

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE COMPARATIVA: SISTEMAS
ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E ESTRUTURAS
DE LAJES NERVURADAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Valdi Henrique Spohr

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**ANÁLISE COMPARATIVA: SISTEMAS ESTRUTURAIS
CONVENCIONAIS E ESTRUTURAS DE LAJES
NERVURADAS**

por

Valdi Henrique Spohr

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rizzatti

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ANÁLISE COMPARATIVA: SISTEMAS ESTRUTURAIS
CONVENCIONAIS E ESTRUTURAS DE LAJES NERVURADAS**

elaborada por
Valdi Henrique Spohr

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dr. Eng° Eduardo Rizzatti
(Presidente/Orientador)

Dr. Eng° Emil de Souza Sánchez Filho
(UFF)

Dr. Eng° Gihad Mohamad
(UNESC)

Santa Maria, 25 de Abril de 2008.

Dedico este trabalho a
Deus
A minha Família em especial aos meus Pais
e a Renata

AGRADECIMENTOS

Ao professor Eduardo Rizzatti, pela oportunidade concedida, orientação e pela amizade.

Aos meus pais pelo apoio incondicional em todas as horas, pelos ensinamentos e pela formação concedida.

A minha noiva Renata que sempre esteve ao meu lado, sendo compreensiva e incentivadora em todos os momentos.

Aos meus amigos em especial aos colegas Magnus e Fabiano cúmplices das dificuldades e alegrias dessa jornada.

Aos colegas da Reticulex Sistemas Estruturais na pessoa do seu diretor Eng° Oscar Orlandini e em especial ao Amigo Eng° Luis Carlos Preuss pela colaboração e contribuições valiosas para o desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

ANÁLISE COMPARATIVA: SISTEMAS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E ESTRUTURAS DE LAJES NERVURADAS

AUTOR: VALDI HENRIQUE SPOHR

ORIENTADOR: EDUARDO RIZZATTI

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 25 de Abril de 2008.

Este estudo tem como objetivo analisar, comparativamente, os custos entre os sistemas estruturais convencionais e os sistemas estruturais de lajes nervuradas em concreto armado. Parte do pressuposto que devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil os profissionais precisam optar por um determinado tipo. Só que muitas vezes a escolha adotada não é a mais adequada ao empreendimento. Isso porque, cada obra tem características arquitetônicas particulares, dificultando a utilização de um modelo padrão.

O trabalho inicialmente traz conceitos básicos sobre o tema e uma revisão bibliografia abordando os critérios de projetos, as características e as particularidades dos sistemas adotados. Em seguida, faz-se o lançamento e análise da estrutura para os sistemas estruturais escolhidos, obtendo-se os quantitativos de materiais, os quais vêm a formar os índices definidos para comparação. Foram comparados os custos totais da obra obtidos por meio de composições de preços chegando-se a um valor global para cada tipologia adotada.

Para isso, adota-se um edifício de escritórios como objeto de análise desse trabalho. E por último faz uma análise comparativa com base nos custos unitários de cada alternativa levando em consideração os materiais, mão de obra e equipamentos necessários.

Palavras-chaves: estruturas de concreto armado, sistemas estruturais, lajes nervuradas e custos.

ABSTRACT

Master Thesis
Civil Engineering Graduate Program
Universidade Federal de Santa Maria

COMPARATIVE ANALYSIS: CONVENTIONAL STRUCTURAL SYSTEMS AND RIB SLABS STRUCTURES

AUTHOR: VALDI HENRIQUE SPOHR

ADVISER: EDUARDO RIZZATTI

Date and local of examination: Santa Maria, 25 de April de 2008.

This study has as objective to analyze, comparatively, the costs between the conventional structural systems and the rib slabs structural systems in reinforced concrete. Part of the estimated one that had to the great number of structural systems found in the market of the civil construction the professionals they need to opt to one determined type. But many times the adopted choice is not adjusted to the enterprise because each workmanship has characteristics particular architectural, making it difficult the use of a model standard.

The work initially brings basic concepts on the subject and a revision bibliographic approaching the criterion of projects, the characteristics and the particularities of the adopted systems. After that, one becomes the launching and analysis of the structure for the chosen structural systems, getting the quantitative ones of materials, which they see to form the indices defined for comparison. The total costs of the workmanship gotten by means of compositions of prices had been compared arriving itself it a global value for each adopted kind.

For that, a building of offices is adopted as object of analysis of this work. And finally makes a comparative analysis on the basis of the unitary costs of each alternative leading in consideration the materials, necessary hand of workmanship and equipment.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de tensão-deformação do concreto na compressão simples...	20
Figura 2 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).....	23
Figura 3 – Obtenção dos coeficientes de arrasto.....	25
Figura 4 –Esquema estrutural indeformado e deformado	28
Figura 5 – Representação esquemática do sistema construtivo convencional em concreto armado	30
Figura 6 – Múltiplos pórticos garantem boa rigidez	32
Figura 7 – Laje com armação treliçada (Catalogo Técnico Belgo, 2006).....	33
Figura 8 – Armação treliçada (Catalogo Técnico Belgo, 2006).....	34
Figura 9 – Laje cogumelo (A) e laje lisa (B) apoiadas diretamente sobre pilares.....	35
Figura 10 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares (visualização inferior)	36
Figura 11 –Caminhamento das cargas de lajes apoiadas diretamente sobre pilares	37
Figura 12 – Laje nervurada recebendo acabamento superficial.....	38
Figura 13 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares (visualização superior)	38
Figura 14 – pavimentos de lajes nervuradas com utilização de vigas de borda.....	39
Figura 15 – Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos	41
Figura 16 – Ruína por punção em lajes lisas nervuradas	42
Figura 17 – Perímetro crítico de pilares internos (NBR-6118/2004).....	43
Figura 18 – Armadura contra colapso progressivo.....	45
Figura 19 – Edifício Exemplo.....	48
Figura 20 – Planta Baixa do Pavimento Tipo	49
Figura 21 – Tela do CYPECAD - Diagrama de isovalores de deslocamentos no Pavimento Tipo	52
Figura 22 – Tela do Eberick - grelha de lajes com deslocamentos no Pavimento Tipo	54
Figura 23 – Vista 3D da estrutura convencional.....	57
Figura 24 – Planta de forma do pavimento tipo no sistema convencional de lajes maciças	58

Figura 25 – Planta de locação e cargas das fundações no sistema convencional de lajes maciças.....	59
Figura 26 – Planta de forma do pavimento tipo no sistema convencional de com lajes treliçadas.....	62
Figura 27 – Planta de forma das fundações no sistema convencional de lajes treliçadas.....	63
Figura 28 – Planta de forma do pavimento tipo no sistema de lajes lisa nervuradas	66
Figura 29 – Planta de forma das fundações no sistema convencional de lajes treliçadas.....	67
Figura 30 – Comparativo do volume de concreto entre os sistemas estruturais adotados	70
Figura 31 – Comparativo peso do aço entre os sistemas estruturais adotados	70
Figura 32 – Comparativo de áreas de forma entre os sistemas estruturais adotados	71
Figura 33 – Custo percentual do sistema convencional	72
Figura 34 – Custo percentual total por elemento do sistema convencional	72
Figura 35 – Custo percentual total por material do sistema convencional	73
Figura 36 – Custo percentual do Sistema convencional com lajes treliçadas	74
Figura 37 – Custo percentual total por elemento do Sistema convencional com lajes treliçadas.....	75
Figura 38 – Custo percentual total por material do Sistema convencional com lajes treliçadas.....	75
Figura 39 – Custo percentual do sistema de lajes lisas nervuradas.....	76
Figura 40 – Custo percentual total por elemento do sistema de lajes lisas nervuradas	77
Figura 41 – Custo percentual total por material do sistema de lajes lisas nervuradas	77
Figura 42 – Custo total dos sistemas estruturais.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de materiais.....	44
Tabela 2 – Consumo de materiais.....	60
Tabela 3 – Índices.....	60
Tabela 4 – Deslocamentos e instabilidade.....	60
Tabela 5 – Consumo de materiais.....	64
Tabela 6 – Blocos de enchimento.....	64
Tabela 7 – Índices.....	64
Tabela 8 – Deslocamentos e instabilidade.....	64
Tabela 9 – Consumo de materiais.....	68
Tabela 10 – Elemento de enchimento.....	68
Tabela 11 – Índices.....	68
Tabela 12 – Deslocamentos e instabilidade.....	68
Tabela 13 – Comparativo de materiais e índices.....	69
Tabela 14 – Resumo de custos.....	71
Tabela 15 – Resumo de custos.....	74
Tabela 16 – Resumo de custos.....	76
Tabela 17 – Cálculo do custo unitário Sistema 1.....	78
Tabela 18 – Cálculo do custo unitário Sistema 2.....	79
Tabela 19 – Cálculo do custo unitário Sistema 3.....	80
Tabela 20 – Comparativo de custos totais em Reais (R\$).....	81
Tabela 21 – Comparativo de custos encontrados por Albuquerque (1997).....	82

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
1. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	13
1.1. Introdução	13
1.2. Justificativa	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivos específicos:.....	16
1.4. Estrutura do trabalho	17
2. CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Critérios do projeto estrutural	18
2.2. Materiais utilizados nas estruturas de concreto armado	19
2.2.1. Aços utilizados.....	19
2.2.2. Resistência do concreto.....	19
2.2.3. Módulo de elasticidade do concreto.....	20
2.2.4. Cobrimento da armadura.....	21
2.3. Ações verticais na estrutura	21
2.4. Ações Horizontais na subestrutura	23
2.5. Verificação da Indeslocabilidade da estrutura	25
2.5.1. Parâmetro de instabilidade Alfa (α).....	26
2.5.2. Coeficiente Gama-Z (γ_z).....	27
2.6. Deslocamentos horizontais nas estruturas	28
2.7. Introdução aos sistemas estruturais adotados	29
2.7.1. Sistema estrutural convencional com lajes maciças.....	30
2.7.1.1. Prescrições da NBR-6118.....	31
2.7.1.2. Características do sistema.....	31
2.7.2. Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas.....	33
2.7.2.1. Características do sistema.....	34

2.7.3.	Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas	35
2.7.3.1.	Prescrições da NBR-6118	39
2.7.3.2.	Análise estrutural.....	40
2.7.3.3.	Punção	41
2.7.3.4.	Colapso progressivo.....	44
3.	METODOLOGIA DO TRABALHO	46
3.1.	Considerações gerais	46
3.2.	Tipologia e concepção dos sistemas construtivos adotados	46
3.3.	Escolha do edifício exemplo	47
3.4.	Características do solo	50
3.5.	Ferramentas de cálculo e análise estrutural	50
3.5.1.	CYPECAD 3D.....	51
3.5.2.	AltoQI/Eberick Gold	52
3.5.2.1.	Principais características do programa:.....	53
3.5.2.2.	Diafragma rígido	53
3.5.2.3.	Analogia de grelha.....	54
3.6.	Parâmetros de comparação adotados.....	55
3.6.1.1.	Índice de concreto (ic)	55
3.6.1.2.	Índice de aço (ia).....	55
3.6.1.3.	Índice de forma (if).....	55
3.7.	Critérios para o cálculo dos custos.....	55
4.	CONCEPÇÕES E RESULTADOS	57
4.1.	Sistema estrutural convencional com lajes maciças	57
4.1.1.	Caracterização adotada para o projeto	57
4.1.2.	Resultados	60
4.2.	Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas.....	61
4.2.1.	Caracterização adotada para o projeto	61
4.2.2.	Resultados	64
4.3.	Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas.....	xi
4.3.1.	Caracterização adotada para o projeto	65
4.3.2.	Resultados	68
5.	DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS E CUSTOS	69
5.1.	Resultados	69

5.2. Custos	71
5.2.1. Sistema 1 – Estrutura convencional com lajes maciças	71
5.2.2. Sistema 2 – Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas	73
5.2.3. Sistema 3 – Estrutura com lajes Lisas nervuradas.....	75
5.3. Custos unitários	78
5.4. Comparativo de custos totais	81
5.5. Considerações complementares	82
5.5.1. Trabalhos publicados	82
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
ANEXOS	91

1

■ APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

1.1. Introdução

A construção civil brasileira vive um momento histórico, trata-se de um novo ciclo de crescimento do mercado imobiliário. É visível o aumento da oferta de emprego para o setor e a falta de mão de obra qualificada.

Segundo o Sinduscon-RS, o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) prevê aplicação de R\$ 25 bilhões no setor habitacional em 2008 com o financiamento de aproximadamente 250 mil moradias. Porém, muito longe ainda da solução do déficit habitacional que atinge 7,964 milhões de unidades.

Muito se tem falado em melhora da segurança jurídica, estabilidade econômica, recuperação de renda do trabalhador e ainda sobre o aumento da oferta de empregos. Tais fatores são determinantes para a continuidade da expansão do crédito imobiliário no Brasil.

Com o crescimento do mercado imobiliário a busca por soluções mais econômicas que as convencionais tornou-se uma preocupação para os construtores. 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 construções em concreto armado necessitavam de peças com volumes superiores comparados aos de hoje. Devido à evolução da ciência dos materiais, houve um incremento das resistências do aço e do concreto ao longo dos anos, o que possibilitou a diminuição das seções das peças estruturais, e a possibilidade de aplicação a vãos cada vez maiores.

De acordo com Costa (1997 *apud* Albuquerque, 1999) 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) acrescenta que uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar uma diminuição de 2% no custo total de uma edificação. Em termos práticos, 2% do custo total correspondem à execução de toda etapa de pintura ou a todos os serviços de movimento de terra, soleiras, rodapés, peitoris e coberta juntos.

À medida que os vão cresceram e as alvenarias foram sendo apoiadas diretamente sobre as lajes, o emprego de lajes maciças leva à espessuras antieconômicas. Por conseguinte, surgiram novos sistemas estruturais, tais como lajes nervuradas, pré-moldadas, protendidas, entre outras.

Segundo Dias (2004) esse sistema tem sua origem em 1854, quando William Boutland Wilkinson patenteou um sistema em concreto armado de pequenas vigas regularmente espaçadas, onde os vazios entre as nervuras foram obtidos pela colocação de moldes de gesso, sendo uma fina capa de concreto executada como plano de piso.

Atualmente, obtêm-se concretos e aços cada vez mais resistentes, em decorrência da crescente evolução dos materiais da construção civil. Ao se darem conta desse processo, as empresas da construção civil estão primando pela eficiência e produtividade, a fim de manterem-se permanentes e competitivas no mercado com visualização de um produto de maior qualidade com custo reduzido.

Devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados no mercado da construção civil os profissionais precisam optar por um determinado tipo. Só que muitas vezes a escolha adotada não se adapta as condições específicas do empreendimento. Isso porque, cada obra possui características arquitetônicas particulares, dificultando a utilização de um modelo padrão.

As ferramentas de cálculo (*softwares*) auxiliam no processo de análise e aceleram a produtividade no detalhamento dos projetos para os diversos sistemas estruturais existentes. No entanto, cabe ao engenheiro de estruturas juntamente com o arquiteto fazer a opção mais adequada para um determinado tipo de obra.

1.2. Justificativa

Os avanços tecnológicos em diversas áreas trazem progressos para a sociedade, muitas vezes representadas na forma de otimização de processos ou redução de custos. Na construção civil não poderia ser diferente, onde muitos processos construtivos estão em constante evolução.

Diante dessa constatação, citam-se como exemplo os sistemas construtivos de estruturas de concreto armado, onde notadamente verificamos estruturas cada vez mais “econômicas”. Sabe-se que os novos sistemas estruturais contribuem efetivamente para o crescimento da construção civil. Vários trabalhos têm sido realizados considerando isoladamente cada um dos sistemas estruturais existentes.

No entanto, percebe-se a falta de dados consistentes que forneçam parâmetros para os profissionais da construção civil. Situação que dificulta, a tomada de decisão pelo sistema estrutural a ser empregado numa determinada obra.

A partir disso, desenvolve-se neste trabalho uma análise comparativa entre alguns sistemas estruturais usuais. Tomando-se como base um edifício modelo, analisou-se quantitativamente e economicamente alguns modelos estruturais. Para tanto, foram concebidas três opções para projeto estrutural, entre as quais:

- 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 – Estrutura com lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares;

1.3. Objetivos

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa de custos entre os sistemas estruturais convencionais e sistemas estruturais de lajes nervuradas em concreto armado. Pretende-se com isso divulgar os resultados encontrados para auxiliar nas decisões referentes à utilização ou não de um modelo estrutural particular.

