifícios comerciais;
- garagens;
- escolas;
- indústrias;
- hospitais;
- hotéis;
- shopping centers.

### **2.7.3.1 Vantagens das lajes lisas**

As principais vantagens das lajes nervuradas lisas segundo Albuquerque (1999) e Spohr (2008), destacam-se:

- as formas apresentam um plano contínuo, com recortes apenas nas ligações com os pilares; por isso apresentam simplicidade na execução e na retirada das fôrmas;
- menor consumo de madeira e menor incidência de mão de obra, para confecção das fôrmas;

- maior reaproveitamento da fôrma e maior facilidade na concretagem, pois possui um pano único;
- os pilares podem ser distribuídos de acordo com as necessidades do projeto arquitetônico, sem a necessidade de alinhamento;
- o posicionamento das paredes não fica condicionado por vigas, propiciando mais liberdade ao projeto arquitetônico;
- economia nas instalações, já que o projeto e a execução das instalações são facilitados, pois diminui a quantidade de curvas e elimina a perfuração de vigas;

### **2.7.3.2 Desvantagens das lajes lisas**

Segundo Araújo (2010), as lajes lisas não devem ser empregadas sem uma análise criteriosa. No caso de edifícios residenciais, normalmente não há uma disposição regular dos pilares e a solução em laje lisa pode ser antieconômica. Além disso, a ausência de vigas torna a estrutura muito deformável frente às ações horizontais, o que é um sério problema em edifícios altos, com isso, torna-se necessário projetar elementos de contraventamento, como paredes estruturais ou núcleos rígidos na região da escada e dos poços de elevadores.

Assim, as principais desvantagens do sistema segundo Albuquerque (1999) e Henrichs (2003), citam-se:

- menor rigidez da estrutura às ações laterais em relação aos outros sistemas estruturais, devido ao número reduzido de pórticos;
- puncionamento da laje pelos pilares é um dos principais problemas de tais lajes, podendo ser solucionado adotando-se uma espessura de laje adequada ou adotando uma armadura de punção, ou ambos;
- em geral, maior consumo de aço e concreto;
- o deslocamento da laje sem vigas, para uma mesma rigidez e um mesmo vão, é maior do que aqueles nas lajes sobre vigas;
- menor desempenho acústico em relação aos outros sistemas estruturais.

### **2.7.3.3 Cubas de polipropileno para enchimento**

Segundo Silva (2002), as cubetas são moldes em polipropileno, desenvolvidos especialmente para construção de lajes nervuradas.

De acordo com informações de algumas empresas que comercializam moldes para lajes nervuradas em regime de venda, a vida útil de cada molde é de 100 utilizações e em apenas 13, o construtor já reaverá o capital empregado na compra, comparando-se com o preço de locação praticado no mercado.

### **2.7.3.4 Vantagens das cubas de polipropileno**

As principais vantagens citadas por Albuquerque e Pinheiro (2002) e Silva (2002) são:

- não aumentam o peso próprio da estrutura;
- possibilita o uso de forro falso, que permite a colocação de dutos de instalação não embutidos na estrutura;
- após a retirada do escoramento, injeta-se ar comprimido no furo existente na cubeta e ela se solta, permitindo o reaproveitamento;
- não incorpora peso à laje e por serem leves, facilitam o manuseio na obra;
- atendem a diversos tipos de projetos, pois são encontradas com diversas dimensões e alturas;
- a montagem e a desfôrma são extremamente fáceis, uma vez que seja utilizado o método no qual podem ser apoiadas diretamente sobre o escoramento, assim, eliminando a necessidade do uso de compensado;
- a laje apresenta bom aspecto após executado, não sendo necessária a aplicação de nenhum revestimento.

### **2.7.3.5 Desvantagens das cubas de polipropileno**

A principal desvantagem desse sistema conforme Silva (2002), é o fato de alguns arquitetos não aprovam o uso deste sistema pelo fato de a face inferior da laje não apresentar uma superfície plana, acarretando a necessidade do emprego de forros, aumentando o custo do sistema. Nas figuras 11 e 12 pode ser visualizado a

montagem de uma laje nervura com cubas de polipropileno e o aspecto da laje acabada.

Figura 11 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente em pilares (vista superior)



Fonte: Consultoria e Análise (2009).

Figura 12 – Aspecto final da laje lisa nervurada acabada



Fonte: Atex (2012).



Conforme Araújo (2010), as lajes nervuradas exigem uma altura  $h_t$  cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de 8m.

O uso de vigas de bordo ligadas aos pilares no entorno do pavimento, traz como benefício a formação pórticos para resistir aos esforços das ações laterais.

### **2.7.3.6 Determinações da ABNT NBR 6118 (2007) para lajes lisas**

De acordo com ABNT NBR 6118 (2007) são estabelecidos alguns limites para à espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre nervuras e não menor que 3 cm. O valor mínimo absoluto de ser 4 cm, quando existirem tubulações de diâmetro máximo 12,5 mm. A espessura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm e nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão.

Segundo as prescrições da ABNT NBR 6118 (2007) para o projeto das lajes nervuradas devem ser obedecidas as seguintes condições:

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

### **2.7.3.7 Análise estrutural de lajes lisas**

Segundo a ABNT NBR 6118 (2007) a análise estrutural de lajes lisas e cogumelo deve ser realizada mediante emprego de procedimento numérico

adequado, por exemplo, diferenças finitas, elementos finitos e elementos de contorno.

Nas situações em que os pilares estiverem dispostos em filas ortogonais, de maneira regular e com vãos pouco diferentes, o cálculo dos esforços pode ser realizado pelo processo elástico aproximado, com redistribuição, que consiste em adotar em cada direção pórticos múltiplos, para obtenção dos esforços solicitantes.

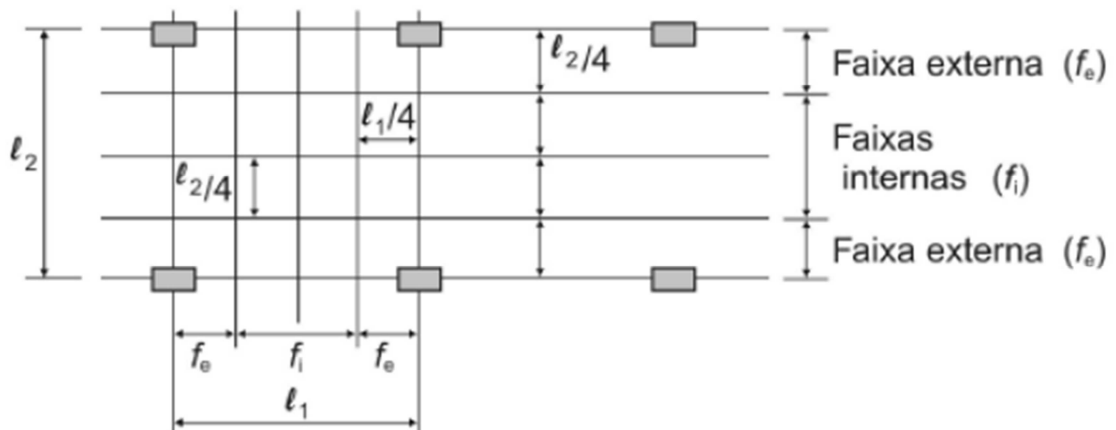
Para cada pórtico deve ser considerada a carga total. A distribuição dos momentos, obtida em cada direção, segundo as faixas indicadas na figura 13, deve ser feita da seguinte maneira como estabelece a ABNT NBR 6118 (2007):

- a) 45% dos momentos positivos para as duas faixas internas;
- b) 27,5% dos momentos positivos para cada uma das faixas externas;
- c) 25% dos momentos negativos para as duas faixas internas;
- d) 37,5% dos momentos negativos para cada uma das faixas externas.

As ligações das lajes com os pilares, devem ser cuidadosamente estudadas com especial atenção aos casos em que não haja simetria de forma ou de carregamento da laje em relação ao apoio.

Os momentos de ligação entre laje e pilares externos devem ser considerados obrigatoriamente.

Figura 13 – Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos



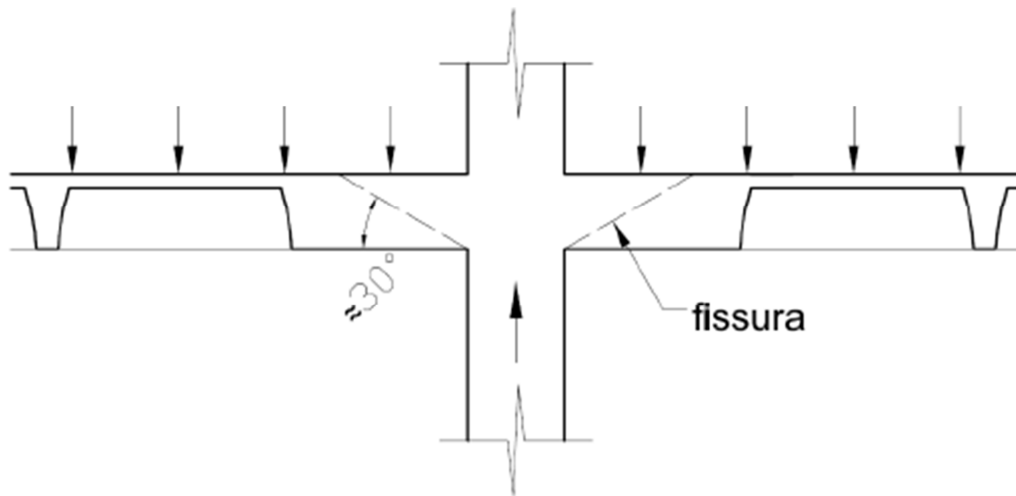
Fonte: ABNT NBR 6118 (2007).

### 2.7.3.8 Punção

Segundo Melges (1995), o fenômeno da punção de uma placa é basicamente a sua perfuração devida às altas tensões de cisalhamento, provocadas por forças concentradas ou agindo em pequenas áreas. Nos edifícios com lajes-cogumelo, esta forma de ruína pode se dar na ligação da laje com pilares, onde a reação do pilar pode provocar a perfuração da laje.

Araújo (2010) define a punção como sendo o estado limite último por cisalhamento no entorno de forças concentradas (cargas ou reações), e que a ruptura por punção se dá com a propagação de fissuras inclinadas através da espessura da laje, com inclinação média de  $30^\circ$ , como mostra a figura 14. Acrescenta ainda que sua análise é de fundamental importância no caso de lajes cogumelo.

Figura 14 – Ruína por punção em lajes lisas nervuradas



Fonte: Spohr (2008).

Conforme Albuquerque (1999) em várias normas a verificação da punção é baseada no método da superfície de controle, que consiste no cálculo de uma tensão nominal de cisalhamento em uma determinada superfície de controle. Com o valor dessa tensão e o da resistência do concreto, faz-se a verificação.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2007) o modelo de cálculo utilizado correspondente à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas, como mostra a figura 15.

Na primeira superfície críticas (contorno C), do pilar ou da carga concentrada, deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, através da tensão de cisalhamento.

Na segunda superfície crítica (contorno C') afastada 2d do pilar ou carga concentrada, deve ser verificada a capacidade da ligação à punção, associada à resistência à tração diagonal. Essa verificação também se faz através de uma tensão de cisalhamento, no contorno C'.

Caso haja necessidade, a ligação deve ser reforçada por armadura transversal.

A terceira superfície crítica (contorno C'') apenas deve ser verificada quando for necessário colocar armadura transversal.

No caso em que o efeito do carregamento pode ser considerado simétrico tem-se:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u.d} \quad (3)$$

onde:

$$d = (d_x + d_y) / 2 \quad (4)$$

Com as seguintes considerações:

d – altura útil da laje ao longo do contorno crítico C', externo ao contorno C da área de aplicação da força e deste 2d no plano da laje;

$d_x$  e  $d_y$  - são as alturas úteis nas duas direções ortogonais;

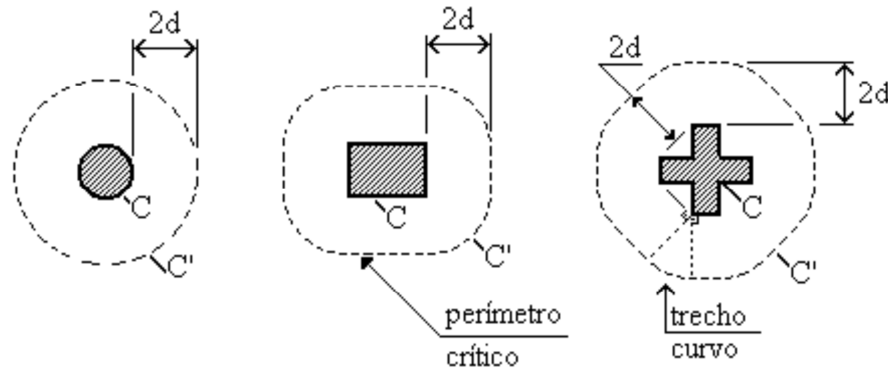
u – perímetro do contorno crítico C';

u.d – área de superfície crítica;

$F_{sd}$  - força ou a reação concentrada, de cálculo.

A força de punção  $F_{sd}$  pode ser reduzida da força distribuída aplicada na face oposta da laje, dentro do contorno considerado na verificação, C ou C'.

Figura 15 – Perímetro crítico em pilares internos



Fonte: ABNT NBR 6118 (2007).

No caso de pilar interno com efeito de momento, quando além da força vertical, existe transferência de momento da laje para o pilar, o efeito de assimetria deve ser considerado, de acordo com a expressão:

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u \cdot d} + \frac{k M_{sd}}{W_p d} \quad (5)$$

Onde,  $k$  é o coeficiente que fornece a parcela de  $M_{sd}$  transmitida ao pilar por cisalhamento, que depende da relação  $C_1/C_2$ .

O coeficiente  $K$  assume os valores indicados na tabela 19.2. da ABNT NBR 6118 (2007):

Tabela 1 – Valores de  $K$ 

$C_1/C_2$	0,5	1	2	3
$k$	0,45	0,6	0,7	0,8

$C_1$  é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;  
 $C_2$  é a dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força

Fonte: ABNT NBR 6118 (2007).

O valor de  $W_p$ , para pilares retangulares devem ser calculados pela expressão:

$$W_p = \frac{c_1^2}{2} + C_1 \cdot C_2 + 4 \cdot C_2 \cdot d + 16 \cdot d^2 + 2\pi \cdot d C_1 \quad (6)$$

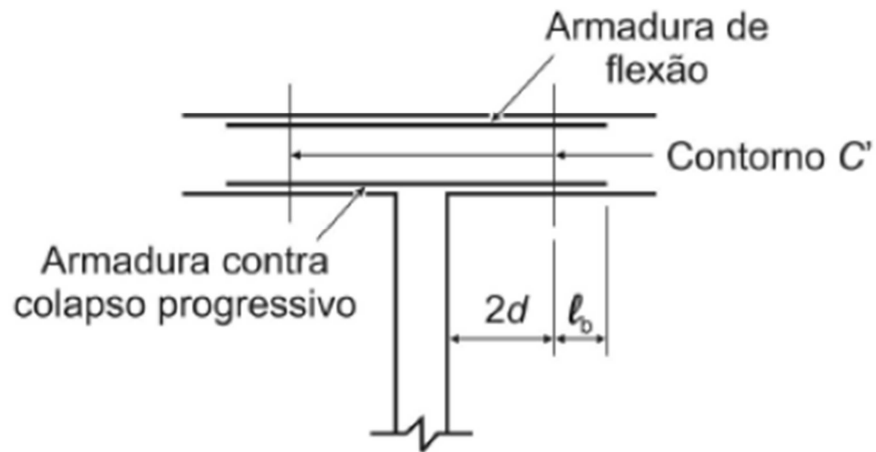
### 2.7.3.9 Colapso progressivo

A BNT NBR 6118 (2007) prescreve que para garantir a ductilidade local e a conseqüente proteção contra o colapso progressivo, a armadura de flexão inferior que atravessa o contorno C deve estar suficientemente ancorada além do contorno C', conforme a figura 16, deve ser dada por:

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{sd} \quad (7)$$

Onde, o  $A_s$  é o somatório de todas as áreas das barras que cruzam cada uma das faces do pilar.

Figura 16 – Armadura contra colapso progressivo



Fonte: ABNT NBR 6118 (2007).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 Considerações gerais**

Neste trabalho, desenvolveu-se uma análise comparativa entre os sistemas estruturais convencionais de lajes maciças e lajes nervuradas de concreto armado. Primeiramente, foi definido os sistemas construtivos a serem analisados. Em seguida, foi escolhido o edifício modelo para servir como base para a análise de cada sistema estrutural proposto neste trabalho.

Na segunda parte deste trabalho, efetuaram-se os lançamentos estruturais do edifício modelo e uma análise da estrutura para os três sistemas escolhidos, obtendo-se os quantitativos de matérias, os quais formarão os índices definidos para comparação.

Foram comparados os custos totais da obra obtidos através de composições de preços, chegando-se a um valor global para cada sistema proposto.

### **3.2 Sistemas construtivos adotados**

#### **3.2.1 Sistema construtivo**

- Sistema estrutural convencional com lajes maciças, vigas e pilares;
- Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliças, vigas e pilares;
- Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares.

#### **3.2.2 Etapas consideradas**

- A estrutura propriamente dita, pilares, vigas e lajes.

#### **3.2.3 Serviços e insumos envolvidos**

- Formas, aço e concreto.

### **3.3 Edifício modelo**

O edifício modelo foi cedido pela Vêneto Empreendimentos imobiliários. Trata-se de um edifício residencial denominado Residencial Arezzo Vêneto, conforme a figura 17, o qual, atualmente está em fase de construção. Localiza-se à Rua Tenente Coronel Brito, 1169, no município de Santa Cruz do Sul, estado do Rio Grande do Sul.

Trata-se de uma edificação comercial/residencial, a parte comercial possui duas lojas com mezanino e a parte residencial é composta por onze pavimentos com quatro apartamentos por andar.

Neste estudo, levou-se em consideração devido a sua importância a existência de outros pavimentos, tais como: térreo com pé direito duplo com mezanino, terceiro pavimento, pavimentos tipo, coberturas e reservatórios.

A escolha desse edifício modelo deve-se ao fato do mesmo possuir uma utilização residencial, o que desperta o interesse de qual alternativa estrutural seria a mais adequada para edificações mais robustas.



Figura 17 – Residencial Arezzo Vêneto



Fonte: Vêneto Empreendimentos imobiliários (2012).

### 3.4 Ferramenta de cálculo estrutural

O CAD/TQS® é um software desenvolvido e distribuído no Brasil, é a ferramenta de cálculo estrutural mais conhecida pelos engenheiros para cálculo de estruturas em concreto armado e protendido. A sua metodologia de trabalho agrega todas as etapas da elaboração de um projeto estrutural.

A estrutura é toda concebida em um modelador gráfico que oferece suporte desde a entrada de dados relativos à geometria e ao carregamento do pavimento. Com esses dados podem ser modelados os elementos como pilares, vigas, lajes,

escadas, fundações, distribuindo as ações das lajes para as vigas e dessas para os pilares.

Possui uma análise rica e completa que vai desde combinações de carregamentos, informações sobre as características do vento, análise de estabilidade global, viga contínua, discretização por elementos de barras e placas, verificação dos estados limites últimos e estados limites de serviço, como: o cálculo de flechas e abertura de fissuras, além de gerar o modelo de pórtico espacial para gerar os esforços atuantes na estrutura.

Passa-se para o dimensionamento e detalhamento das armaduras, onde são emitidos relatórios de cálculos e desenhos que podem ser editados graficamente até a plotagem dos desenhos finais que serão utilizados na construção.

É importante salientar que a modelagem da estrutura é de responsabilidade do engenheiro, uma vez que o software não tem poder de escolher qual o melhor modelo matemático a ser adotado, além de possuir um arquivo de critérios onde o projetista define parâmetros para o processamento e detalhamento da estrutura.

### **3.5 Especificações adotadas para comparação**

#### **3.5.1 Índice de formas (if)**

É relação entre o consumo total de formas e a área total da edificação.

$$if = Af \text{ (m}^2\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (8)$$

#### **3.5.2 Índice de aço (ia)**

É a relação entre o consumo total de aço e o consumo total de concreto.

$$ia = P \text{ (Kg)} / V \text{ (m}^3\text{)} \quad (9)$$

#### **3.5.3 Índice de aço II (ia II)**

É a relação entre uso total de aço utilizado e a área total da edificação.

$$ia = P \text{ (Kg)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (10)$$

### 3.5.4 Índice de concreto (ic)

É a relação entre o uso total de concreto e a área total da edificação.

$$ic = V \text{ (m}^3\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (11)$$

### 3.6 Especificações adotadas para o cálculo dos custos

O custo final de uma obra é composto de inúmeras variáveis complexas e de difícil detalhamento, com isso, a comparação de custos é algo que intrinsecamente apresenta uma grande dificuldade.