1.3.1. Objetivos específicos:

Realizar para os sistemas estruturais adotados uma breve revisão bibliográfica, descrevendo-se as principais características, bem como apontar as suas vantagens e desvantagens.

Analisar quantitativamente os materiais empregados, verificando-se volumes de formas, concreto e aço para os diferentes modelos estruturais.

Desenvolver uma análise qualitativa dos processos construtivos, comparando-se o tempo de execução, a qualidade, etc.

Estabelecer relações entre os custos unitários de alguns insumos e serviços, para os sistemas estruturais adotados e analisá-los comparativamente;

Apresentar resultados que possibilitem uma estimativa de custos aos profissionais da construção civil, para servir de referência na tomada de decisão por um modelo estrutural a ser adotado.

1.4. Estrutura do trabalho

No primeiro capítulo constam a introdução, a justificativa e os objetivos.

No capítulo 2 apresentam-se conceitos básicos sobre o assunto e também a revisão bibliográfica do trabalho. São mostrados ainda os sistemas estruturais em concreto armado adotados para esse estudo, com suas características, vantagens e desvantagens.

Na seqüência apresenta-se no capítulo 3 o edifício exemplo escolhido para a pesquisa e a metodologia adotada. São descritos os parâmetros de comparação e os critérios utilizados para o cálculo dos custos.

No capítulo 4 descrevem-se as concepções e critérios adotados, bem como os quantitativos resultantes para os respectivos sistemas estruturais.

No capítulo 5 apresentam-se a discussão e a análise dos resultados e custos.

As conclusões deste trabalho são apresentadas no capítulo 6.

2 ■ CONCEITOS BÁSICOS E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Critérios do projeto estrutural

A interação entre os projetos arquitetônico, estrutural, de instalações e outros, tem importância fundamental para que a construção atenda os requisitos básicos de funcionalidade, durabilidade e estética.

O projeto deve ter uma concepção estrutural clara, oferecendo o perfeito entendimento de como a estrutura funciona, para que se possam validar os resultados obtidos, qualquer que seja o processo de cálculo utilizado.

A concepção estrutural deverá considerar os seguintes itens:

- a) limitações impostas pelo projeto arquitetônico;
- b) adequação do sistema estrutural escolhido para cada pavimento;
- c) análise da interface entre a estrutura e os projetos de instalações hidráulicas, elétricas, ar condicionado, etc;
- d) adequação da interface da vedação interna e externa com a estrutura;
- e) construtibilidade (facilidade de execução).

O lançamento da estrutura de um edifício de vários andares começa pelo pavimento-tipo, fixando-se a posição das vigas e dos pilares neste pavimento, que normalmente é repetido várias vezes no projeto de um edifício de diversos andares.

Após fixar a estrutura do pavimento tipo, verifica-se se a posição dos pilares pode ser mantida nos outros pavimentos. De preferência as estruturas dos demais pavimentos devem obedecer a uma mesma projeção das lajes e vigas; porém, elas podem ser diferentes desde que conservem a posição dos pilares.

Caso a posição dos pilares não possa ser mantida para os demais pavimentos, deve-se estudar novas posições que possam ser adequadas às plantas de alvenaria (projeto básico de arquitetura), de modo, que não haja pilares não coincidentes com as paredes e que esses fiquem aparecendo nos compartimentos, ou atravessando portas ou janelas. Para o andar térreo é sempre preciso buscar uma solução estética, enquanto que para a garagem é necessário verificar se os pilares projetados não prejudicam o trânsito e o estacionamento dos automóveis.

2.2. Materiais utilizados nas estruturas de concreto armado

Os materiais componentes da estrutura para os diferentes sistemas estruturais em concreto armado que foram utilizados seguem a disponibilidade comercial encontrada.

2.2.1. Aços utilizados

Aço CA 60 de diâmetro 5,0 mm para o emprego como armadura de lajes e estribos de vigas e pilares.

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

A última versão da NBR 7480/96 a separação em classes foi eliminada e todo o material do tipo barra, caso do CA 25 e CA 50, deve ser fabricado obrigatoriamente por laminação a quente, e todo fio, caso do CA 60, deve ser fabricado por trefilação ou processo equivalente (estiramento ou laminação a frio).

2.2.2. Resistência do concreto

A escolha da resistência à compressão do concreto depende da classe de agressividade ambiental. Em se tratando de um edifício comercial com ambiente interno seco, em zona urbana e estrutura revestida de argamassa e pintura, é possível considerar a classe de agressividade I para o edifício em estudo.

No caso das vigas de fundação, deve-se considerar a classe II, pois se trata de estrutura em contato com solo úmido não agressivo.

Para esses casos tem-se pela NBR-6118:2003, a classe de resistência mínima exigida para o concreto é C25 (concreto com $F_{ck} = 25$ MPa aos 28 dias de idade).

2.2.3. Módulo de elasticidade do concreto

O concreto apresenta um comportamento não-linear quando submetido a tensões de certa magnitude. Esse comportamento é decorrente da microfissuração progressiva que ocorre na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento.

O diagrama tensão-deformação específica, obtido em um ensaio de compressão simples é mostrado na Figura 3, onde se observa que não há proporcionalidade entre tensão e deformação específica. O trecho descendente do diagrama é obtido em um ensaio com velocidade de deformação controlada.

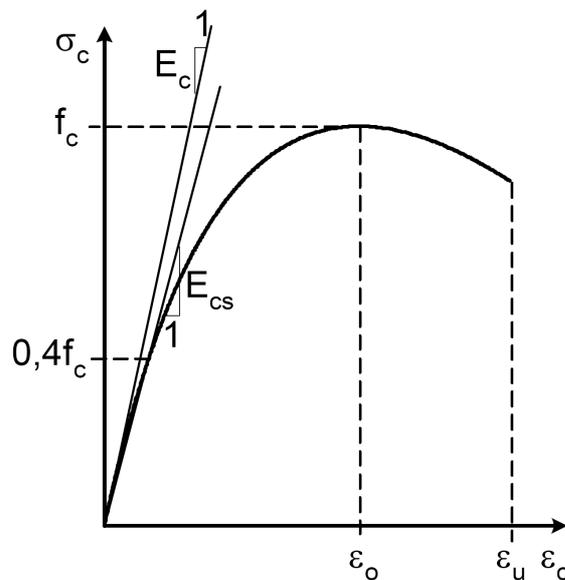


Figura 1 – Diagrama de tensão-deformação específica do concreto na compressão simples.

O módulo de deformação longitudinal tangente E_c é representado pela inclinação da reta tangente à curva na origem do diagrama (Figura 3).

De maneira análoga, o módulo secante E_{CS} representa a inclinação da reta que passa pela origem e corta o diagrama no ponto correspondente a uma tensão da ordem de $0,4f_c$, sendo f_c a resistência à compressão simples.

Segundo Araújo (2003) a expressão para o módulo tangente, proposta na NBR 6118:2003 é derivada do ACI. Na verdade é a mesma expressão do ACI, onde o coeficiente 5565 é substituído por 5600. Assim, a fórmula apresentada na NBR 6118:2003 é dada por:

$$E_C = 5600\sqrt{F_{ck}}, \text{ em MPa.} \quad (\text{Equação 1})$$

O módulo secante é dado por:

$$E_{CS} = 0,85.E_C \quad (\text{Equação 2})$$

2.2.4. Cobrimento da armadura

Os cobrimentos de concreto adotados para os elementos estruturais são os seguintes:

Classe I: 2,0 cm para lajes e 2,5 para vigas e pilares.

Classe II: 2,5 cm para lajes e 3,0 para vigas e pilares.

2.3. Ações verticais na estrutura

Araújo (2003) relata que as ações são as causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas, sendo que em função de sua variabilidade no tempo essas podem ser classificadas como ações permanentes, variáveis e excepcionais.

a) Ações permanentes

As ações permanentes são as que ocorrem com valores praticamente constantes durante toda a vida da construção. As ações permanentes podem ser subdivididas em diretas e indiretas.

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

As ações permanentes indiretas são representadas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, imperfeições geométricas, recalques de apoio e protensão no caso do concreto protendido.

A NBR 6120:1980 – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações, utilizaram-se como peso específico dos materiais:

Alvenaria de tijolos furados	13 kN/m ³
Concreto armado	25 kN/m ³
Argamassa de cal, cimento e areia	19 kN/m ³
Cargas de revestimentos	1,0 kN/m ²
Peso do telhado (mais revestimento laje de cobertura)	1,0 kN/m ²

b) Ações variáveis

As ações variáveis são caracterizadas por valores que têm significativas variações durante a vida da construção. Podendo-se considerar as cargas acidentais previstas para o uso da edificação, ação do vento, cargas móveis, força longitudinal de frenagem ou aceleração, etc.

Para o caso específico deste estudo, adotamos, conforme a NBR 6120:1980, as seguintes cargas acidentais:

Pisos de escritórios (salas de uso geral e banheiros)	2 kN/m ²
Pavimento cobertura (sem acesso a pessoas)	0,5 kN/m ²
Escada sem acesso ao público	2,5 kN/m ²

c) Ações excepcionais

As ações excepcionais são aquelas cuja duração é muito curta e a probabilidade de ocorrência muito pequena durante a vida da construção, como, explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes, sismos excepcionais, etc.

2.4. Ações Horizontais na subestrutura

A ação do vento no edifício foi calculada de acordo com a NBR-6123:1988 Forças Devidas ao Vento em Edificações e para isso consideram os seguintes dados:

- o edifício está localizado no centro da cidade de Santa Maria em terreno plano;
- as edificações vizinhas são do mesmo porte ou mais baixas que o edifício considerado;
- a velocidade do vento no local da edificação, obtida pelo gráfico de isopletas, é: $V_0 = 44m/s$.



Figura 2 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).

Fator topográfico S_1 : tratando-se de um terreno plano ou fracamente acidentado, tem-se $S_1 = 1,0$.

Fator S_2 : segundo a localização do edifício consideramos a categoria IV para rugosidade do terreno. Como a maior dimensão do edifício está entre 20 e 50 m consideram-se que o edifício pertence a classe B.

Com a tabela 1 da NBR 6123:1988, obtemos os coeficientes $b = 0,85$, $F_r = 0,98$ e $p = 0,125$.

$$S_2 = bF_r \left(\frac{z}{10} \right)^{0,125} \quad (\text{Equação 3})$$

Substituindo tem-se $S_2 = 0,833 \left(\frac{z}{10} \right)^{0,125}$, onde z é a altura do edifício (em metros) acima do nível do terreno.

Fator estatístico S_3 : como se trata de uma edificação para uso comercial com alto fator de ocupação $S_3 = 1,0$, grupo 2.

Coefficiente de arrasto: foram considerados os dois casos da Figura 3, onde $a=17,00$ m; $b=27,90$ m e $h=31,50$ m.

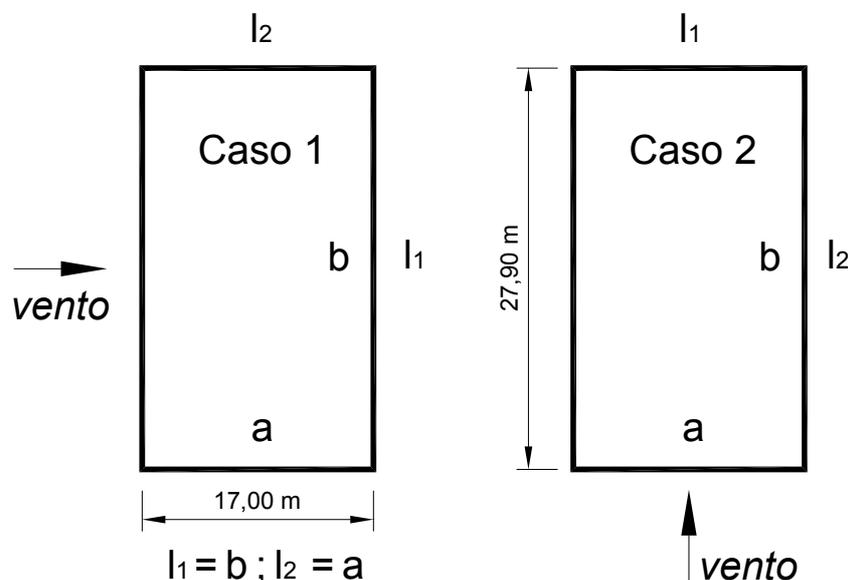


Figura 3 – Obtenção dos coeficientes de arrasto.

Caso 1: vento segundo a direção X

Neste caso tem-se $l_1 = 27,90$ m e $l_2 = 17,00$ m. Com gráfico 4 da NBR-6123:1988 e as seguintes relações $\frac{l_1}{l_2} = \frac{27,90}{17,00} = 1,64$; $\frac{h}{l_1} = \frac{31,50}{27,90} = 1,13$.

Com esse gráfico obtém-se o coeficiente da arrasto $C_a \cong 1,24$.

Caso 2: vento segundo a direção Y

Neste caso, tem-se $l_1 = 17,00$ m e $l_2 = 27,90$ m. Entrado no gráfico 4 da NBR-6123:1988 e as seguintes relações $\frac{l_1}{l_2} = \frac{17,00}{27,90} = 0,61$; $\frac{h}{l_1} = \frac{31,50}{17,00} = 1,85$.

Por meio desse gráfico obtém-se o coeficiente da arrasto $C_a \cong 1,0$.

2.5. Verificação da Indeslocabilidade da estrutura

Segundo Araújo (2004) uma estrutura usual de edifícios é constituída por um pórtico espacial ligado às lajes dos pisos, dispostas ao longo dos diversos andares. Tratando-se, portanto, de uma estrutura tridimensional formada por elementos lineares (vigas e pilares) e por elementos bidimensionais (lajes).

A NBR-6118:2003 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 elementos contraventados.

A estabilidade global do edifício pode ser verificada por meio da análise da estrutura de contraventamento. Isso torna-se possível usando-se dos recursos computacionais hoje disponíveis. Pode-se analisar tridimensionalmente o conjunto do edifício, considerando-se cargas verticais e horizontais devidas ao vento atuando simultaneamente na estrutura.

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 (Albuquerque, 1999).

Para efeito prático recomenda-se que as estruturas sejam dimensionadas como de nós fixos, quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, por decorrência, os efeitos globais de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem). Nessas estruturas a própria NBR-6118:2003 recomenda considerar apenas os efeitos localizados de 2ª ordem.

2.5.1. Parâmetro de instabilidade Alfa α

Araújo (2004) relata que o parâmetro de instabilidade α foi proposto por Bech e König, sendo um parâmetro capaz de avaliar os efeitos de segunda-ordem em uma estrutura. O modelo proposto por esses autores considera um pilar engastado em sua base com um carregamento uniformemente distribuído ao longo de sua altura, supondo-se o comportamento elástico-linear. Esse parâmetro é dado por:

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} I_c}} \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

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

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

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

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

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

$E_{cs}I_c$ - 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 γ_z

Este parâmetro denominado de coeficiente γ_z , foi criado pelos engenheiros Mário Franco e Augusto Carlos Vasconcelos para medir a importância dos efeitos de segunda ordem em edificações. Além de medir a intensidade dos efeitos de segunda ordem serve como um majorador, aplicado somente às forças horizontais, para determinar com grande aproximação esses efeitos de segunda ordem que efetivamente ocorrem nos elementos estruturais.

Conforme a NBR 6118:2003 o coeficiente γ_z é uma avaliação da importância dos esforços de segunda ordem global, sendo válido para estruturas reticuladas 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 γ_z para cada combinação de carregamento é dado por:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (\text{Equação 5})$$

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 1ª ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição:

$$\gamma_z \leq 1,1.$$

Segundo Araújo (2004) a vantagem do coeficiente γ_z sobre o parâmetro de instabilidade α é que o γ_z serve para uma avaliação aproximada dos esforços globais na estrutura. Sendo que o parâmetro α só indica se a estrutura pode ser considerada indeslocável ou não.

Sendo assim, para este estudo, optou-se por se utilizar apenas como parâmetro de instabilidade global o coeficiente γ_z considerando que a estrutura será de nós fixos, donde $\gamma_z \leq 1,1$.

2.6. Deslocamentos horizontais nas estruturas

De acordo com a Tabela 13.2 da NBR 6118:2003 o deslocamento limite no topo da edificação U deve ser calculado como sendo $H/1700$, onde H é a altura da edificação, provocado pela ação do vento para combinação freqüente ($\psi_1=0,30$).

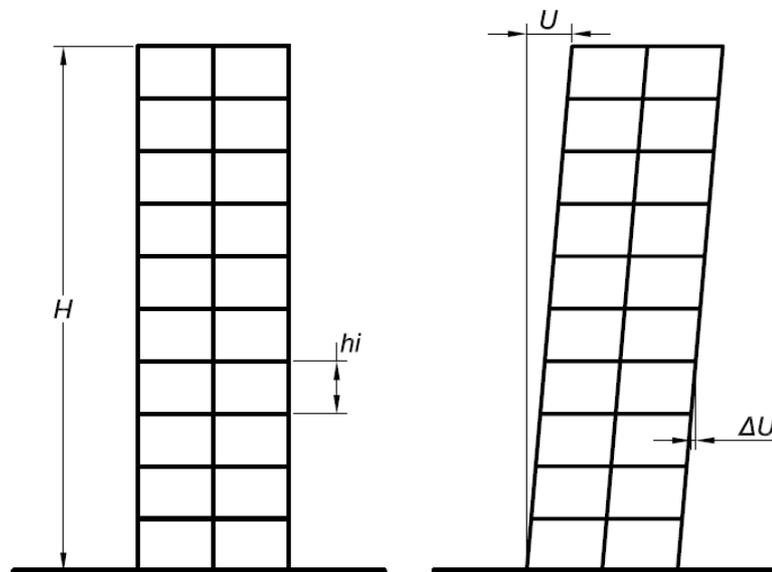


Figura 4 – Esquema estrutural indeformado e deformado.

A NBR 6118:2003 prescreve que o deslocamento horizontal (ΔU) entre pavimentos, deve ser comparado com os valores limites, os quais são calculados por $h_i / 850$ definidos na Tabela 13.2, onde h_i é o desnível entre dois pavimentos vizinhos. Logo se $h_i = 350$ cm, tem-se para este estudo $350/850 = 0,41$ cm de deslocamento entre andares adjacentes.

2.7. Introdução aos sistemas estruturais adotados

Pode-se caracterizar um Sistema Construtivo pelos materiais empregados na sua composição, como por exemplo, o sistema objeto deste estudo, Sistema Construtivo em Concreto Armado, onde o próprio nome já indica que são usados o concreto e armadura de aço na sua composição. Citam-se outros sistemas encontrados no mercado, bem como sistema construtivo em Aço, em Alvenaria Estrutural, Madeira, etc.

Como definido por Sabbatini (1989), Sistema Construtivo é um processo construtivo de elevados níveis de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo.

Para efeito neste trabalho, adotou-se a denominação de sistema estrutural com a característica de cada tipo de estrutura seguido do que caracteriza o 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 de seu contorno. Estes elementos estruturais são responsáveis pelo recebimento das cargas de utilização aplicadas nos pisos das edificações e transmissão aos apoios, que geralmente são constituídos por vigas.

Um sistema convencional de estruturas de concreto armado é aquele que pode ser constituído basicamente por lajes maciças, vigas e pilares, sendo que as lajes recebem os carregamentos oriundos da utilização, ou seja, das pessoas, móveis acrescidos de seu peso próprio, os quais são transmitidos às vigas, que por sua vez descarregam seus esforços aos pilares e esses às fundações.

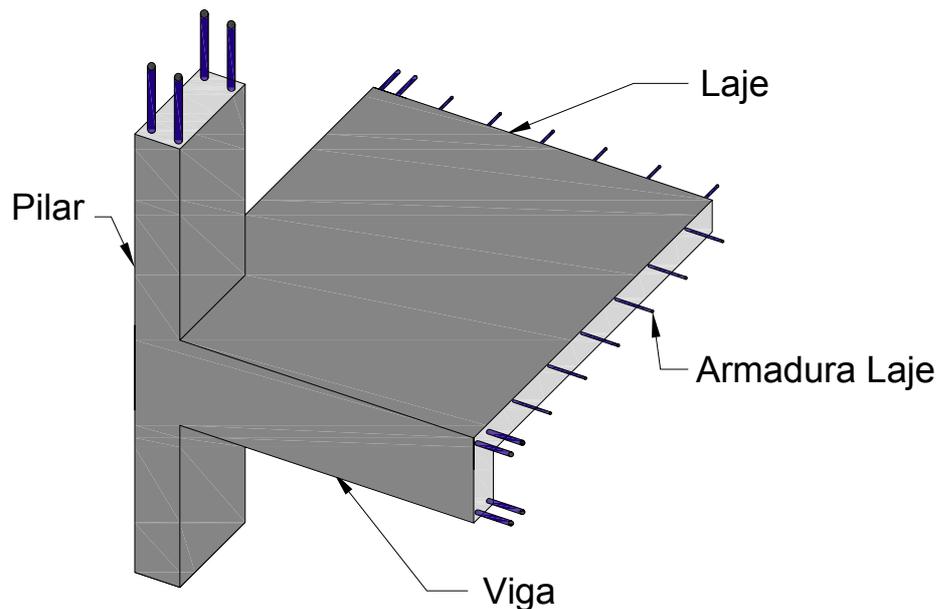


Figura 5 – Representação esquemática do sistema construtivo convencional em concreto armado.

2.7.1.1. Prescrições da NBR-6118:2003

Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites para a espessura:

- a) 5 cm para lajes de cobertura não 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.

2.7.1.2. Características do sistema

A laje maciça não é adequada para vencer grandes vãos. É prática usual adotar-se como vão médio econômico um valor entre 3,5 m e 5 m. A seguir, algumas características desse sistema:

- apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa as formas do pavimento muito recortadas, diminuindo a produtividade da construção e o reaproveitamento das formas;
- grande consumo de formas;
- existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos que garantem uma boa rigidez à estrutura;
- um dos sistemas estruturais mais utilizados nas construções de concreto armado, por isso a mão-de-obra já é bastante treinada;
- o volume de concreto é grande devido ao consumo das lajes.

Segundo Franca (1997) as lajes nos edifícios de vários pisos respondem por elevada parcela de consumo de concreto. No caso de lajes maciças, essa parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total do concreto da estrutura.

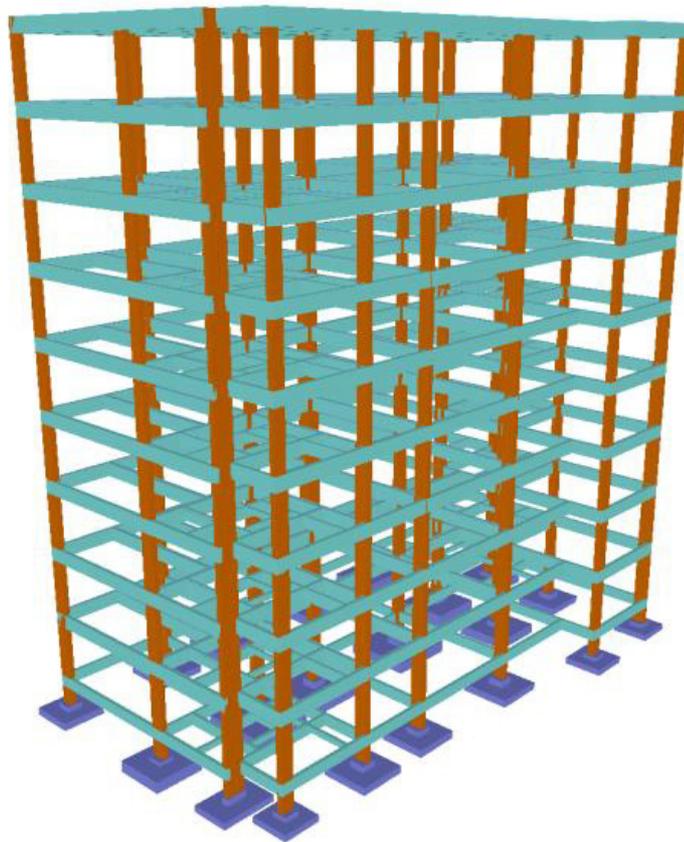


Figura 6 – Múltiplos pórticos garantem boa rigidez.

2.7.2. Sistema estrutural convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas

Conforme o item 14.7.7 da NBR-6118:2003 as lajes nervuradas podem ser moldadas no local ou com **nervuras pré-moldadas**. A zona de tração (região abaixo da linha neutra) é constituída por nervuras dispostas em uma ou duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado, um material inerte para o preenchimento dos mesmos.

Esse item trata do sistema convencional com lajes nervuradas pré-moldadas. A utilização deste sistema na construção brasileira tem sido crescente. As vigotas de painéis treliçados permitem uma melhor aderência dos mesmos ao capeamento de concreto moldado “*in loco*”, e também algumas facilidades e vantagens na utilização deste sistema estrutural.

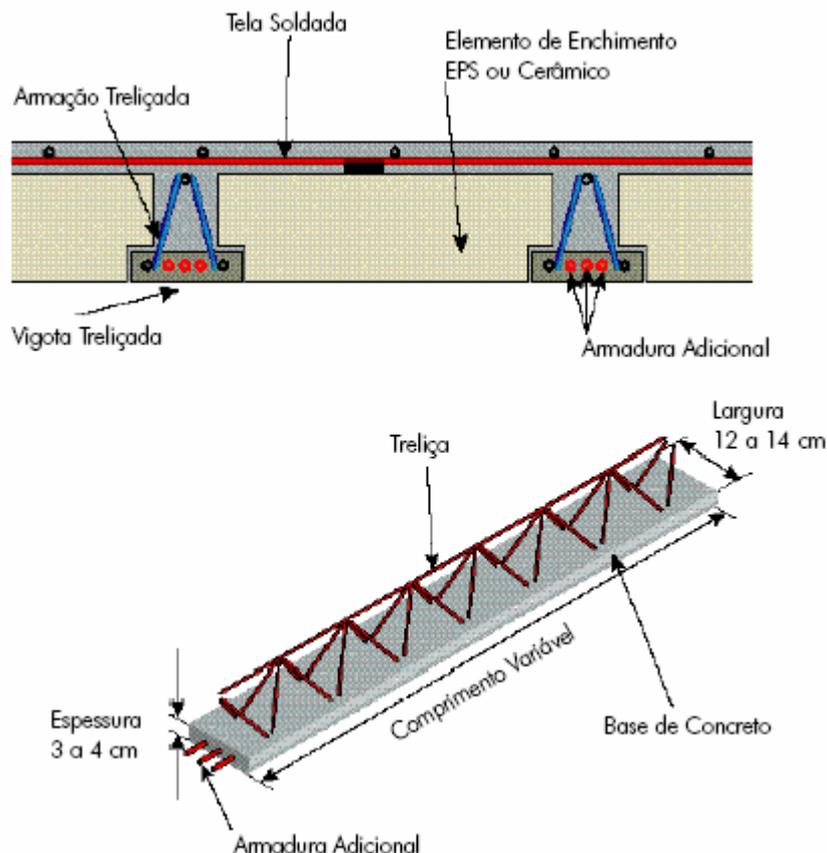


Figura 7 – Laje com armação treliçada (Catálogo Técnico Belgo, 2006).

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 armaduras resistentes à força cortante, servem para promover uma perfeita ligação 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.

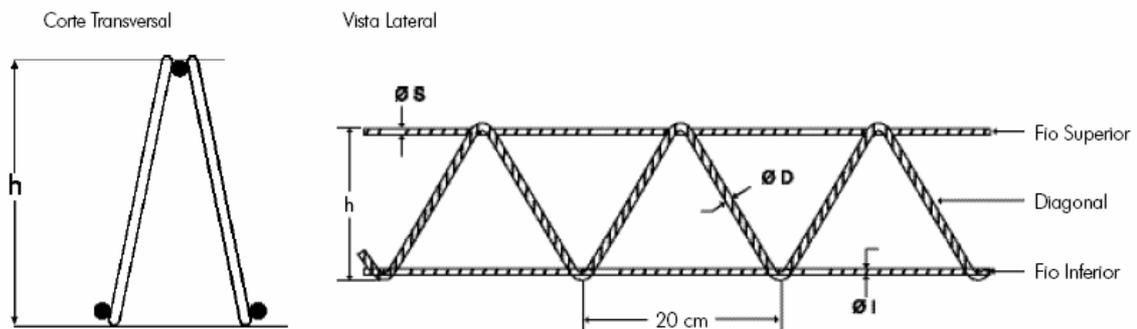


Figura 8 – Armadura treliçada (Catálogo Técnico Belgo, 2006).

2.7.2.1. Características do sistema

Em relação ao sistema tradicional de lajes maciças, as lajes com armadura treliçada apresentam as seguintes vantagens (Muniz, 1991):

- diminuição do peso da laje e conseqüente alívio sobre as fundações;
- redução significativa de formas acarretando economia de madeiramentos 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;
- os blocos de EPS têm como vantagem o fato de deixarem o teto pronto para receber o acabamento, além de serem muito leves ($\gamma = 0,1$ a $0,25$ kN/m³);
- as lajes pré-fabricadas apresentam como vantagens a rapidez de execução e a economia de formas e de escoramento.

2.7.3. Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas

Como visto no sub-item anterior, verifica-se que as Lajes nervuradas são formadas por um conjunto de nervuras em uma ou duas direções, formando espaços entre as mesmas nos quais são utilizados elementos de enchimento.

Para o referido sistema, os elementos de enchimento são de polipropileno, e deixam um vazio que dá a forma a esse tipo de laje. Os moldes podem ser retirados para que sejam reutilizados nos pavimentos seqüentes.

A NBR-6118:2003 em seu item 14.7.8, define como sendo laje-cogumelo aquelas apoiadas em capteis, enquanto as lajes lisas são apoiadas diretamente em pilares (Figura 9).

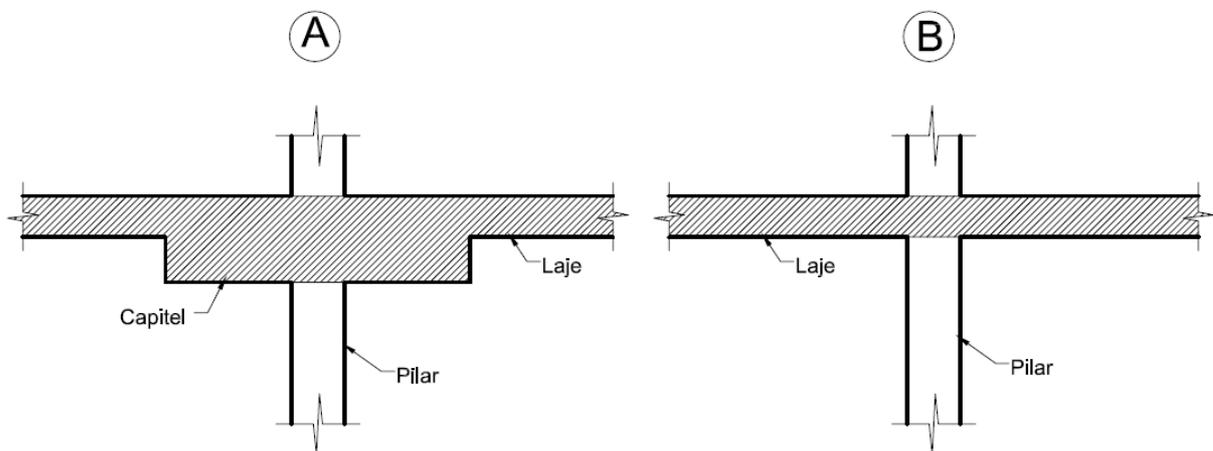


Figura 9 – Laje cogumelo (A) e laje lisa (B) apoiadas diretamente sobre pilares.

As lajes lisas nervuradas são apoiadas diretamente sobre os pilares, utilizando-se na região dos apoios maciços de concreto, com objetivo de resistir as tensões de cisalhamento características dessas regiões. Na Figura 10 pode-se verificar a situação de apoio de uma laje nervurada sobre pilares.



Figura 10 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares (visualização inferior).

As lajes nervuradas adaptam-se a qualquer tipo de estrutura, tais como:

- prédios residenciais.
- prédios comerciais.
- garagens.
- escolas.
- indústrias.
- hospitais.
- hotéis.
- shopping Centers.