Utilizaram-se composições usuais para os serviços considerados. Foram consideradas apenas composições de serviços propriamente ditos, com isso, não se consideram os custos relacionados a serviços iniciais, instalação da obra, limpeza do terreno ou quaisquer outros não relacionados com os serviços apresentados neste trabalho.

As composições utilizadas foram retiradas das “Tabelas para Composições de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2012), nas quais foram feitas pequenas adaptações.

Os valores médios da mão de obra considerados foram retirados da tabela de Preços e Custos da Construção, bem como o valor do CUB/RS (custo unitário básico calculado pelo SINDUSCON/RS) referem-se ao mês de setembro de 2012. Para os insumos foram utilizados valores do mercado local.

Foram adotadas semelhantes condições para o canteiro de obra, transporte de materiais para o estudo proposto.

## **4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS**

### **4.1 Sistema estrutural convencional com lajes maciças**

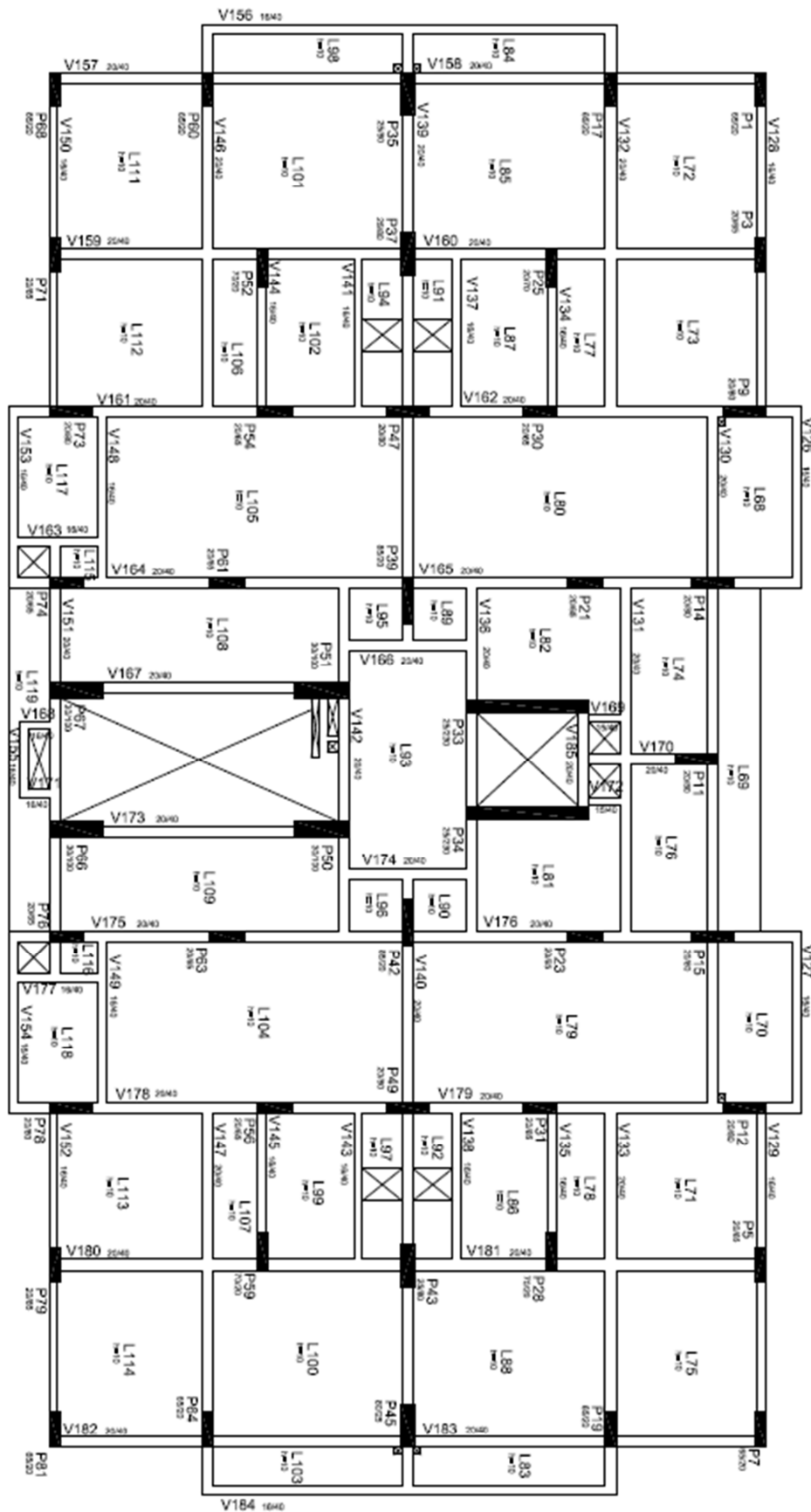
#### **4.1.1 Dados do projeto**

No dimensionamento da estrutura convencional, foi utilizado concreto com resistência característica  $F_{ck} = 25$  MPa em toda estrutura.

Outras especificações tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimentos utilizados, foram descritos no capítulo 4.

O sistema de formas e escoramentos utilizados no sistema convencional foram em madeira de chapa compensada plastificada com espessura de 12mm com reaproveitamento de 12 vezes, tábuas e puntaletes de pinho, de acordo com as composições apresentadas em anexo neste trabalho.

Figura 18 – Planta de formas do Sistema estrutural 1



Fonte: figura elaborada pelo autor.

#### 4.1.2 Resultados do Sistema 1

Demonstra-se nas Tabelas 2 e 3, os resultados obtidos do Sistema estrutural convencional de lajes maciças.

Tabela 2 – Consumo de materiais do Sistema 1

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de formas
	(m <sup>3</sup> )	CA-50	CA-60	(m <sup>2</sup> )
VIGAS	276,10	25.346,00	3.932,00	2.985,00
PILARES	330,50	23.502,00	3.305,00	3.653,00
LAJES	409,40	25.298,00	1.631,00	3.715,00
TOTAL	1.016,00	74.146,00	8.868,00	10.353,00

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Índices do Sistema 1

Taxa de Concreto	Taxa de Aço	Taxa de Aço II	Taxa de Formas
(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
0,23	81,71	18,50	2,31

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

#### 4.2 Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas

##### 4.2.1 Dados do projeto

No dimensionamento da estrutura convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas com enchimento de EPS, foi utilizado concreto com resistência característica  $F_{ck} = 25$  MPa em toda estrutura.

Outras especificações tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimentos utilizados, foram descritos no capítulo 4.

O sistema de formas e escoramentos utilizados, foram em madeira de chapa compensada plastificada com espessura de 12 mm com reaproveitamento de 12 vezes, tábuas e pontaltes de pinho, de acordo com as composições apresentadas em anexo neste trabalho.



#### 4.2.2 Resultados do Sistema 2

Demonstram-se nas Tabelas 4, 5 e 6, os resultados obtidos do Sistema estrutural convencional com lajes pré-moldadas treliçadas com enchimento de EPS.

Tabela 4 – Consumo de materiais do Sistema 2

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Pré-moldados (m <sup>2</sup> )			Área de Formas
	(m <sup>3</sup> )	CA-50	CA-60	h=14cm	h=20m	h = 25 cm	(m <sup>2</sup> )
VIGAS	276,20	23.368,0	4.133,00				2.870,00
PILARES	330,50	21.090,0	4.087,00				3.653,00
LAJES	219,20	3.791,50	543,00	3.922,00	54,00	24,00	257,00
TOTAL	825,90	48.249,50	8.763,00	3.922,00	54,00	24,00	10.780,00

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Tabela 5 – Blocos de enchimento do Sistema 2

Bloco de enchimento	
Material	Tipo de Forma
EPS UNIDIRECIONAL	H10/40/120
EPS UNIDIRECIONAL	H16/40/120
EPS UNIDIRECIONAL	H20/40/120

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Índices do Sistema 2

Taxa de Concreto	Taxa de Aço	Taxa de Aço II	Taxa de Formas
(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
0,18	68,99	12,66	1,51

Fonte: tabela elaborada pelo autor.



### **4.3 Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas**

#### **4.3.1 Dados do projeto**

No dimensionamento da estrutura com lajes lisas nervuradas com enchimento de cubas de polipropileno, foi utilizado concreto com resistência característica  $F_{ck} = 25$  MPa em toda estrutura.

Outras especificações tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimentos utilizados, foram descritos no capítulo 4.

Nessa estrutura foram adotadas vigas de borda em todos os pavimentos para reduzir os momentos fletores, os deslocamentos horizontais e o efeito de punção nos limites das lajes.

O sistema de formas e escoramentos utilizados na estrutura de lajes lisas nervuradas foram cubas de polipropileno, madeira de chapa compensada plastificada com espessura de 18 mm com reaproveitamento de 12 vezes, escoramento e reescoramento metálico, de acordo com as composições apresentadas em anexo neste trabalho.



### 4.3.2 Resultados do Sistema 3

Demonstram-se nas Tabelas 7, 8 e 9, os resultados obtidos do Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas com enchimento de cubas de polipropileno.

Tabela 7 – Consumo de materiais do Sistema 3

	Volume de concreto	Aço (Kg)		Área de formas
	(m <sup>3</sup> )	CA-50	CA-60	(m <sup>2</sup> )
VIGAS	187,70	24.905,00	2.980,00	1.750,00
PILARES	389,50	27.900,00	3.035,00	3.857,00
LAJES	622,80	45.710,00	1.935,00	3.488,00
TOTAL	1.200,00	98.515,00	7.950,00	9.095,00

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Tabela 8 – Blocos de enchimento do Sistema 3

Bloco de enchimento		
Material	Tipo de Forma	Quantidade (und.)
Cubeta e polipropileno	Atex 800 x 250	4268,00

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Tabela 9 – Índices do Sistema 3

Taxa de Concreto	Taxa de Aço	Taxa de Aço II	Taxa de Formas
(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	(Kg/m <sup>3</sup> )	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )
0,26	88,72	23,55	1,38

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

## 4.4 Análise dos resultados e custos

### 4.4.1 Resultados

Demonstra-se na Tabela 10 o comparativo de materiais e índices. Nas Figuras 21, 22 e 23 apresentam-se graficamente em percentuais os dados da tabela.

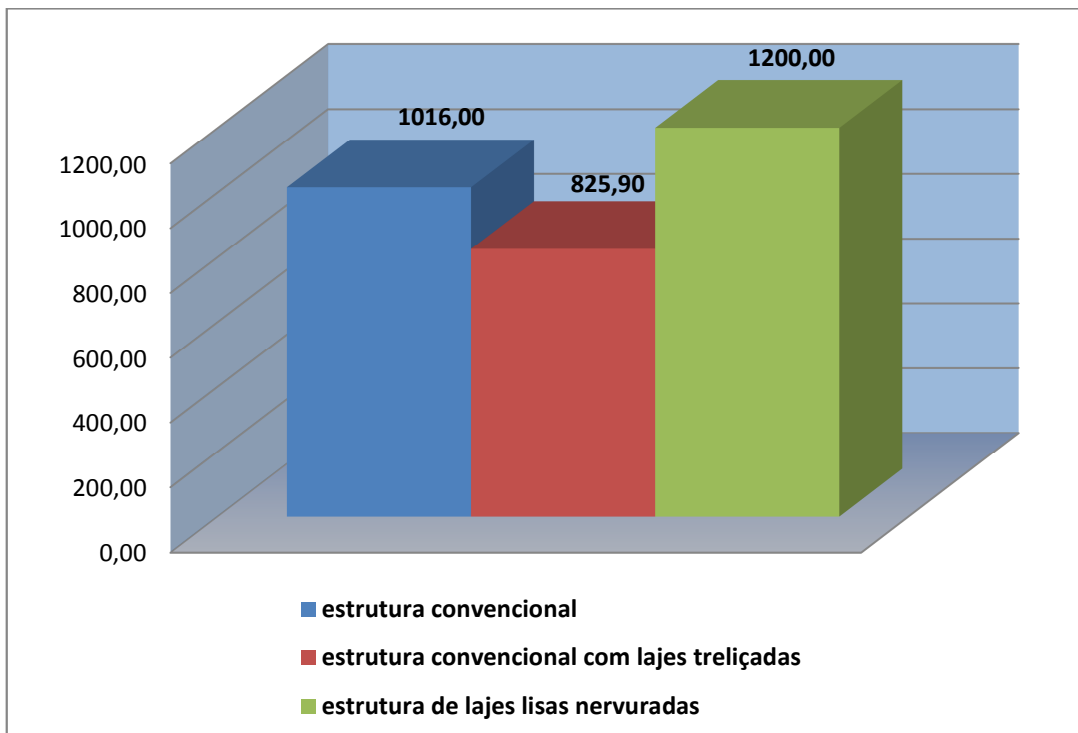
Tabela 10 – Comparativo de materiais e índices

Sistema Estrutural	Volume Concreto		Peso Aço		Área de formas		Taxa concreto	Taxa aço	Taxa aço II	Taxa forma
	m <sup>3</sup>	%	Kg	%	m <sup>2</sup>	%	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Kgf/m <sup>3</sup>	Kgf/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Estrutura convencional	1.016,00	85%	83.014,00	78%	10.353,00	96%	0,23	81,71	18,50	2,31
Estrutura conv. c/ lajes treliçadas	825,90	69%	57.012,50	54%	10.780,00	100%	0,18	68,99	12,66	1,51
Estrutura c/ lajes lisas nervuradas	1.200,00	100%	106.465,00	100%	9.095,00	84%	0,26	88,72	23,55	1,38

- Adotado valor de referência = 100%

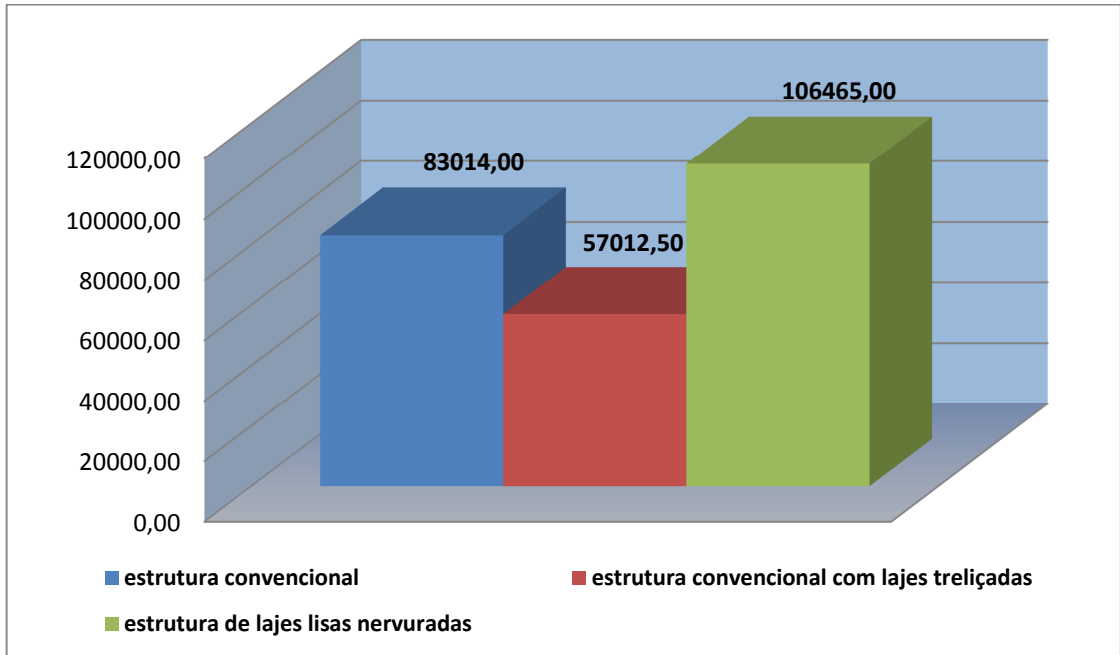
Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Figura 21 – Comparativo do volume de concreto (m<sup>3</sup>) entre os sistemas estruturais propostos



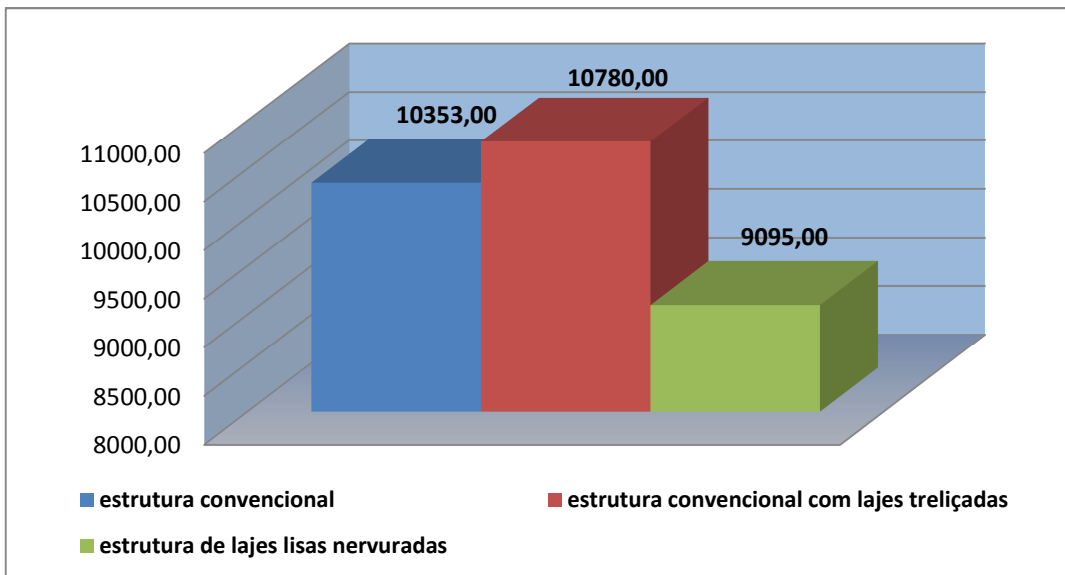
Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 22 – Comparativo do peso do aço (Kg) entre os sistemas estruturais propostos



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 23 – Comparativo da área de formas (m<sup>2</sup>) entre os sistemas estruturais propostos



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

## 4.5 Custos

### 4.5.1 Sistema 1 - Estrutura de laje convencional

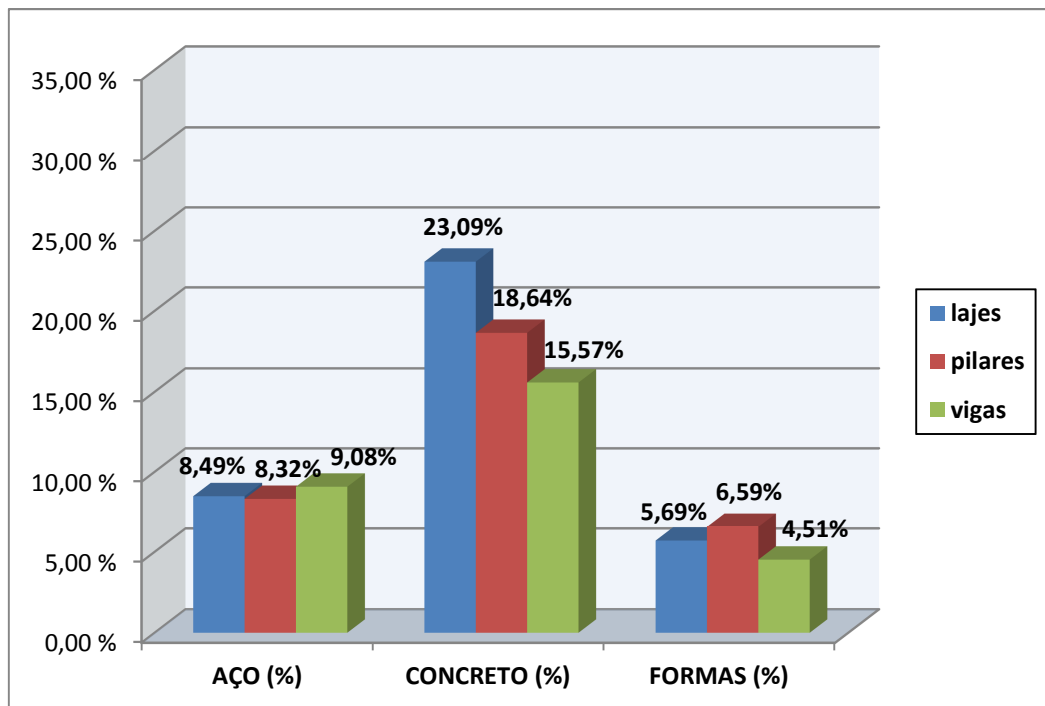
Demonstra-se na Tabela 11 o resumo dos custos do Sistema 1, bem como, o valor total da estrutura. Nas Figuras 24, 25 e 26 apresentam-se graficamente em percentuais os dados da tabela.