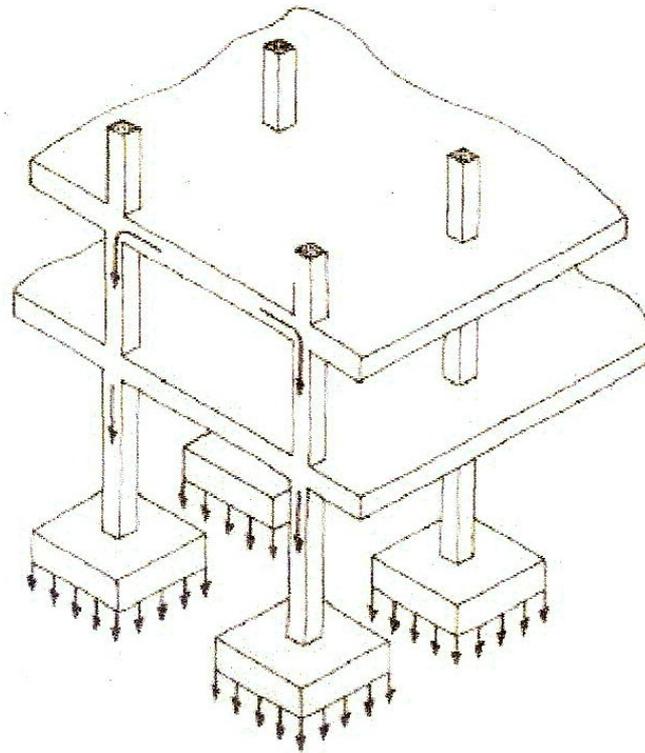


Figura 11 – Caminhamento das cargas de lajes apoiadas diretamente sobre pilares.

As lajes nervuradas apresentam vantagens em relação às demais, entre elas citam-se:

- a maior inércia em relação às lajes convencionais possibilita o aumento dos vãos entre pilares, facilitando os projetos e criando maior área de manobras nos estacionamentos;
- 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;
- maior facilidade na execução, uma vez que as vigas são embutidas na própria laje (sem vigas altas), evitando-se recortes e agilizando-se os serviços de montagem das formas;
- quando associadas a um sistema de formas industrializadas aceleram muito o processo construtivo, chegando a um ciclo médio de execução de sete dias por pavimentos com aproximadamente 450,00 m².
- nos prédios de salas de aula e bibliotecas podem ser utilizadas apenas com acabamento superficial contribuindo para o conforto acústico do ambiente.



Figura 12 – Laje nervurada recebendo acabamento superficial.



Figura 13 – Laje lisa nervurada apoiada diretamente sobre pilares (visualização superior).

Araújo (2003) relata que as lajes nervuradas exigem uma altura h_i cerca de 50% superior à que seria necessária para as lajes maciças. Entretanto, o peso próprio da laje nervurada (e o consumo de concreto) é inferior ao da laje maciça, resultando em uma solução mais econômica para vãos acima de aproximadamente 8 m.

A utilização de viga de borda conectada aos pilares nos contornos dos pavimentos também traz outras vantagens, como a formação de pórticos para resistir às ações laterais.

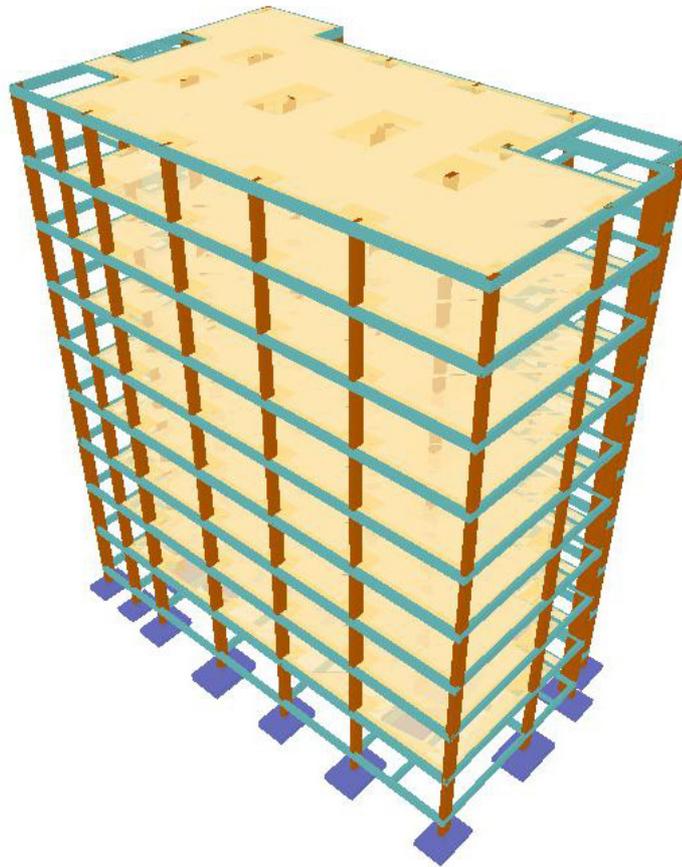


Figura 14 – Pavimentos de lajes nervuradas com utilização de vigas de borda.

2.7.3.1. Prescrições da NBR-6118:2003

A NBR 6118:2003 estabelece alguns limites quanto à espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas essa deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as nervuras e não menor que 3 cm. O valor mínimo absoluto deve ser de 4 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm.

A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm.

Nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas devem ser obedecidas as seguintes condições, conforme recomenda a NBR6118:2003:

a) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 60 cm pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras permite-se a consideração dos critérios de laje;

b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras de 60 cm a 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 menor que 90 cm e a espessura 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.

2.7.3.2. Análise estrutural

De acordo com a NBR6118:2003 a análise estrutural das lajes lisas e cogumelo deve ser realizada mediante emprego de procedimento numérico adequado, por exemplo, diferenças finitas, elementos finitos e elementos de contorno.

Sendo que nos casos 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 24 deve ser feita da seguinte maneira:

- 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 para os casos em que não haja simetria de forma ou de carregamento da laje em relação ao apoio.

Obrigatoriamente devem ser considerados os momentos de ligação entre as lajes e os pilares extremos.

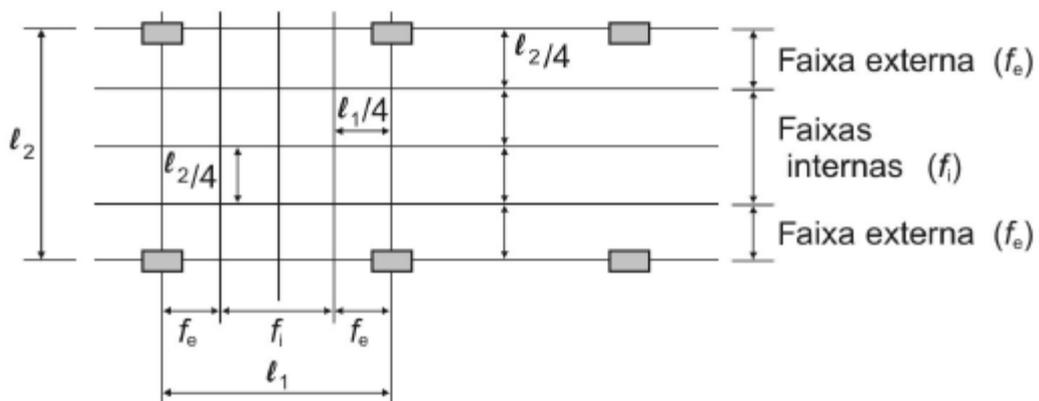


Figura 15 – Faixas de laje para distribuição dos esforços nos pórticos múltiplos.

2.7.3.3. Punção

Araújo (2003) 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° . Acrescenta ainda que sua análise é de fundamental importância no caso de lajes cogumelo.

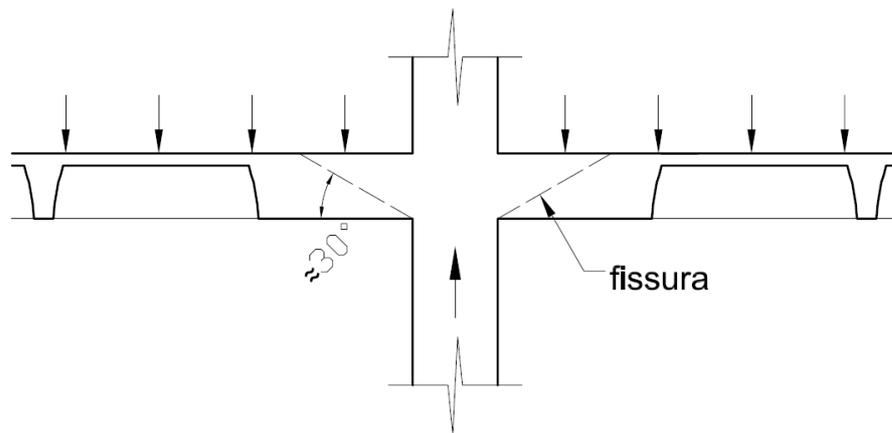


Figura 16 – Ruína por punção em lajes lisas nervuradas.

Segundo a NBR-6118:2003 o modelo de cálculo corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas.

Na primeira superfície crítica (contorno C) do pilar ou da carga concentrada, deve ser verificada indiretamente a tensão de compressão diagonal do concreto, por meio 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 por meio de uma tensão de cisalhamento atuando 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:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u \cdot d} \quad (\text{Equação 6})$$

onde

$$d = (d_x + d_y) / 2 \quad (\text{Equação 7})$$

sendo

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

d_x e d_y – as alturas úteis nas duas direções ortogonais;

u – perímetro do contorno crítico C' ;

$u.d$ – área da superfície crítica;

F_{Sd} – força ou a reação concentrada (valor 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' .

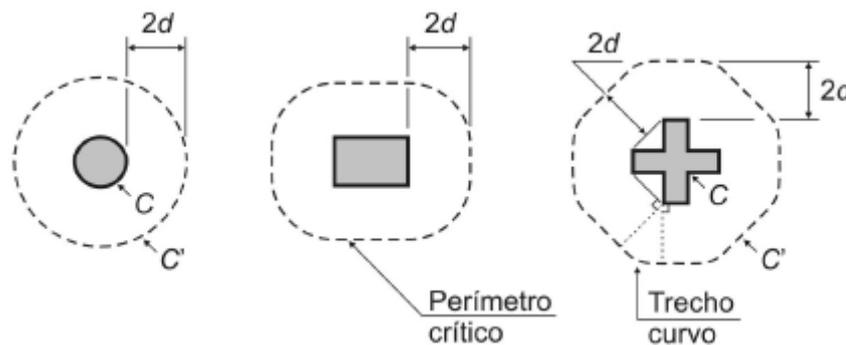


Figura 17 – Perímetro crítico de pilares internos (NBR 6118/2003).

No caso de pilar interno com efeito de momento, no qual 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:

$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{u.d} + \frac{kM_{Sd}}{W_p d} \quad (\text{Equação 8})$$

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.

Tabela 1 – Consumo de materiais.

C1/C2	0,5	1	2	3
k	0,45	0,6	0,7	0,8

C1 é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;
C2 é a dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força.

O valor de W_p , para pilar retangular, deve ser calculado pela expressão:

$$W_p = \frac{C_1^2}{2} + C_1.C_2 + 4.C_2.d + 16.d^2 + 2.\pi.d.C_1 \quad (\text{Equação 9})$$

2.7.3.4. Colapso progressivo

Conforme recomenda a NBR-6118:2003, 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', (Figura 19.10), sendo dada por:

$$A_s \cdot f_{yd} \geq F_{sd} \quad (\text{Equação 10})$$

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

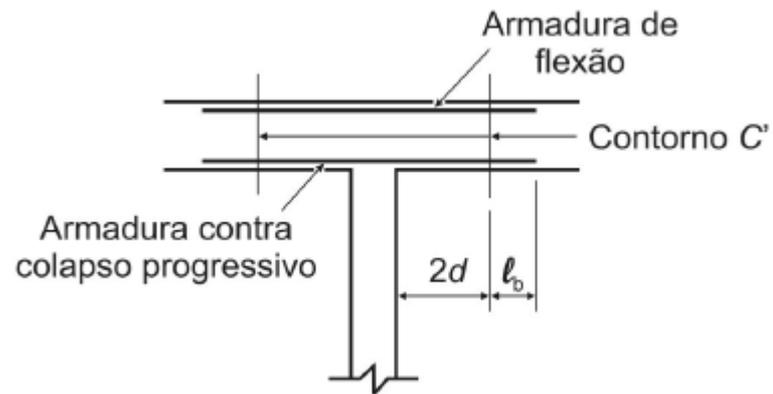


Figura 18 – Armadura contra colapso progressivo.

3

■ METODOLOGIA DO TRABALHO

3.1. Considerações gerais

Neste presente trabalho desenvolveu-se uma análise comparativa entre os sistemas estruturais de concreto armado, onde primeiramente, foram definidos os sistemas construtivos a serem analisados. Em seguida foi escolhido um edifício modelo para ser utilizado como base para as concepções estruturais de cada um dos sistemas em análise.

Numa segunda etapa, fez-se o lançamento e análise da estrutura para os três sistemas escolhidos, obtendo-se os quantitativos de materiais, os quais vêm a formar os índices definidos para comparação. Foram comparados os custos totais da obra obtidos por meio de composições de preços chegando-se a um valor global para cada tipologia adotada.

Por meio da formação dos custos unitários estudaram-se comparativamente os valores dos índices encontrados com o custo unitário da construção (CUB) para as tipologias construtivas adotadas.

3.2. Tipologia e concepção dos sistemas construtivos adotados

a) Sistema construtivo:

- estrutura convencional com lajes, vigas e pilares;
- estrutura convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas, vigas e pilares;
- estrutura com lajes lisas nervuradas apoiadas em pilares.

b) Etapas consideradas (subsistemas)

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

c) Os serviços e insumos envolvidos são:

- concreto;
- aço;
- formas.

3.3. Escolha do edifício exemplo

A arquitetura do edifício exemplo foi gentilmente cedida pelo escritório de Arquitetura *ARQ Conjunta*. Esse edifício pertence à UNIFRA (Centro Universitário Franciscano), onde atualmente são abrigadas as instalações da Administração da Instituição. Localiza-se à Rua Silva Jardim, na Cidade de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul.

Como objeto deste estudo considerou-se que o edifício tem dez pavimentos, todos iguais ao pavimento tipo, como indica a Figura 12, e com uma distância entre pisos de 3,50 m. Sendo que para este estudo não será considerada a existência de outros pavimentos, tais como: subsolo, cobertura, reservatórios.



Figura 19 – Edifício Exemplo.

O motivo pelo qual optou-se por esse edifício exemplo deve-se ao fato de o mesmo ser de utilização comercial/administrativa, o que caracteriza uma arquitetura com utilização de vãos maiores do que os normalmente usados em edificações residenciais.