Tabela 11 – Resumo de custos do Sistema 1

	Concreto (R\$)	Aço (R\$)		Formas (R\$)
		CA-50	CA-60	
VIGAS	R\$ 115.547,85	R\$ 56.571,68	R\$ 10.773,68	R\$ 33.491,70
PILARES	R\$ 138.314,25	R\$ 52.710,00	R\$ 9.055,70	R\$ 48.913,67
LAJES	R\$ 171.333,90	R\$ 58.530,83	R\$ 4.468,94	R\$ 42.239,55
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 425.196,00</b>	<b>R\$ 167.812,51</b>	<b>R\$ 24.298,32</b>	<b>R\$ 124.644,92</b>
<b>TOTAL DA ESTRUTURA</b>				<b>R\$ 741.951,75</b>

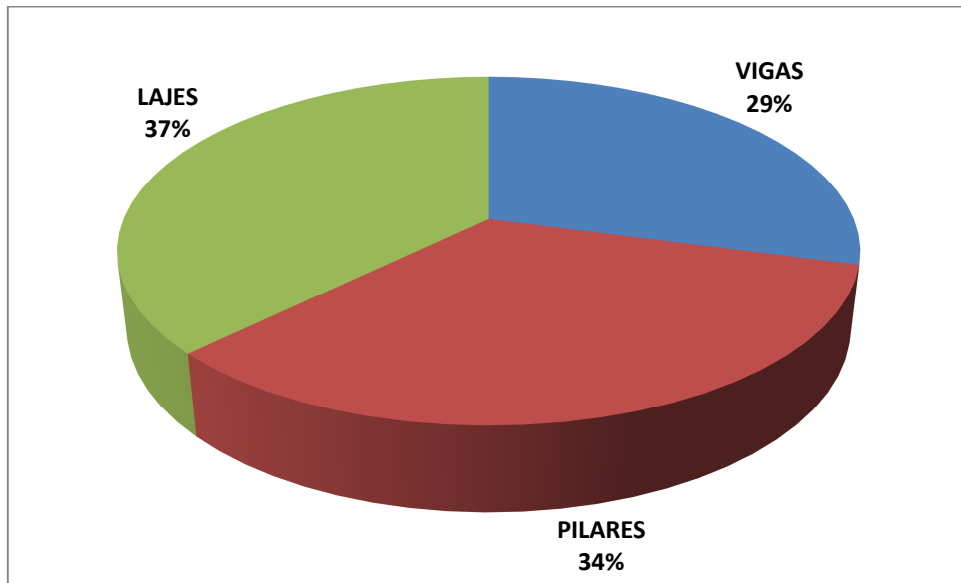
Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Figura 24 – Custo percentual do Sistema 1



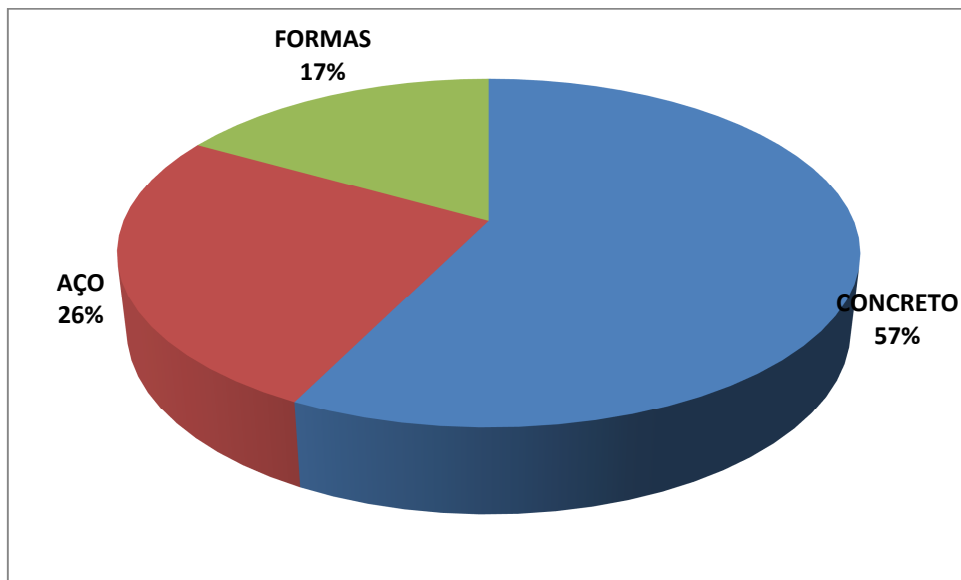
Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 25 – Custo percentual total por elemento do Sistema 1



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 26 – Custo percentual total por material do Sistema 1



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

#### 4.5.2 Sistema 2 - Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-fabricadas treliçadas

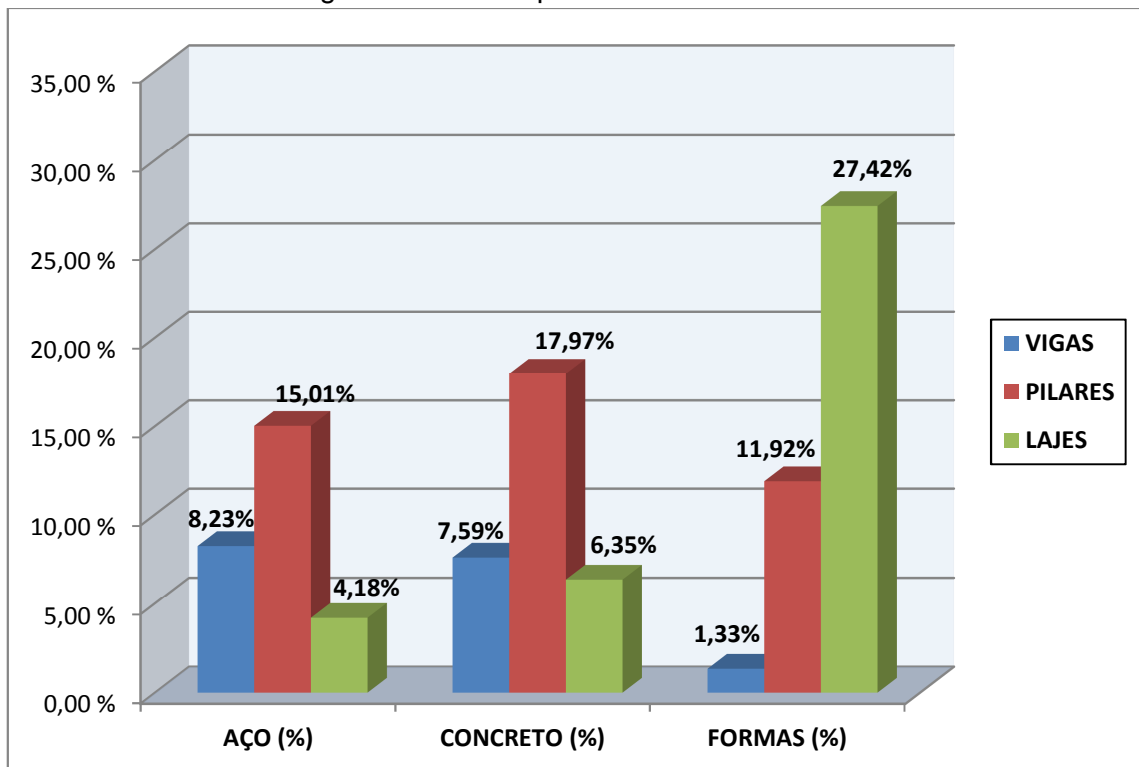
Demonstra-se na Tabela 12 o resumo dos custos do Sistema 2, bem como, o valor total da estrutura. Nas Figuras 27, 28 e 29 apresentam-se graficamente em percentuais os dados da tabela.

Tabela 12 – Resumo de custos do Sistema 2

	Concreto (R\$)	Aço (R\$)		Pré-moldados (R\$)			Formas (R\$)
		CA-50	CA-60	h = 14cm	h = 20cm	h = 25cm	
VIGAS	115.589,70	52.058,32	11.324,42				32.201,40
PILARES	138.314,25	47.220,99	11.198,38				48.913,67
LAJES	91.735,20	8.771,16	1.487,82	202.610,52	3.329,64	2.199,84	2.922,09
<b>TOTAL</b>	<b>345.639,15</b>	<b>108.050,47</b>	<b>24.010,62</b>	<b>202.610,52</b>	<b>3.329,64</b>	<b>2.199,84</b>	<b>292.177,16</b>
<b>TOTAL DA ESTRUTURA</b>					<b>R\$ 769.877,40</b>		

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

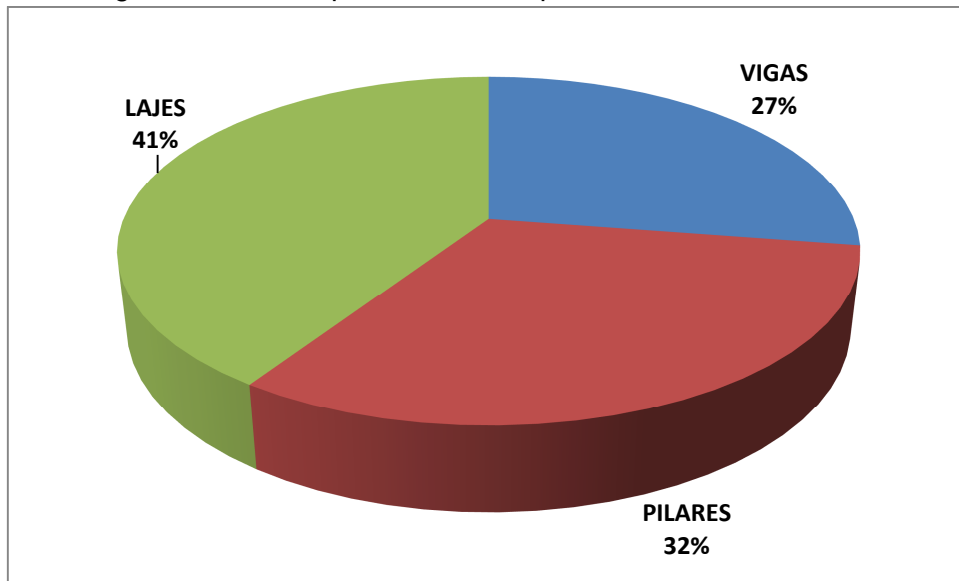
Figura 27 – Custo percentual do Sistema 2



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

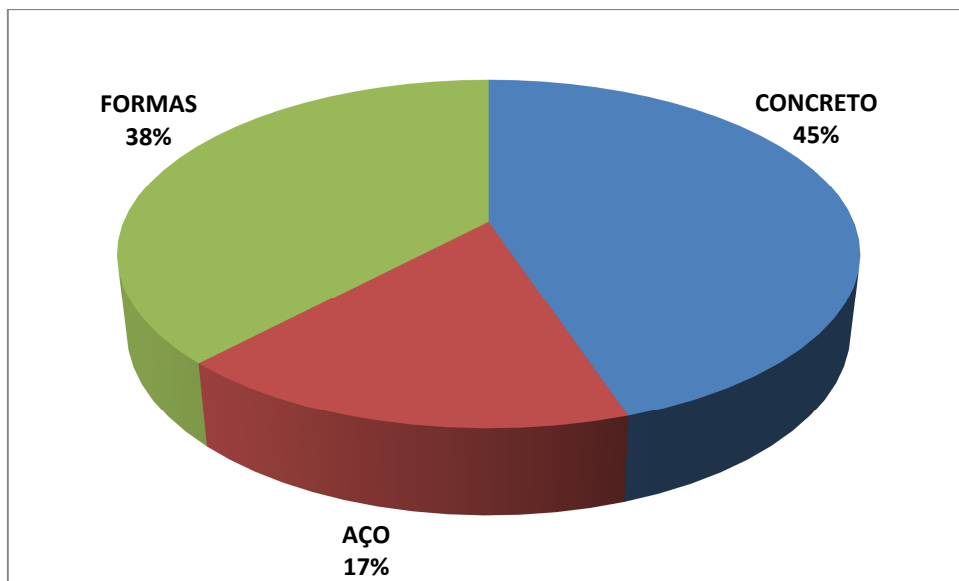


Figura 28 – Custo percentual total por elemento do Sistema 2



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 29 – Custo percentual total por material do Sistema 2



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

#### 4.5.3 Sistema 3 - Estrutura com lajes lisas nervuradas

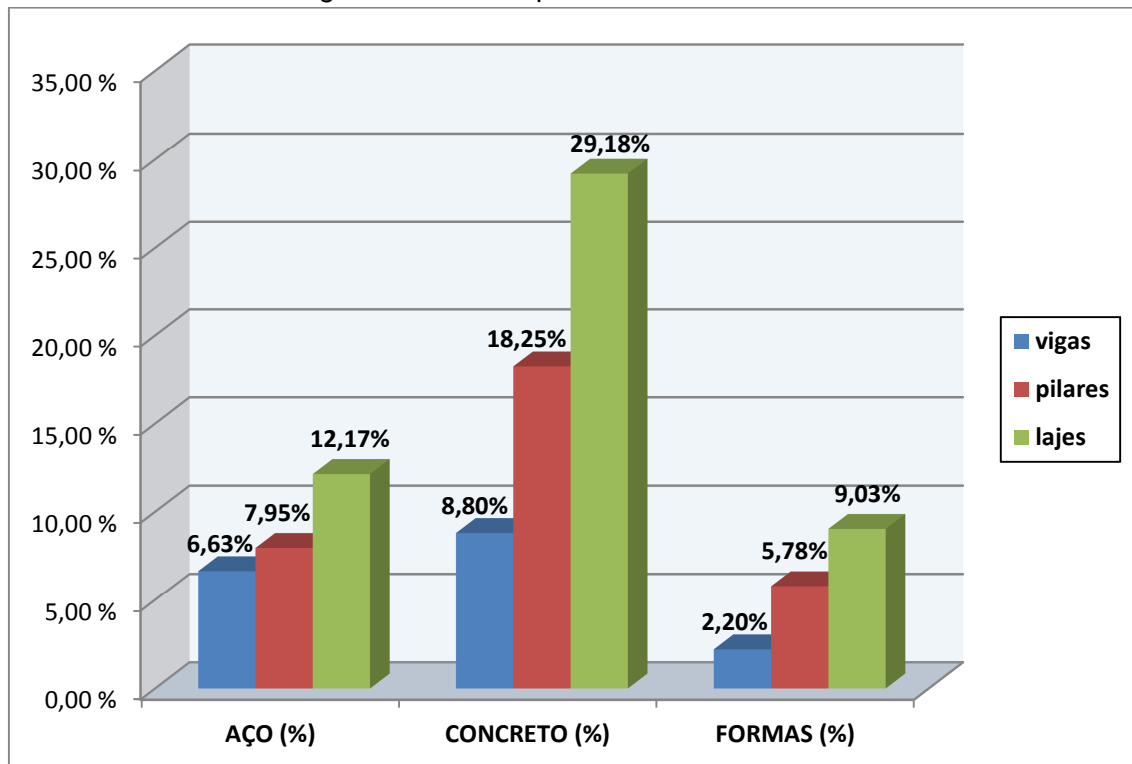
Demonstra-se na Tabela 13 o resumo dos custos do Sistema 3, bem como, o valor total da estrutura. Nas Figuras 30, 31 e 32 apresentam-se graficamente em percentuais os dados da tabela.

Tabela 13 – Resumo de custos do Sistema 3

	CONCRETO (R\$)	Aço (R\$)		FORMAS (R\$)
		CA-50	CA-60	
VIGAS	R\$ 78.552,45	R\$ 51.090,60	R\$ 8.165,20	R\$ 19.635,00
PILARES	R\$ 163.005,75	R\$ 62.690,70	R\$ 8.315,90	R\$ 51.645,23
LAJES	R\$ 260.641,80	R\$ 103.401,50	R\$ 5.301,90	R\$ 80.642,36
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 502.200,00</b>	<b>R\$ 217.182,80</b>	<b>R\$ 21.783,00</b>	<b>R\$ 151.922,59</b>
<b>TOTAL DA ESTRUTURA</b>				<b>R\$ 893.088,39</b>

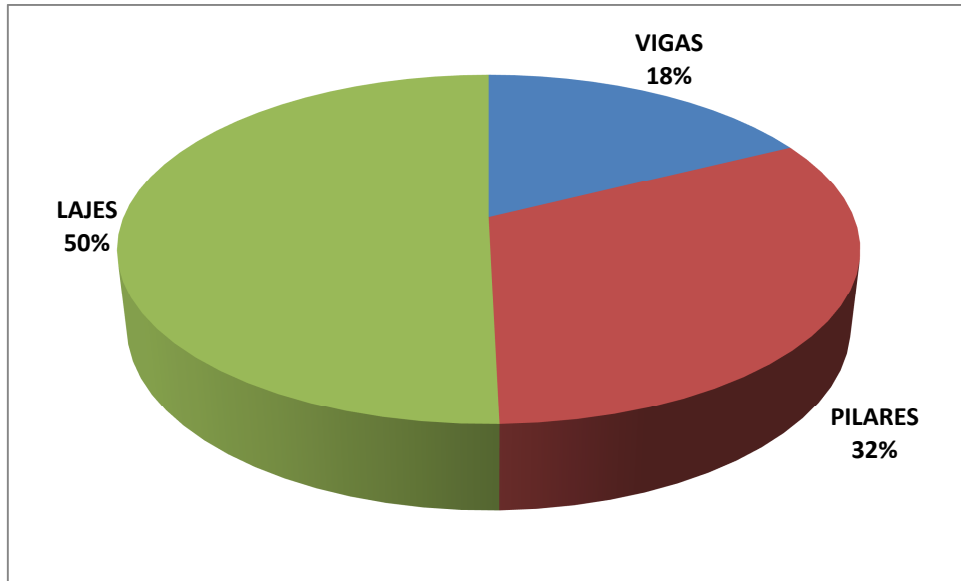
Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Figura 30 – Custo percentual do Sistema 3



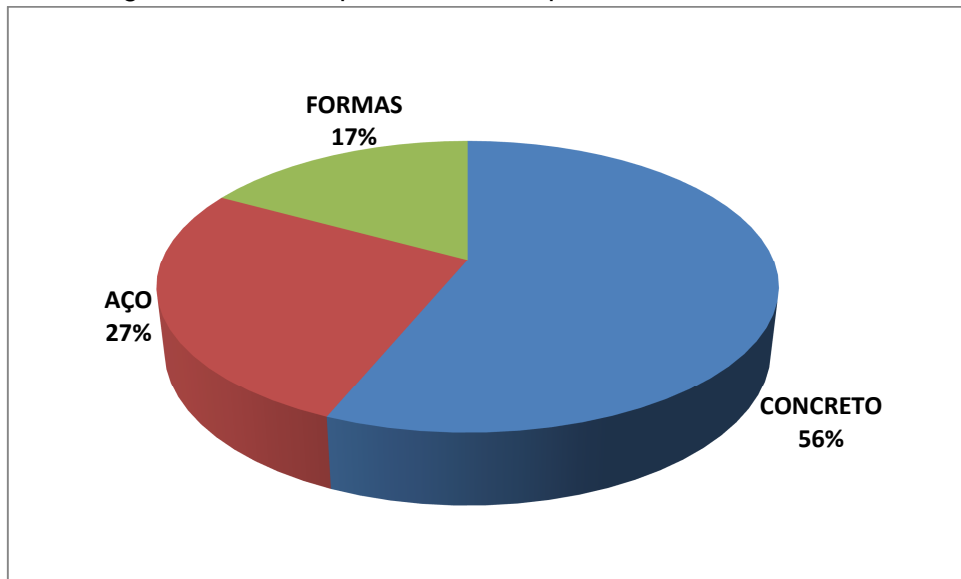
Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 31 – Custo percentual total por elemento do Sistema 3