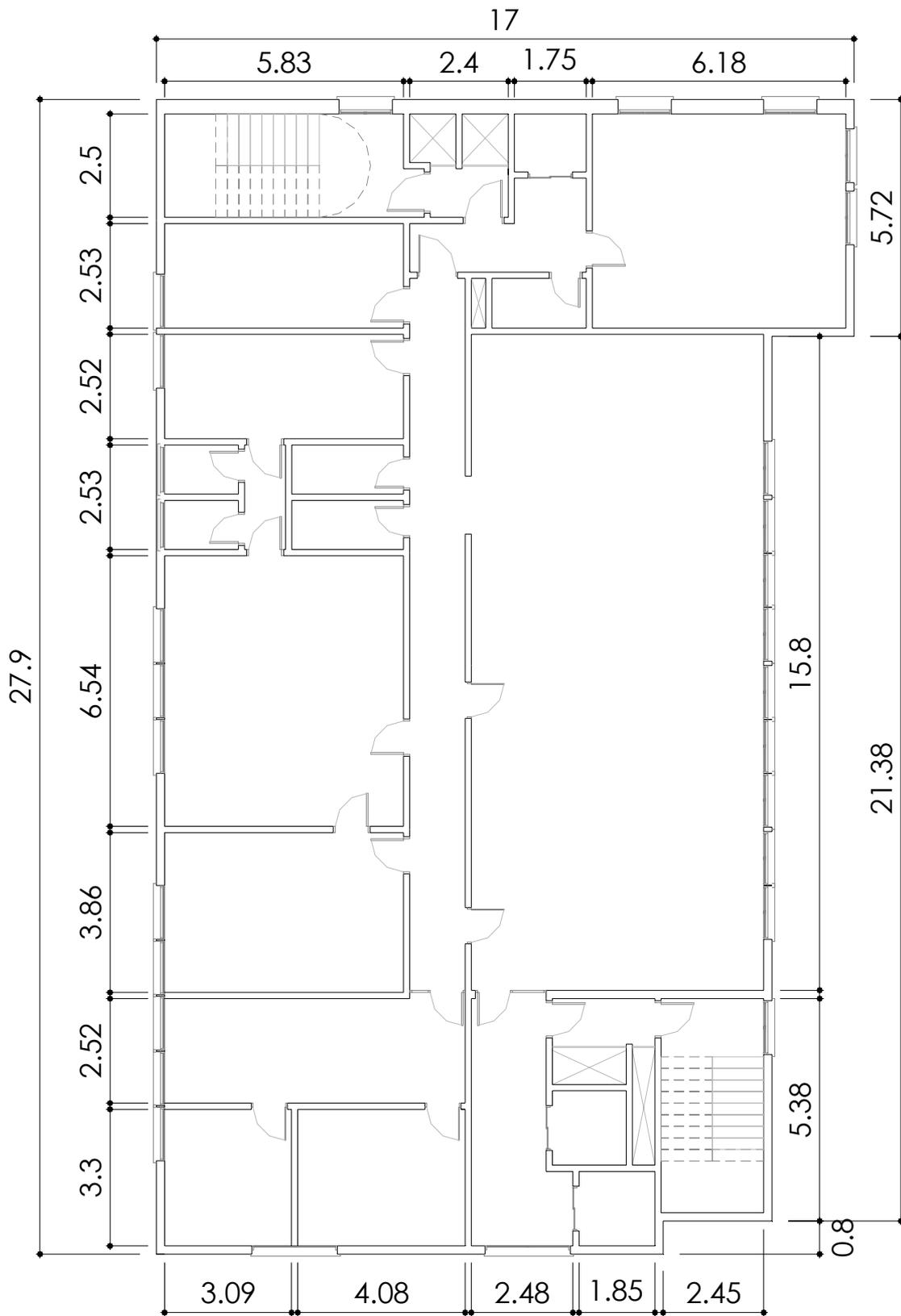


Figura 20 – Planta Baixa do Pavimento Tipo.

3.4. Características do solo

Adotou-se como tensão admissível para o solo local 0,35 MPa, sendo as fundações diretas com a utilização de sapatas como elemento de fundação. Essas simplificações foram utilizadas baseadas no fato deste trabalho ser apenas um estudo comparativo.

3.5. Ferramentas de cálculo e análise estrutural

Para a realização do trabalho utilizaram-se os *softwares* de cálculo de estruturas de concreto armado CYPECAD 3D e o AltoQI/Eberick para a análise e detalhamento dos diversos sistemas estruturais. Esses programas permitem a modelagem de estruturas de concreto armado convencionais de lajes maciças e pré-moldadas, assim como de estruturas de lajes lisas nervuradas.

Devido ao fato do CYPECAD não calcular flecha diferida em lajes maciças e nervuradas, levando em conta a fluência, optou-se pela verificação dos deslocamentos nos elementos de lajes e vigas com o Eberick V5. Esse programa tem o recurso implementado, conforme o processo do item 17.3.2.1 da NBR 6118:2003 para avaliação das flechas nas vigas considerando-se a fissuração e a fluência, assim como para o dimensionamento e verificação de lajes no ELS (Estados Limites de Serviço) localizados no item 19.3.1 da NBR-6118:2003, devem ser usados os critérios dados em 17.3.2, considerando-se a possibilidade de fissuração (estádio II).

Sendo assim, pretende-se utilizar os resultados de saída (quantitativos de concreto, aço e formas) dos materiais obtidos por meio do *software* CYPECAD. Lembrando-se que o objetivo deste trabalho não é o de comparar programas de cálculo estrutural, mas comparar os sistemas estruturais em concreto armado adotados para esta pesquisa.

As análises foram feitas considerando-se o comportamento elástico-linear dos elementos estruturais sendo que foram extraídas do programa plantas de formas, detalhamentos de armaduras e quantitativos, tais como o volume de concreto, consumo de aço e quantitativos das formas.

3.5.1. CYPECAD 3D

Desenvolvido e comercializado pela CYPE INGENIEROS S.A., o CYPECAD é um *software* para o projeto de edifícios de concreto armado que permite a análise espacial com dimensionamento de todos os elementos estruturais, a edição das armaduras e secções, e obtenção dos desenhos para execução da estrutura.

A norma NBR 6118:2003 encontra-se implementada no programa, onde podemos desatacar alguns itens importantes encontrados na memória de cálculo do programa, listados a seguir.

A análise das solicitações realiza-se por meio de um cálculo espacial em 3D, por métodos matriciais de rigidez, considerando-se todos os elementos que definem a estrutura: pilares, paredes, muros, vigas e lajes.

Estabelece-se a compatibilidade de deformações em todos os nós, considerando-se seis graus de liberdade, e cria-se a hipótese de indeformabilidade do plano de cada piso para simular o comportamento rígido da laje, impedindo-se os deslocamentos relativos entre os nós do mesmo (diafragma rígido). Por isso, cada piso apenas poderá rodar e deslocar-se no seu conjunto (três graus de liberdade).

A consideração de diafragma rígido para cada zona independente de um piso mantém-se, mesmo quando da introdução de vigas e de não se introduzirem lajes no piso.

Emprega-se o método P- Δ , para o qual se deve indicar o coeficiente multiplicador dos deslocamentos, que é o inverso do redutor de rigidez, tomando-se como padrão $1 / 0,7 = 1,43$.

No referido método são considerados os efeitos locais calculando-se a excentricidade adicional por flambagem e os efeitos globais aplicando-se o método P- Δ e o coeficiente amplificador de esforços γ_z às combinações de vento.

O programa não calcula flecha diferida em lajes maciças e nervuradas, levando em conta a fluência. A flecha instantânea pode ser consultada na guia ISOVALORES.



Figura 21 – Tela do CYPECAD – Diagrama de isovalores de deslocamentos no Pavimento Tipo.

3.5.2. AltoQi/Eberick Gold

Desenvolvido e comercializado pela AltoQi Tecnologia em Informática Ltda, o Eberick versão Gold é um computacional em ambiente Windows destinado ao projeto de edificações em concreto armado.

Com sistema gráfico de entrada de dados associado à análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial, e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos. Esses são lajes, vigas, pilares, blocos sobre estacas e sapatas.

A estrutura da edificação é definida por meio de pavimentos que representam os diferentes níveis existentes no projeto arquitetônico. O lançamento dos elementos é feito de forma gráfica, diretamente sobre a planta arquitetônica, permitindo definir diversas hipóteses no cálculo do modelo. O programa possibilita a visualização da estrutura completa em 3D e os resultados são fornecidos por meio de janelas de dimensionamento em forma de planilha. O detalhamento dos

elementos segue as práticas usuais do mercado brasileiro e pode ser organizado em pranchas para posterior impressão.

3.5.2.1. Principais características do programa:

- entrada de dados gráfica em ambiente de CAD integrado, com possibilidade de importação da arquitetura em formato DXF;
- visualização tridimensional da estrutura;
- análise da estrutura em modelo de pórtico espacial, com verificação da estabilidade global;
- possibilidade de modelar as ligações entre os elementos (rótulas, engastes, ligações semi-rígidas);
- possibilidade de analisar os painéis de lajes em um modelo de grelha plana, com discretização semi-automática;
- dimensionamento dos elementos de acordo com a norma NBR-6118:2003;
- detalhamento dos elementos com possibilidade de edição da ferragem e atualização da relação de aço;
- geração de quantitativos de materiais por elemento, prancha, pavimento ou projeto;
- geração de diversos diagramas, apresentando reações de lajes e vigas, flechas em pavimentos, entre outros;
- geração de relatórios formatados graficamente, em formato HTML (para Internet) ou RTF (para leitura no Microsoft Word®);
- geração de pranchas de formato configurável distribuindo os detalhamentos.

3.5.2.2. Diafragma rígido

Embora as lajes não participem efetivamente do modelo de pórtico espacial (um "esqueleto" composto pelas vigas e pilares da estrutura), sua presença na estrutura é considerada por meio da hipótese de diafragma rígido. Essa hipótese considera as lajes infinitamente rígidas no seu plano, garantindo um comportamento mais real da estrutura no tocante aos deslocamentos horizontais.

Cada laje presente no pavimento fornece ao pórtico uma restrição ao deslocamento horizontal dos nós no seu contorno, fazendo com que eles se desloquem em conjunto. Com o deslocamento restringido não ocorrem cargas axiais nas barras pertencentes aos contornos das lajes.

3.5.2.3. Analogia de grelha

As vigas são discretizadas em barras e as lajes em uma grelha com faixas ortogonais. A malha da grelha é gerada pelo programa, cabendo ao usuário definir o espaçamento entre as barras nas duas direções (quando a laje for maciça) e a direção da malha. O espaçamento padrão pode ser configurado em menu configurações.

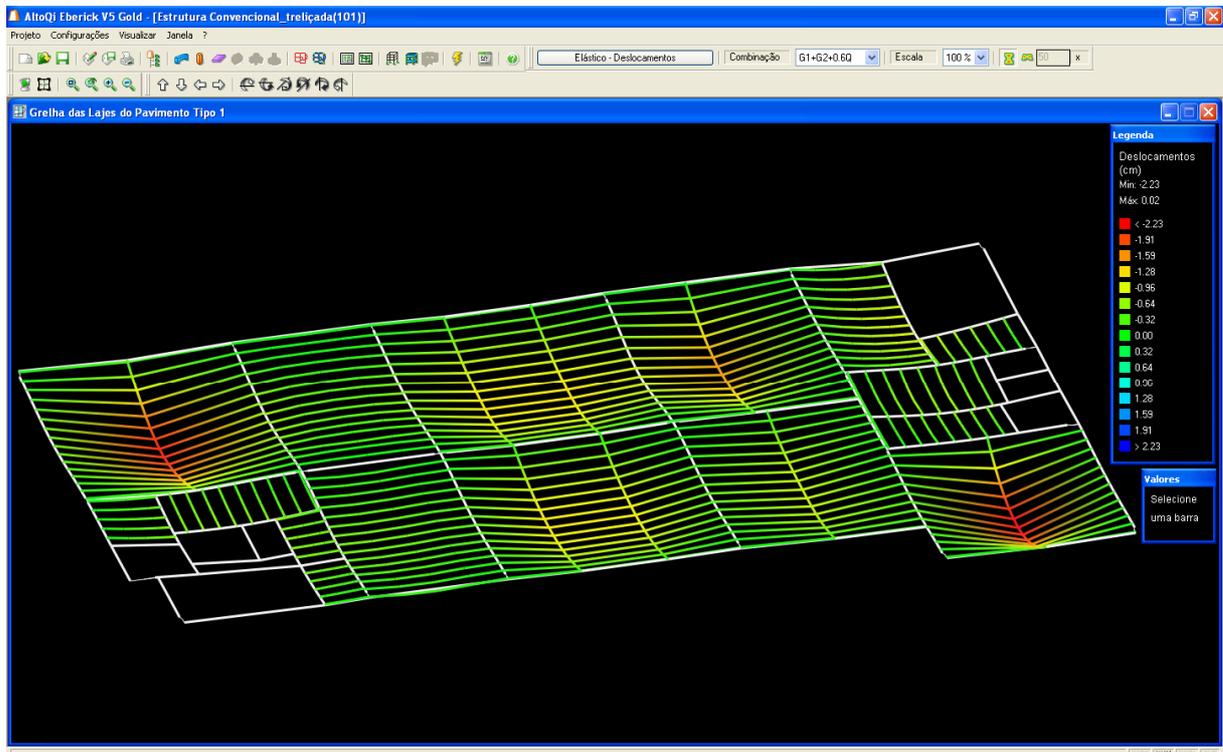


Figura 22 – Tela do Eberick: grelha de lajes com deslocamentos no Pavimento Tipo.

3.6. Parâmetros de comparação adotados

3.6.1.1. Índice de concreto i_c

É a razão entre o consumo total de concreto extraído do projeto estrutural e a área real global da edificação, obtida segundo as NBR12721.

$$i_c = V_9 \text{ (m}^3\text{)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{Equação 11})$$

3.6.1.2. Índice de aço i_a

É a razão entre o consumo de aço utilizado na estrutura e a área total do edifício.

$$i_a = P \text{ (kg)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{Equação 12})$$

3.6.1.3. Índice de formas i_f

É a razão entre área de formas constante no projeto da estrutura e a área total do edifício.

$$i_f = A_f \text{ (kg)} / A \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{Equação 13})$$

3.7. Critérios para o cálculo dos custos

A comparação de custos é uma tarefa que apresenta um elevado grau de complexidade, uma vez que o custo final da obra é influenciado por inúmeras variáveis complexas e de difícil caracterização.

Optou-se por utilizar as composições usuais para os serviços considerados. As composições consideram apenas os serviços propriamente ditos, sendo assim, não se consideram os custos relacionados aos serviços iniciais, de instalação da obra, do terreno, administrativos ou quaisquer outros não relacionados diretamente com os serviços abordados neste trabalho.

As composições adotadas, com pequenas adaptações, foram obtidas da coletânea publicada periodicamente pela PINI. Essas composições são apresentadas nas “Tabelas para Composições de Preços para Orçamentos” – TCPO (PINI, 2003).

Os valores em reais utilizados neste trabalho referem-se ao mês de fevereiro de 2008. O CUB/RS (custo unitário básico calculado pelo SINDUSCON/RS) correspondia a R\$ 950,66. Os preços médios de mão de obra considerados foram fornecidos pela tabela de Preços e Custos da Construção (Sinduscon/RS) referente ao mesmo mês. Para os preços dos insumos das composições utilizaram-se aqueles praticados no mercado local no mesmo período.

Considerou-se que as condições do canteiro de obras, acesso e fornecimento de materiais, fossem semelhantes para todas as situações estudadas.

4 ■ CONCEPÇÕES E RESULTADOS

4.1. Sistema estrutural convencional com lajes maciças

4.1.1. Caracterização adotada para o projeto

A resistência característica do concreto adotada para o sistema convencional foi de $F_{ck} = 25$ MPa para toda estrutura, inclusive para as fundações.

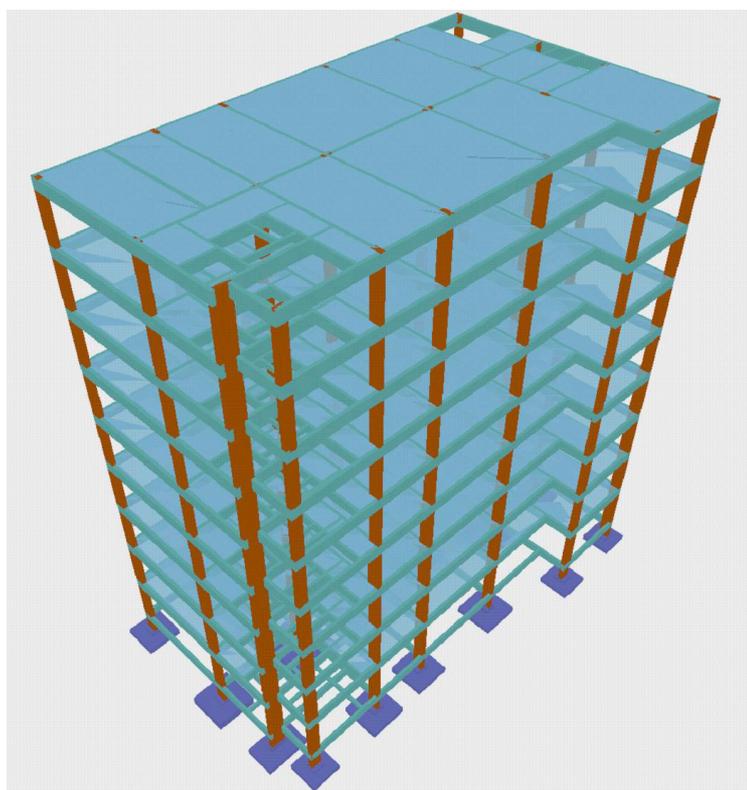


Figura 23 – Vista 3D da estrutura convencional.

Outros parâmetros tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimento da armadura para esse sistema foram utilizados aqueles descritos no capítulo 2.

As composições de formas e escoramentos utilizadas para o sistema convencional foram basicamente em madeira com chapas de compensados com espessura igual a 12 mm, táboas e pontaletes de pinho, conforme as composições apresentadas nos Anexos deste trabalho.