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

Figura 32 – Custo percentual total por material do Sistema 3



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

#### 4.6 Comparativo total de custos

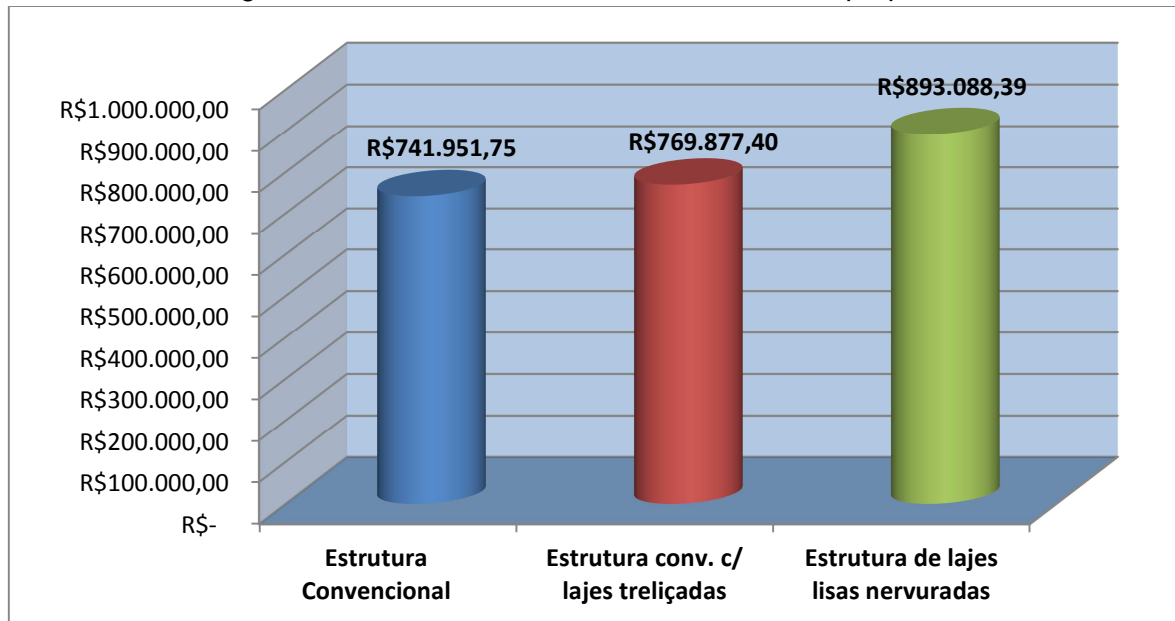
Na Tabela 14 e na Figura 33 apresentam-se os custos totais dos sistemas propostos.

Tabela 14 – Comparativo total de custos em Reais (R\$)

Sistemas Estruturais	Estrutura Convencional	Estrutura conv. c/ lajes treliçadas	Estrutura de lajes lisas nervuradas
Custo total	R\$ 741.951,75	R\$ 769.877,40	R\$ 893.088,39
Custo Diferencial	-R\$ 151.136,64	-R\$ 123.210,99	R\$ 0,00
Variação %	16,92%	13,80%	100,0%

Fonte: tabela elaborada pelo autor.

Figura 33 – Custo total dos sistemas estruturais propostos



Fonte: gráfico elaborado pelo autor.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Ao se analisar os custos de um sistema estrutural, não se deve apenas levar em consideração o consumo de materiais, mas também, todas as características relevantes ao processo construtivo, tais como: mão de obra, tempo de execução, recursos e materiais necessários.

Sabe-se que para uma avaliação mais completa dos custos totais de uma obra, deve-se fazer uma avaliação das peculiaridades de cada alternativa estrutural e das implicações que cada sistema acarreta nas instalações da edificação, nas alvenarias, nos revestimentos e nos tipos de forros.

Portanto, se cada alternativa estrutural tem suas características próprias, com indicações de uso, percebe-se que não são apenas os custos que determinam a escolha do sistema a ser adotado. Então, devem-se analisar cuidadosamente os fatores que possam interferir e inviabilizar a escolha do sistema estrutural.

Verificou-se que os custos das lajes, em comparação com outros elementos, como vigas e pilares, apresentaram os maiores índices em todos os sistemas estruturais propostos, como mostram as Figuras 25, 28 e 31. O Sistema de lajes lisas nervuradas apresenta um índice de 50% do custo total da estrutura. No Sistema convencional de lajes maciças e lajes pré-moldadas treliçadas, não houve variações significativas, representando percentuais de 37% e 41% do custo total da estrutura.

Observa-se também que os custos dos pilares não apresentaram grandes variações entre as alternativas estruturais estudadas. Os valores percentuais encontrados no Sistema 1, 2 e 3, foram 34%, 32% e 32%, respectivamente.

Na sequência, destaca-se que o custo das vigas do Sistema de lajes lisas nervuradas apresenta um índice de 18% do custo total da estrutura. No Sistema convencional de lajes maciças e treliçadas, não houve variações significativas, apresentando percentuais de 29% e 27% do custo total da estrutura.

Analisando-se os custos totais dos sistemas propostos, constatou-se que o Sistema de lajes lisas nervuradas apresentou o maior custo, devido à arquitetura da edificação que contém quatro apartamentos por pavimento, o que para este sistema não é indicado. Ele é indicado para edifícios sofisticados com um único apartamento por pavimento ou edifícios com pavimentos muito distintos, como hospitais e empresas, com ausência de vigas internas.

A estrutura convencional com lajes pré-moldadas treliçadas apresentou uma redução de 13,80% em relação ao Sistema de lajes lisas nervuradas. Apresenta como vantagem a rapidez de execução, diminuição do escoramento das lajes, diminuição do peso das lajes.

O Sistema convencional de lajes maciças apresentou o menor custo com uma redução de 16,92% em relação ao Sistema de lajes lisas nervuradas. O sistema foi favorecido pela arquitetura da edificação que mesmo apresentando uma grande quantidade de vigas, que por sua vez, formam muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura, possibilitando assim, vigas, lajes e pilares de menores dimensões.

Com a análise dos resultados conclui-se que apesar dos custos do Sistema estrutural convencional com lajes maciças apresentar o menor custo total para edificação, o Sistema estrutural de lajes nervuradas pré-fabricadas treliçadas seria o sistema mais adequado pela rapidez na execução da obra e por apresentar um menor consumo de materiais o que levaria a uma redução do peso total da edificação.

Por fim, salienta-se que a escolha da alternativa estrutural a ser adotada depende de muitas variáveis. Algumas fogem da competência do engenheiro de estruturas. Devido as suas particularidades e imposições, o projeto de arquitetura pode inviabilizar um determinado sistema estrutural. Este trabalho não tem a intenção de generalizar os resultados para todos os tipos de edificações, mas se bem extrapolados, podem servir como parâmetros para auxiliar na escolha de uma alternativa estrutural adequada para cada obra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. T. *Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado*. São Carlos, 1999. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO L. M. Viabilidade econômica de alternativas de estruturas de concreto armado para edifícios. São Carlos. *Cadernos de Engenharia e Estruturas*, n. 19, p. 1-20, 2002.

ARAUJO, José Milton. *Curso de Concreto Armado*. Rio Grande: Dunas, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL. A revolução nos custos. São Paulo. *ABECE informa*, n.15, 1998. São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: projeto de estrutura de concreto - procedimento*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 6120: cargas para o cálculo de estruturas de edificações*. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. *NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. *NBR 7480: aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação*. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. *NBR 8681: aços e segurança nas estruturas – procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *Revisão da NBR 12721: avaliação de custos unitários para incorporação de edifícios: procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. *NBR 14859-1: laje pré-fabricada – requisitos – parte 1: lajes unidirecionais*. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. *NBR 14859-2: laje pré-fabricada – requisitos – parte 2: lajes bidirecionais*. Rio de Janeiro, 2002.

ATEX BRASIL. *Encarte técnico*. 2012. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/>>. Acesso em: 04 maio 2012.

BARBIRATO, C. B. C. *Contribuições a análise de pavimento de edifício em laje nervurada*. São Carlos, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

BELGO. *Catálogo técnico: construção civil, indústria, agropecuária*. 2012. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/51383009/catalogo-tecnico-belgo>>. Acesso em: 03 maio 2012.

- BOCCHI JÚNIOR, C. F. *Lajes nervuradas de concreto armado*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- CICOLIN, Luiz Antonio Betin. *Estabilidade em edifícios de concreto armado com pavimentos em lajes planas*. 2007. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007
- COSTA, O. V. *Estudo de alternativas de projetos estruturais em concreto armado para uma mesma edificação*. 1997. Dissertação - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.
- CORRÊA, M. R. S. *Aperfeiçoamento de modelos usualmente empregados no projeto de edifícios*. 1991. Tese (Doutorado) - EESC – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- DIAS, R. H. *Sistemas estruturais para grandes vãos em pisos e a influência na concepção arquitetônica*. São Paulo. Disponível em: <[www.vitruvius.com.br/arquitextos/autor/autor.asp](http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/autor/autor.asp)>. Acesso em: 5 jan. 2012.
- DROPPA JÚNIOR, A. *Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada*. 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.
- FARIA, M. P. *Estruturas para edifícios em concreto armado: análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas*. 2010. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P. B. *As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios*. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.
- FUSCO, P. B. *Técnicas de armar as estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 1997.
- GIONGO, J. S. *Concreto armado: projeto estrutural de edifícios*. Apostila, São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007.
- GUIMARÃES, Luiz Algemiro Cubas. *Sistemas estruturais II-ISTI: dimensionamento de laje*. 2008. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAADrAAE/sistemas-estruturais-ii-ist-dimensionamento-laje>>. Acesso em: 10 maio 2012.
- HENNRICHS, C. A. *Estudo sobre modelagem de lajes planas*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- LAJES PILLAR. *Lajes pré-moldadas*. 2012. Disponível em: <<http://lajespillar.blogspot.com.br/2012/02/laje-de-eps-o-que-e.html>>. Acesso em: 10 maio 2012.



LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. *Construções de concreto*. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.

MELGES, J. L. P. *Punção em lajes: exemplos de cálculo e análise teórico-experimental*. 1995. Dissertação (Mestrado) – EESC – Universidade de São Paulo, 1995.

MUNIZ, C. E. Mais competitivas: lajes treliçadas. *Revista IBRACON*, v.1, n.1, p.19-21, jul./ago. 1991.

NAKAMURA, J. Lajes nervuradas com cubas plásticas. *Revista Equipe de Obra*, São Paulo, v. 4, n. 16, p. 12-14, mar./abr. 2008.