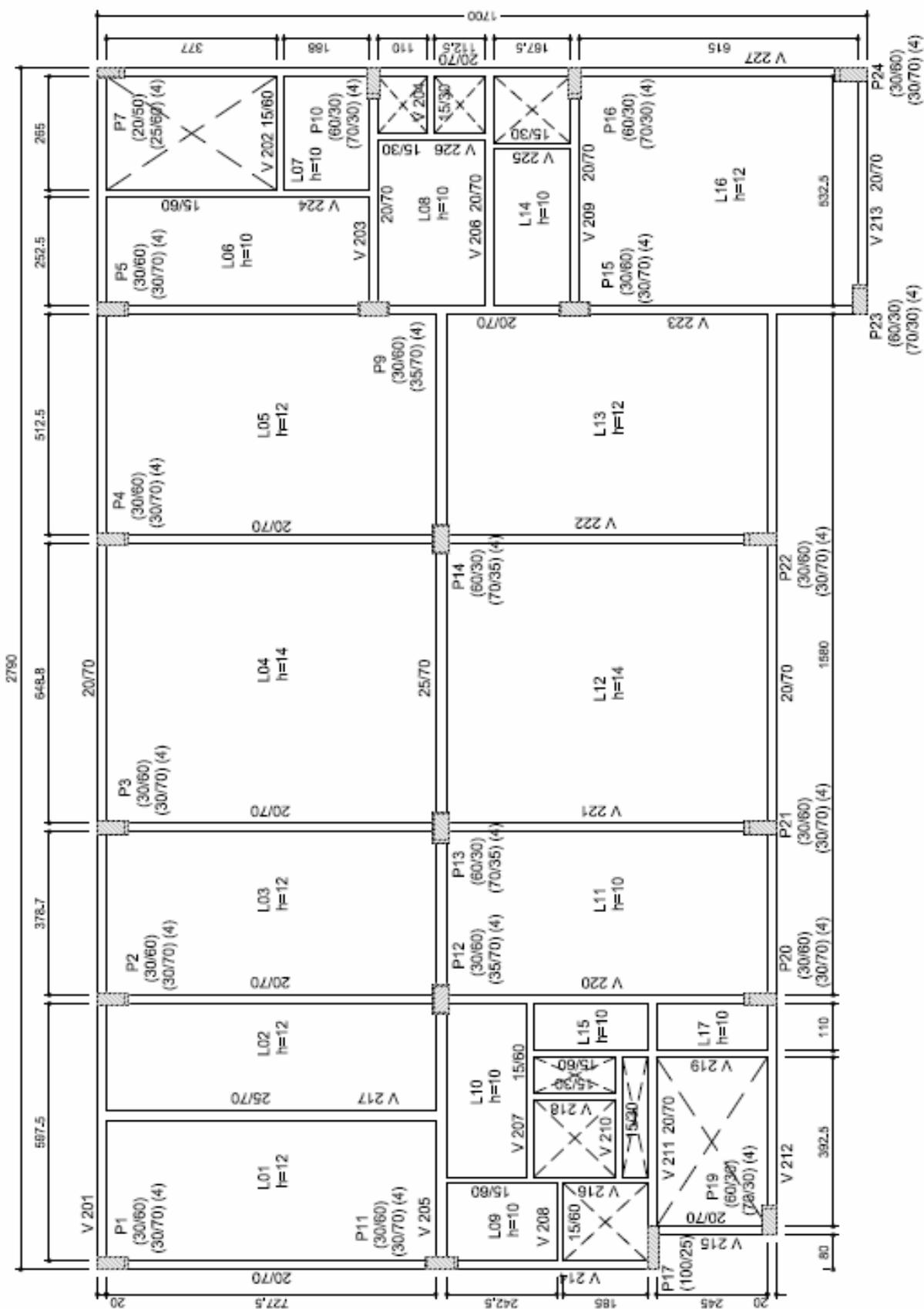


Figura 24 – Planta de formas do pavimento tipo no sistema convencional de lajes maciças.

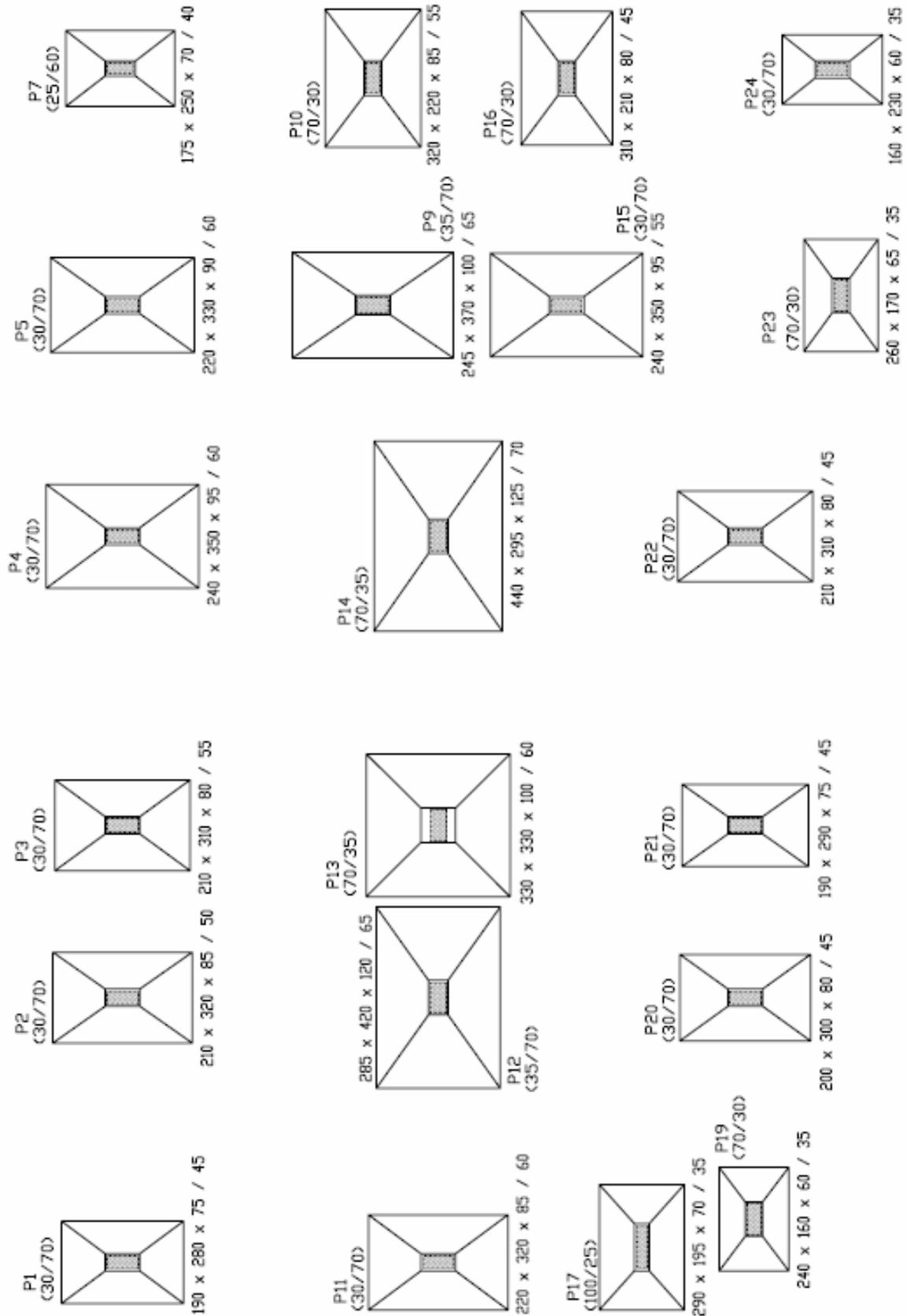


Figura 25 – Planta de locação e cargas das fundações no sistema convencional de lajes maciças.

4.1.2. Resultados

Tabela 2 – Consumo de materiais.

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Aço (kg)	CA50	25.094,0	9.286,0	22.679,0	3.912,7	60.971,7
	CA60	655,0	1.795,0	1.061,0		3.511,0
	Total	25.749,0	11.081,0	23.740,0	3.912,7	64.482,7
Volume concreto (m ³)		313,3	107,4	376,8	107,9	905,4
Área de formas (m ²)		2.940,6	1.045,5	3.118,0		7.104,1
Consumo de aço		82,2	103,2	63,0	36,3	71,2

Tabela 3 – Índices.

Taxa de concreto (m³/m²)	Taxa de Aço II (Kg/m²)	Taxa de Formas (m²/m²)
0,212	15,07	1,66

Tabela 4 – Deslocamentos e instabilidade.

	Direção X	Direção Y
Desloc total (cm)	0,67(lim 1,94)	0,80 (lim 1,94)
Gama-Z	1,07	1,07

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

4.2.1. Caracterização adotada para o projeto

A resistência característica do concreto adotada para o sistema convencional com lajes treliçadas foi de $F_{ck} = 25$ MPa para toda estrutura (lajes, vigas e pilares) inclusive para as fundações.

Outros parâmetros tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimento da armadura para esse sistema foram utilizados aqueles descritos no capítulo 2.

As composições de formas e escoramentos utilizadas para o esse sistema foram basicamente em madeira com chapas de compensados com a espessura igual a 12 mm, táboas e pontaletes de pinho, conforme as composições apresentadas nos Anexos deste trabalho.

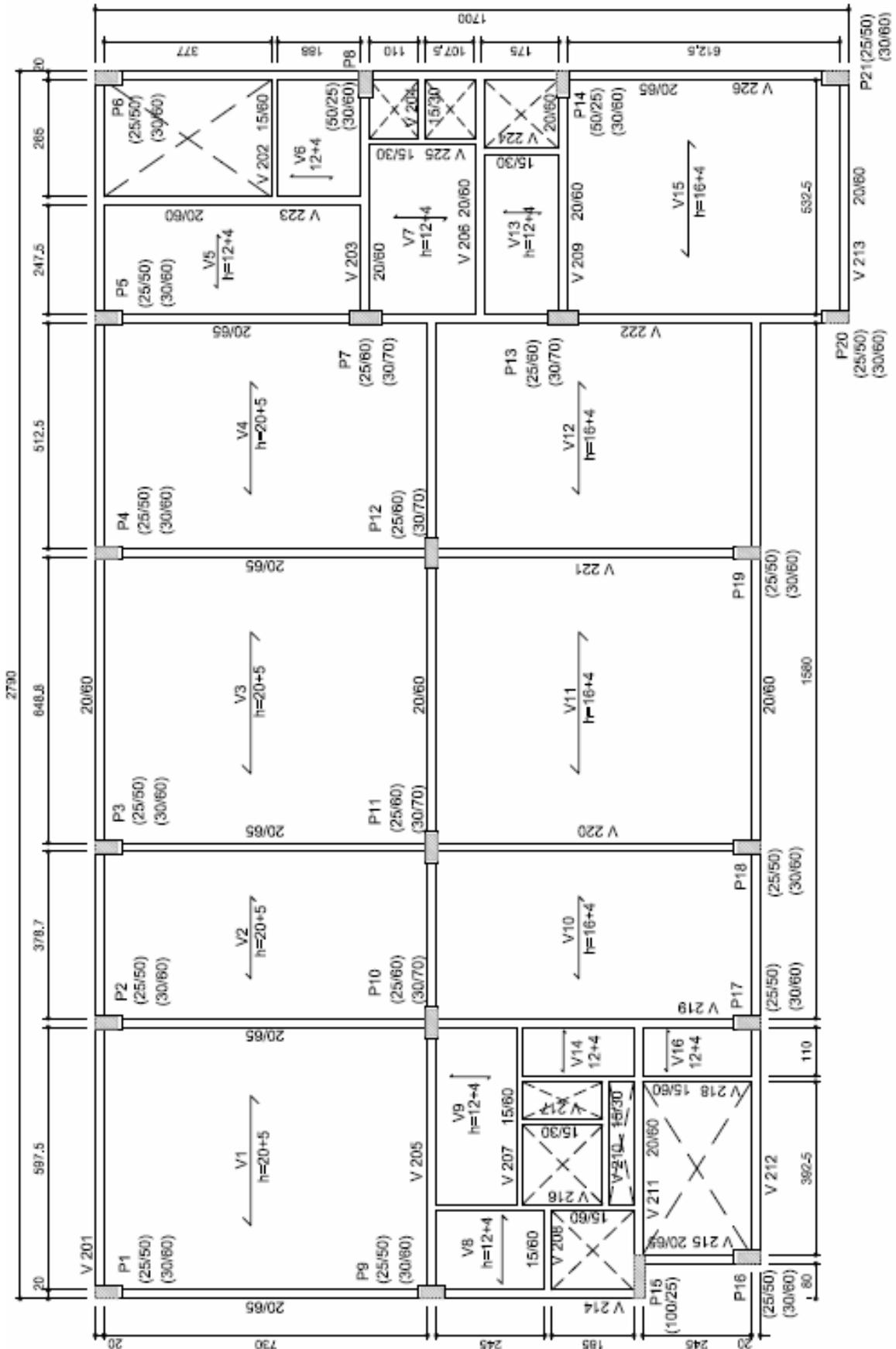


Figura 26 – Planta de formas do pavimento tipo no sistema convencional de com lajes treliçadas.

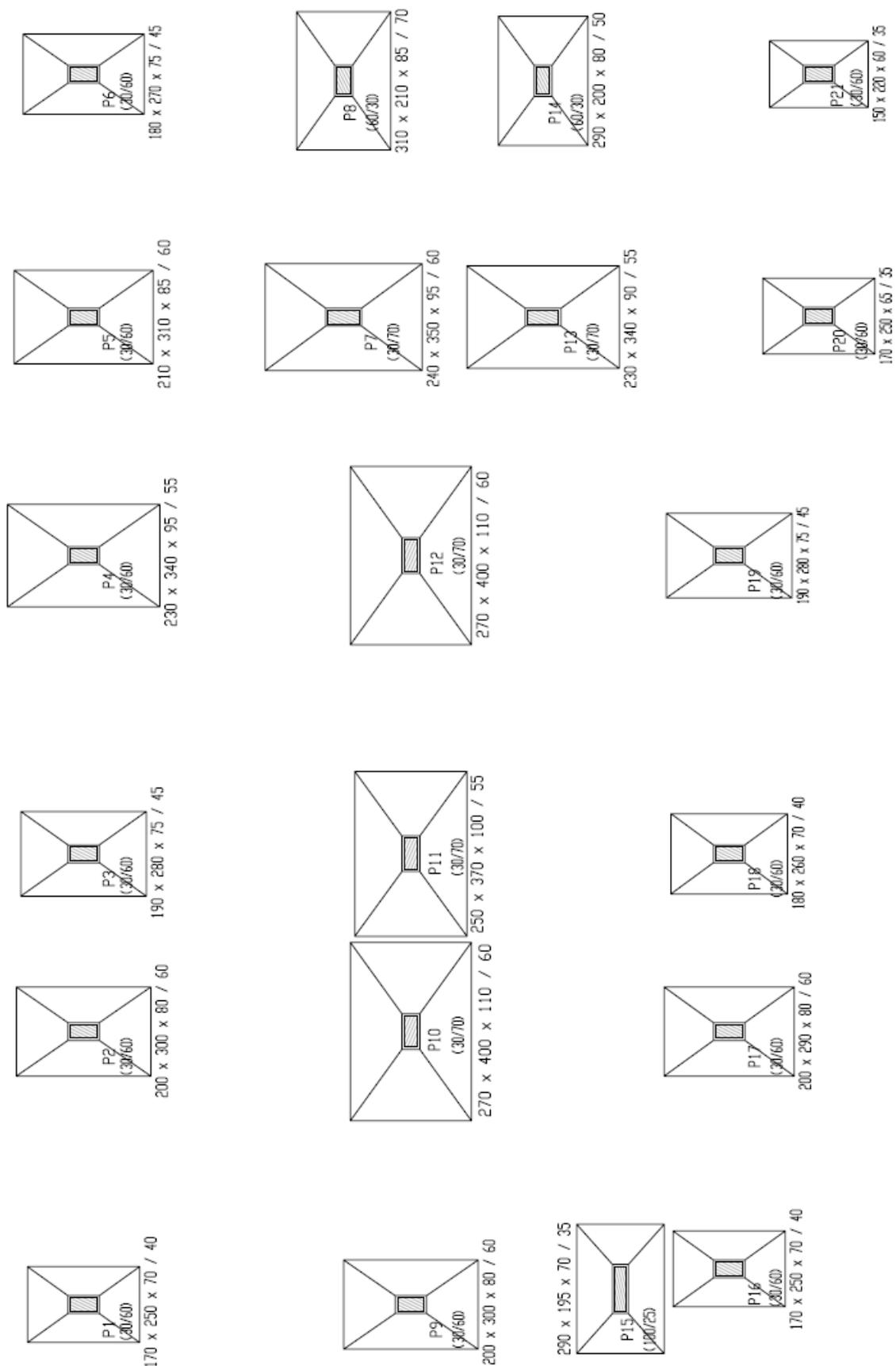


Figura 27 – Planta de formas das fundações no sistema convencional de lajes treliçadas.

4.2.2. Resultados

Tabela 5 – Consumo de materiais.

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Aço treliça	CA60			6.620,5		6.620,5
AÇO (kg)	CA50	18.961,0	9.822,0	10.891,2	3.598,5	43.272,7
	CA60	1.860,0	1.314,0	5.647,3		8.821,3
	TOTAL	20.821,0	11.136,0	16.538,5	3.598,5	52.094,0
Pré-moldados (m ²)	h=16 cm			463,32		
	h=20cm			1.276,20		
	h=25cm			1.401,66		
Volume concreto (m ³)		270,34	90,32	213,97	93,76	668,39
Área de forma (m ²)		2.417,26	961,70			3.378,96
Consumo de aço (kgf/m ³)		77,02	123,29	108,23	38,38	77,94

Tabela 6 – Blocos de enchimento.

Blocos de enchimento					
Pavimento	Tipo	Nome	Dimensões(cm)		
			hb	bx	by
Tipo	EPS Unidirecional	B12/40/120	12	40	120
	EPS Unidirecional	B16/40/120	16	40	120
	EPS Unidirecional	B20/40/120	20	40	120

Tabela 7 – Índices.

Taxa de concreto	Taxa de Aço II (Kg/m ²)	Taxa de Forma (m ² /m ²)
0,156	13,72	1,52

Tabela 8 – Deslocamentos e instabilidade.

	Direção X	Direção Y
Desloc total (cm)	1,14 (lim 1,94)	1,17 (lim 1,94)
Gama-Z	1,09	1,07

4.3. Sistema estrutural com lajes lisas nervuradas

4.3.1. Caracterização adotada para o projeto

A resistência característica do concreto adotada para esse sistema estrutural foi de $F_{ck} = 25$ MPa para toda estrutura (lajes, vigas e pilares) incluindo as fundações do edifício.

Para esse sistema adotaram-se vigas de borda em todo contorno do pavimento com a função de diminuir os momentos fletores, deslocamentos horizontais e punção nas extremidades das lajes.

Outros parâmetros tais como o tipo de aço, os diâmetros e cobrimento da armadura para esse sistema foram utilizados aqueles descritos no capítulo 2 item 3.

As composições de formas e escoramentos utilizadas para esse sistema encontram-se apresentadas nos anexos deste trabalho.

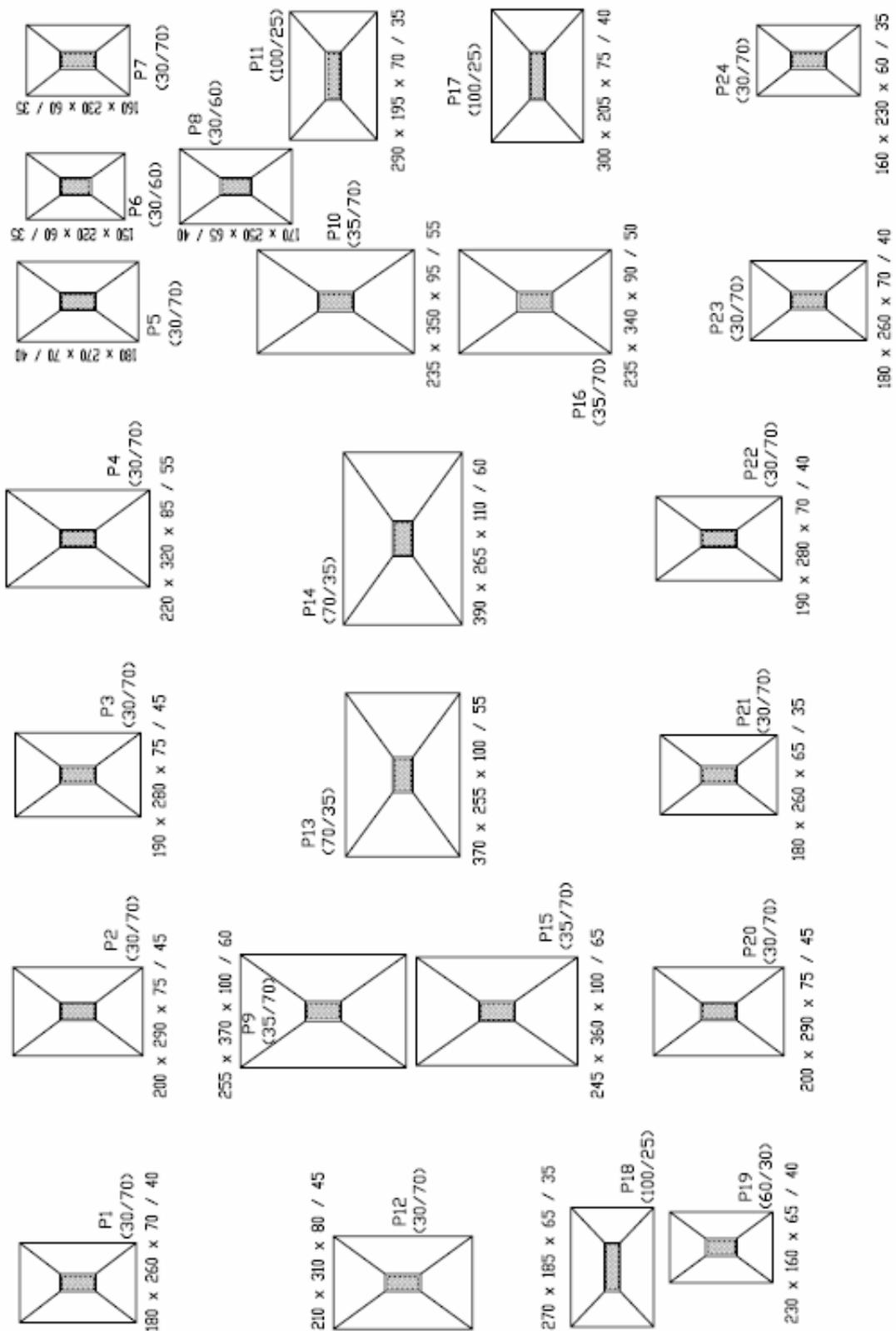


Figura 29 – Planta de formas das fundações no sistema de lajes lisas nervuradas.

4.3.2. Resultados

Tabela 9 – Consumo de materiais.

	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50 (kg)	7.307,3	7.631,0	30.227,0	3.270,0	48.435,3
CA60 (kg)	1.903,7	2.449,0			4.352,7
Peso total (kg)	9.211,0	10.080,0	30.227,0	3.270,0	52.788,0
Volume concreto (m ³)	138,2	130,0	439,0	94,7	801,8
Área de forma (m ²)	1.251,4	1.303,4	3.257,7		5.812,5
Consumo de aço (kgf/m ³)	66,7	77,5	68,9	34,5	65,8

Tabela 10 – Elemento de enchimento.

Blocos de enchimento						
Pavimento	Tipo	Nome	Dimensões(cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
Tipo	Cubeta polipropileno	A22	22	80	80	3330
	Cubeta polipropileno	A22M	22	80	40	235

Tabela 11 – Índices .

Taxa de concreto (m³/m²)	Taxa de Aço II (Kg/m²)	Taxa de Forma (m²/m²)
0,187	12,34	1,36

Tabela 12 – Deslocamentos e instabilidade.

	Direção X	Direção Y
Desloc. Max. (cm)	1,08 (lim 1,94)	1,24 (lim 1,94)
Gama-Z	1,1	1,09

5

DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS E CUSTOS

5.1. Resultados

Tabela 13 – Comparativo de materiais e índices.

SISTEMAS	Volume concreto		Peso Aço		Área formas		Taxa concreto	Consumo aço	Taxa Aço	Taxa Formas
	(m ³)	%	(kg)	%	(m ²)	%	(m ³ /m ²)	(kgf/m ³)	(Kg/m ²)	(m ² /m ²)
Estrutura convencional	905,4	100%	64.482,7	100%	7.104,13	100%	0,212	71,22	15,07	1,66
Estrutura conv. c/ lajes treliçadas	668,4	-26%	58.714,5	-9%	6.520,14	-8%	0,156	77,94	13,72	1,52
Estrutura de lajes lisas nervuradas	801,8	-11%	52.788,0	-18%	5.812,52	-18%	0,187	65,84	12,34	1,36

* Valor de Referência = 100%

Segundo França (1997) as lajes nos edifícios de vários pisos respondem por elevada parcela de consumo de concreto. No caso de lajes maciças essa parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total de concreto da estrutura.

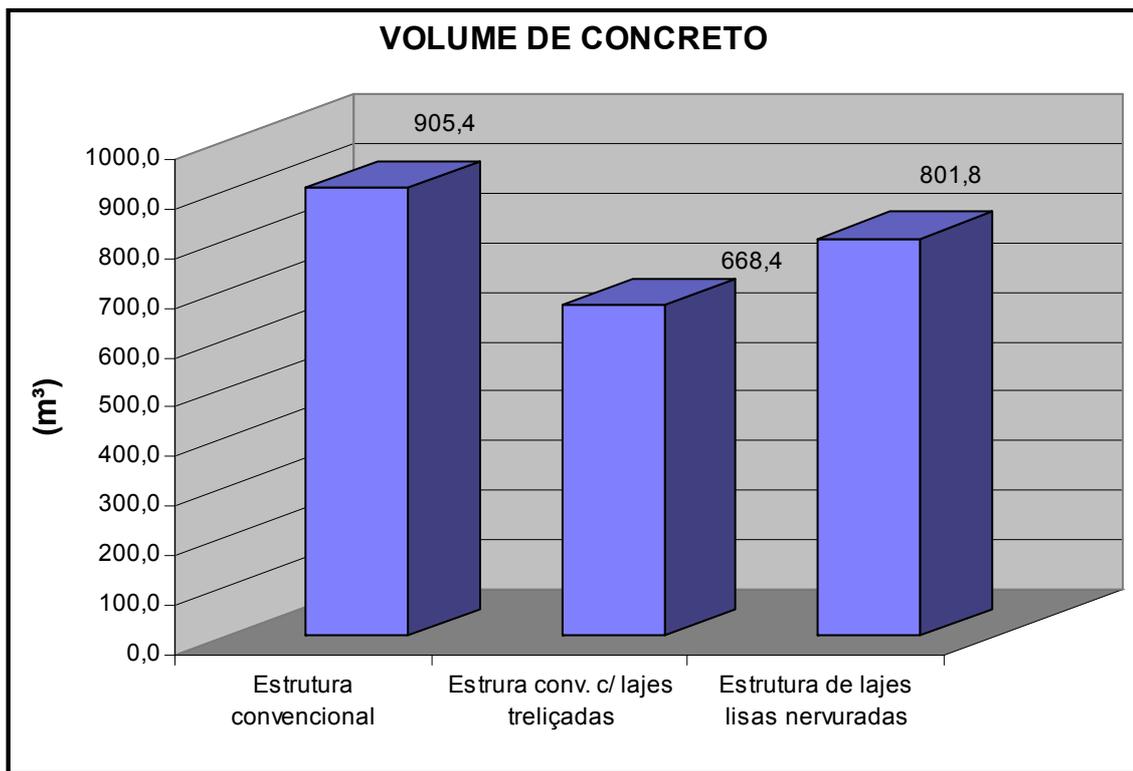


Figura 30 – Comparativo do volume de concreto entre os sistemas estruturais adotados.

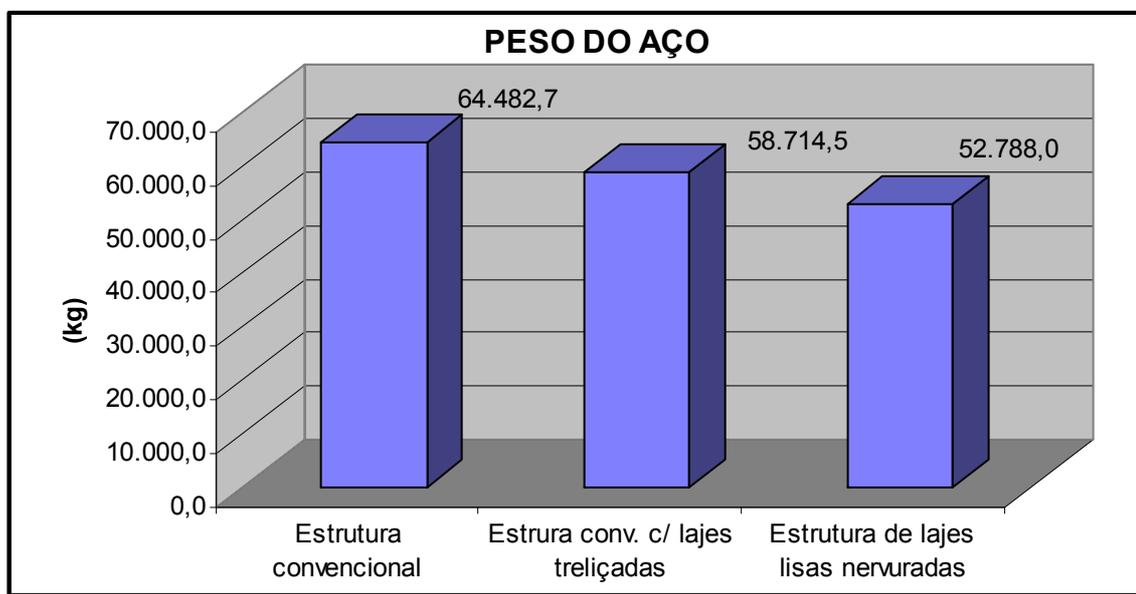


Figura 31 – Comparativo peso do aço entre os sistemas estruturais adotados.

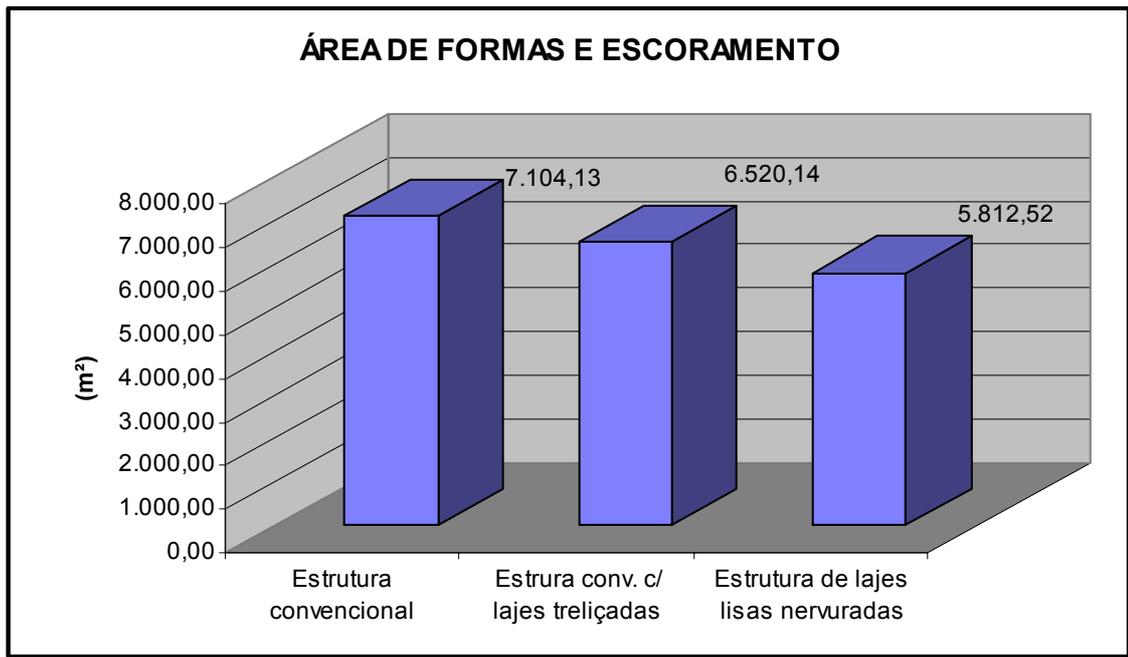


Figura 32 – Comparativo de áreas de formas entre os sistemas estruturais adotados.