SILVA, M. A. F. *Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado*. 2005. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

SPOHR, V. H. *Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

PLANO CONCRETO. *Lajes treliçadas*. Disponível em: <<http://www.planoconcreto.com.br/site/produtos/lajes-trelicadas/>>. Acesso em: 10 maio 2012.

TCPO: Tabelas de composições de preços para orçamentos. 13.ed. São Paulo: Pini, 2012.

TECNOLOGIA E ANALISE. *Blog*. 2009. Disponível em: <<http://www.consultoriaeanalise.com/2009/07/laje-nervurada-com-cubetas-x-nbr-15200.html>>. Acesso em 4 maio de 2012.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (Cbic). Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/>>. Acesso em: 10 maio 2012.

## ANEXO A – Composições utilizadas

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UND	CONSUMO
<b>1</b>	<b>ARMADURAS</b>		
<b>1.1.1</b>	<b>Armadura CA-50 Ø 6,3mm a Ø 10,0mm</b>		
1.1.2	Aço CA-50 Ø 6,3mm a 10,0mm	Kg	0,367
1.1.3	Arame recozido nº 18 BWG	Kg	0,03
1.1.4	Armador	h	0,12
1.1.5	Ajudante de armador	h	0,12

<b>1.2.1</b>	<b>Armadura CA-50 Ø 12,5mm a Ø 25,0mm</b>		
1.2.2	Aço CA-50 Ø 12,5mm a 25,0mm	Kg	0,367
1.2.3	Arame recozido nº 18 BWG	Kg	0,04
1.2.4	Armador	h	0,12
1.2.5	Ajudante de armador	h	0,12

<b>1.3.1</b>	<b>Armadura CA-60 Ø 4,2mm a Ø 5,0mm</b>		
1.3.2	Aço CA-50 Ø 4,2mm a 5,0mm	Kg	0,367
1.3.3	Arame recozido nº 18 BWG	Kg	0,04
1.3.4	Armador	h	0,12
1.3.5	Ajudante de armador	h	0,12

<b>2</b>	<b>FORMAS</b>		
<b>2.1.1</b>	<b>Formas para pilares, em chapa compensada plastificada e=12mm - 12x</b>		
2.1.2	Chapa compensada plastificada e=12mm - 12x	m <sup>2</sup>	0,112
2.1.3	Pontaletes 3" x 3" (altura: 75mm / largura: 75mm)	m	0,515
2.1.4	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75mm / espessura: 25mm)	m	0,681
2.1.5	Desmoldante de formas para concreto	l	0,02
2.1.6	Prego 17x21 c/cabeça (comp.: 48,3mm / diâm. da cabeça: 3mm)	Kg	0,017
2.1.7	Prego 17x27 c/cabeça (comp.: 62,1mm / diâm. da cabeça: 3mm)	Kg	0,20
2.1.8	Arame galvanizado nº 16 BWG	Kg	0,18
2.1.9	Carpinteiro	h	0,66
2.1.10	Ajudante de carpinteiro	h	0,165

<b>2.2.1</b>	<b>Formas para vigas, em chapa compensada plastificada e=12mm - 12x</b>		
2.2.2	Chapa compensada plastificada e=12mm - 12x	m <sup>2</sup>	0,0996
2.2.3	Tábua 1" x 6" (altura: 25mm / largura: 150mm)	m	0,166
2.2.4	Sarrafo 1" x 3" (altura: 75mm / espessura: 25mm)	m	0,083
2.2.5	Desmoldante de formas para concreto	l	0,02

2.2.6	Prego 17x21 c/cabeça (comp.: 48,3mm / diâm. da cabeça: 3mm)	Kg	0,0166
2.2.7	Prego 17x27 c/cabeça (comp.: 62,1mm / diâm. da cabeça: 3mm)	Kg	0,10
2.2.8	Carpinteiro	h	0,892
2.2.9	Ajudante de carpinteiro	h	0,223

ITEM	DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UND	CONSUMO
<b>2.3.1</b>	<b>Formas para lajes, em chapa compensada plastificada e=12mm - 12x</b>		
2.3.2	Chapa compensada plastificada e=12mm - 12x	m <sup>2</sup>	0,104
2.3.3	Tábua 1" x 8" (altura: 25mm / largura: 200mm)	m	0,108
2.3.4	Pontaletes 3" x 3" (altura: 75mm / largura: 75mm)	m	0,216
2.3.5	Desmoldante de formas para concreto	l	0,02
2.3.6	Prego 17x21 c/cabeça (comp.: 48,3mm / diâm. da cabeça: 3mm)	Kg	0,05
2.3.8	Carpinteiro	h	0,524
2.3.9	Ajudante de carpinteiro	h	0,131

<b>2.4.1</b>	<b>Formas para lajes nervuradas - 10x</b>		
2.4.2	Locação de escoramento metálico e ench. cubetas de poliprop.	m <sup>2</sup>	1,00
2.4.3	Chapa compensada plastificada e=18mm	m <sup>2</sup>	0,18
2.4.4	Prego 18 x 27	Kg	0,01
2.4.5	Desmoldante de formas para concreto	l	0,08
2.4.6	Carpinteiro	h	0,80
2.4.7	Ajudante de carpinteiro	h	0,80

<b>3</b>	<b>Concreto</b>		
<b>3.1.1</b>	<b>Concreto dosado em Central</b>		
3.1.2	Concreto dosado em Central Fck 25 Mpa	m <sup>3</sup>	1,05
<b>3.2.1</b>	<b>Transporte, lançamento, adensamento e acabamento do concreto em est.</b>		
3.2.2	Vibrador de imersão	h	0,2
3.2.3	Pedreiro	h	1,62
3.2.4	Servente	h	1,62

<b>4</b>	<b>Laje Pré-Fabricada Treliçada</b>		
<b>4.1.1</b>	<b>Laje Pré-Fab. Trel. P/Piso/Cob.Intereixo (49cm / Capa: 4cm / altura (H): 14cm)</b>		
4.1.2	Vigota pré-fabricada treliçada TR12645	m <sup>2</sup>	1,92
4.1.3	Enchimento de EPS H10/40/120	m <sup>3</sup>	0,08
4.1.4	Tábua de pinho de pinho 1 x 12"	m	0,33

4.1.5	Pontalete de pinho 3" x 3"	m	1,01
4.1.6	Sarrafo de pinho 1" x 4"	m	0,74
4.1.7	Prego 19 x 33	Kg	0,02
4.1.8	Armador	h	0,10
4.1.9	Carpinteiro	h	0,43

4.2.1	<b>Laje Pré-Fab. Trel. P/Piso/Cob.Intereixo (49cm / Capa: 4cm / altura (H): 20cm)</b>		
4.2.2	Vigota pré-fabricada treliçada TR16645	m <sup>2</sup>	1,92
4.2.3	Enchimento de EPS H16/40/120	m <sup>3</sup>	0,128
4.2.4	Tábua de pinho de pinho 1 x 12"	m	0,33
4.2.5	Pontalete de pinho 3" x 3"	m	1,01
4.2.6	Sarrafo de pinho 1" x 4"	m	0,74
4.2.7	Prego 19 x 33	Kg	0,02
4.2.8	Armador	h	0,10
4.2.9	Carpinteiro	h	0,43

4.3.1	<b>Laje Pré-Fab. Trel. P/Piso/Cob.Intereixo (49cm / Capa: 5cm / altura (H): 25cm)</b>		
4.3.2	Vigota pré-fabricada treliçada TR20745	m <sup>2</sup>	1,92
4.3.3	Enchimento de EPS H20/40/120	m <sup>3</sup>	0,16
4.3.4	Tábua de pinho de pinho 1 x 12"	m	0,33
4.3.5	Pontalete de pinho 3" x 3"	m	1,01
4.3.6	Sarrafo de pinho 1" x 4"	m	0,74
4.3.7	Prego 19 x 33	Kg	0,02
4.3.8	Armador	h	0,10
4.3.9	Carpinteiro	h	0,43

**ANEXO B – Valores e insumos utilizados**

INSUMOS	UND	VALOR UND.	FONTE
Aço CA-60 de Ø 4.2 a 5.0 mm	Kg	R\$ 3,02	Ferros Castro - Out-12
Aço CA-50A de Ø 6.3 a 8.0 mm	Kg	R\$ 3,38	Ferros Castro - Out-12
Aço CA-50A de Ø 10.0 mm	Kg	R\$ 3,05	Ferros Castro - Out-12
Aço CA-50A de Ø 12.5 a 16.0 mm	Kg	R\$ 2,99	Ferros Castro - Out-12
Aço CA-50A de Ø 20.0 mm	Kg	R\$ 3,09	Ferros Castro - Out-12
Aço CA-50A de Ø 25.0 mm	Kg	R\$ 2,99	Ferros Castro - Out-12
Arame recozido nº 18	Kg	R\$ 4,80	Ferros Castro - Out-12
Prego 17x27	Kg	R\$ 5,15	Perfil Ferros- Out-12
Prego 19x39	Kg	R\$ 4,80	Perfil Ferros- Out-12
Chapa de madeira comp. plast. de 12 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 52,60	Queiroz Mat.- Out-12
Chapa de madeira comp. plast. de 18 mm	m <sup>2</sup>	R\$ 60,21	Queiroz Mat.- Out-12
Desmoldante de formas para concreto	l	R\$ 5,91	Queiroz Mat.- Out-12
Locação de escoramento metálico e enchimento de cubetas de polipropileno	m <sup>2</sup>	R\$ 18,90	Atex- Out-12
Pré-moldados TR12645 + EPS H10/40/120	m <sup>2</sup>	R\$ 40,00	ConstruRohr - Out-12
Pré-moldados TR16645 + EPS H16/40/120	m <sup>2</sup>	R\$ 50,00	ConstruRohr - Out-12
Pré-moldados TR20745 + EPS H20/40/120	m <sup>2</sup>	R\$ 80,00	ConstruRohr - Out-12
Concreto dosado em central Fck 25 Mpa	m <sup>3</sup>	R\$ 396,00	Compasul- Out-12
Pontaletes de pinho 3 x 3" (escoramento)	m	R\$ 4,20	Madecentro- Out-12
Sarrafo de pinho de 1x4" (engravatamento)	m	R\$ 3,80	Madecentro- Out-12
Tábua de pinho 1 x 12" (reforço de laje)	m	R\$ 6,30	Madecentro- Out-12