5.2. Custos

5.2.1. Sistema 1 – Estrutura convencional com lajes maciças

Apresenta-se na Tabela 14 o resumo dos custos para o Sistema 1, bem como o valor total da estrutural. Na Figura 33 representa-se graficamente em percentuais os dados dessa tabela.

Tabela 14 – Resumo de custos.

	Vigas (R\$)	Pilares (R\$)	Lajes (R\$)	Fundações (R\$)	Total (R\$)	
AÇO	CA50	97.341,10	33.494,97	82.994,90	16.471,01	230.301,98
	CA60	2.853,99	7.821,25	4.623,03		15.298,27
	Total	100.195,09	41.316,21	87.617,93	16.471,01	245.600,24
CONCRETO	85.381,73	29.270,00	102.690,28	29.411,72	246.753,73	
FORMAS	86.940,04	29.608,24	135.496,22		252.044,50	
TOTAL DA ESTRUTURA					R\$ 744.398,48	

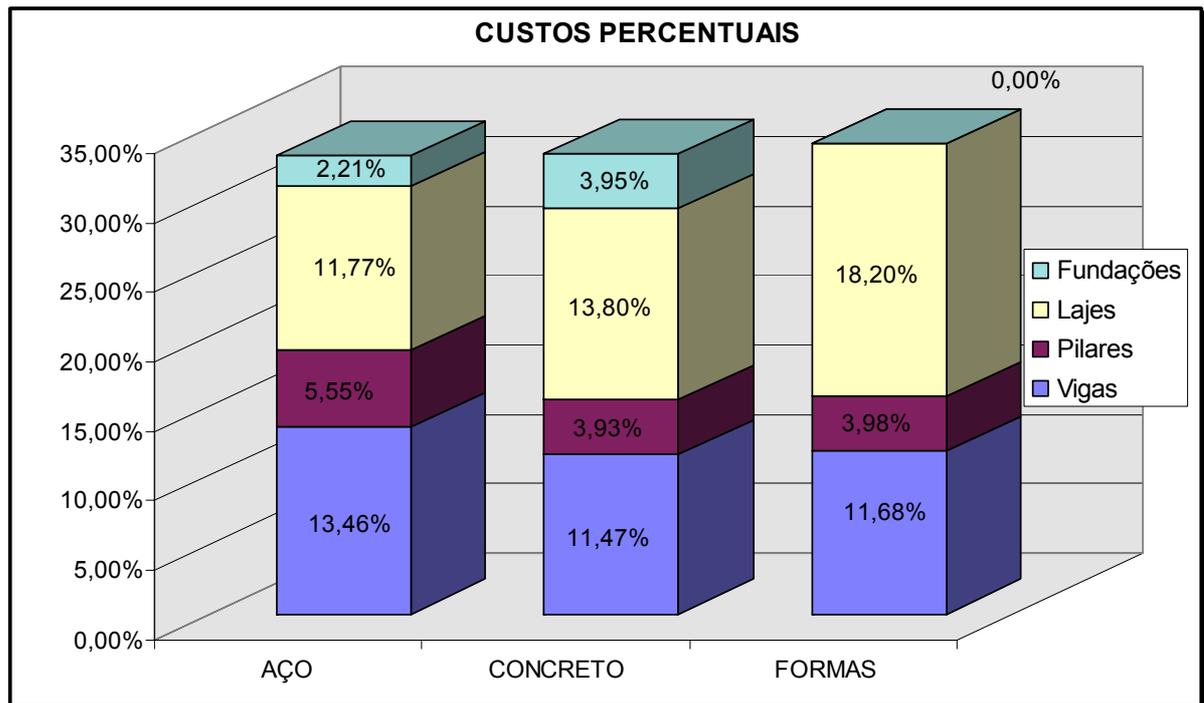


Figura 33 – Custo percentual do sistema convencional.

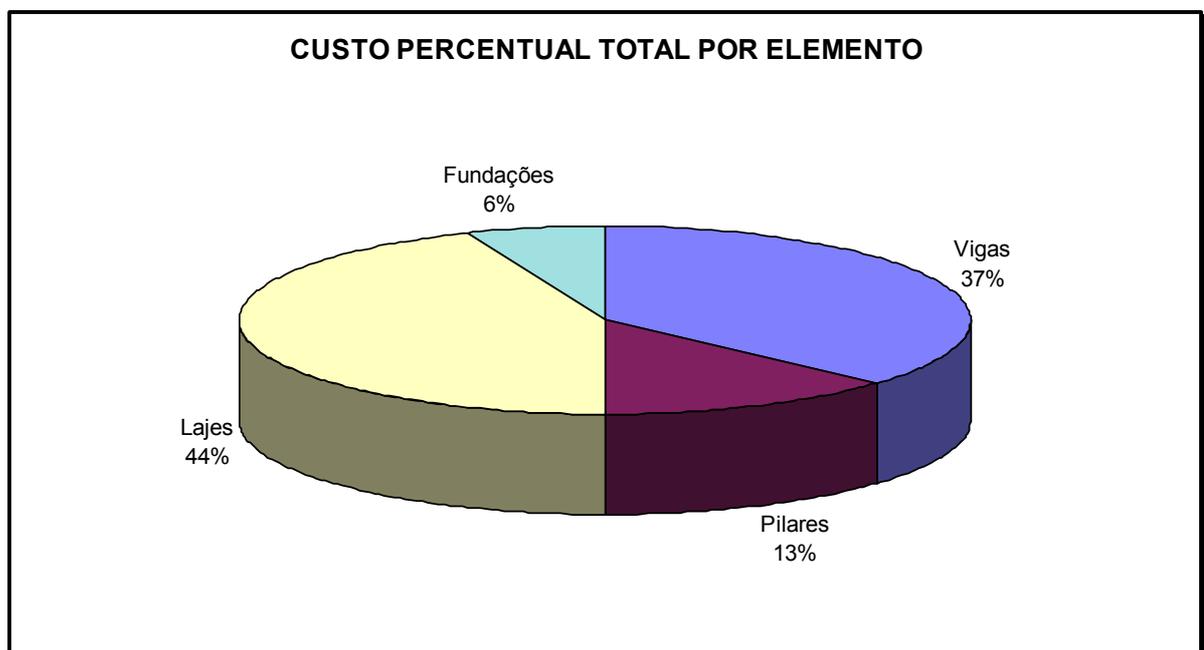


Figura 34 – Custo percentual total por elemento do sistema convencional.

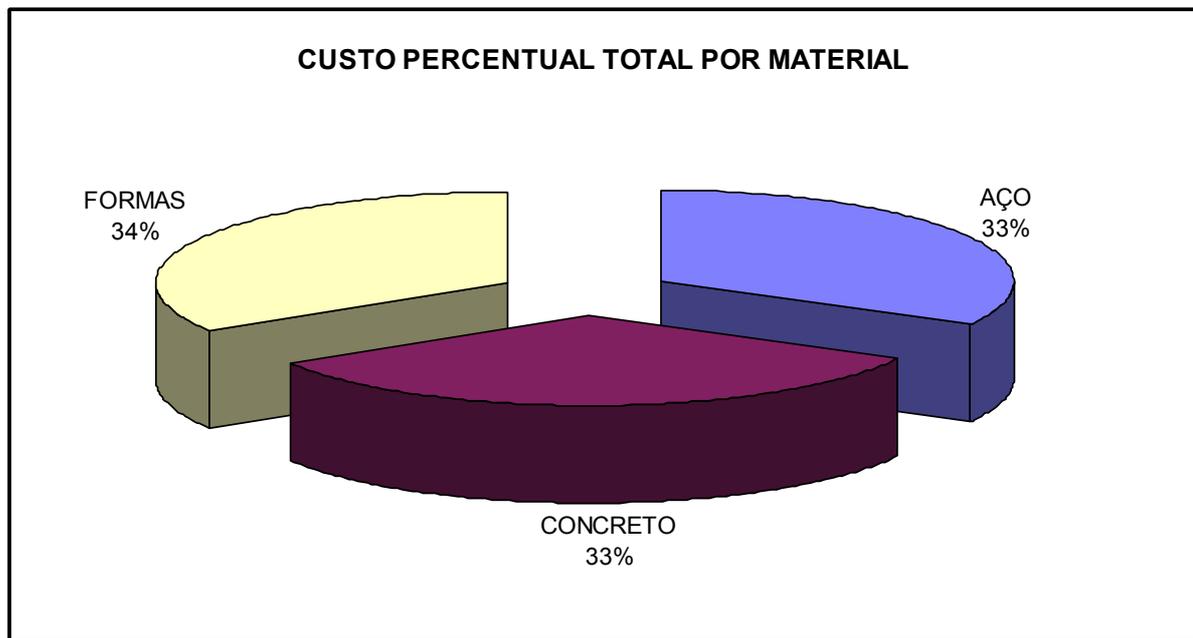


Figura 35 – Custo percentual total por material do sistema convencional.

5.2.2. Sistema 2 – Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas

Apresenta-se na Tabela 15 o resumo dos custos para o Sistema 2, bem como o valor total da estrutural. Na Figura 34 representa-se graficamente em percentuais os dados dessa tabela.

Tabela 15 – Resumo de custos.

		Vigas (R\$)	Pilares (R\$)	Lajes (R\$)	Fundações (R\$)	Total (R\$)
AÇO	CA50	73.550,83	35.428,34	39.856,87	15.148,18	
	CA60	8.104,47	5.725,41	24.606,64		
	TOTAL	81.655,30	41.153,75	64.463,51	15.148,18	202.420,74
Pré- moldados (m ²)	h=16 cm			21.455,49		21.455,49
	h=20cm			64.985,78		64.985,78
	h=25cm			83.075,69		83.075,69
CONCRETO		73.676,46	24.615,14	58.313,80	25.552,66	182.158,05
FORMAS		71.467,52	27.235,05			98.702,57
TOTAL DA ESTRUTURA						R\$ 652.798,34

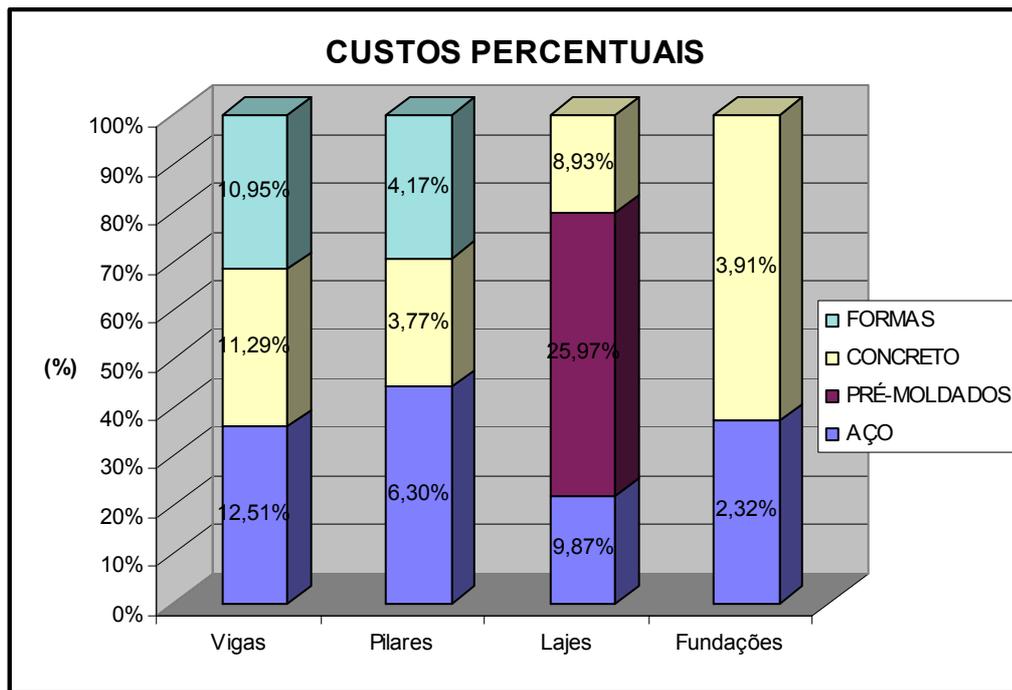


Figura 36 – Custo percentual do Sistema convencional com lajes treliçadas.

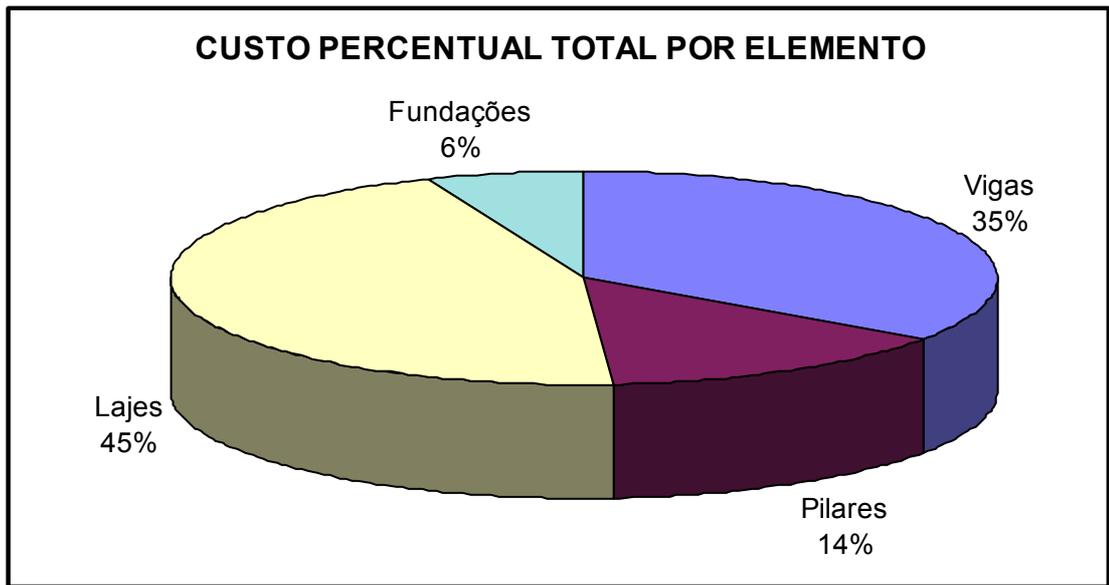


Figura 37 – Custo percentual total por elemento do sistema convencional com lajes treliçadas.

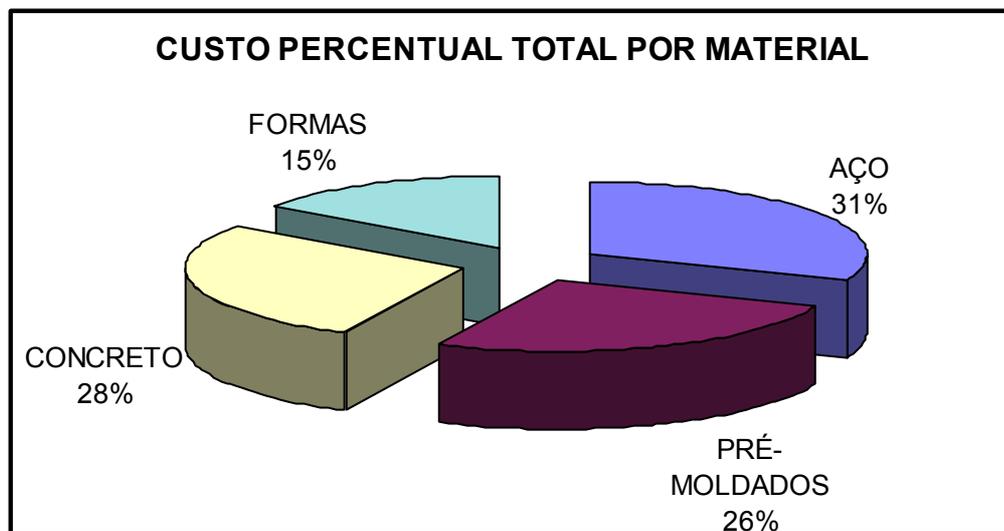


Figura 38 – Custo percentual total por material do sistema convencional com lajes treliçadas.

5.2.3. Sistema 3 – Estrutura com lajes Lisas nervuradas

Apresenta-se na Tabela 16 o resumo dos custos para o Sistema 3, bem como o valor total da estrutural. Na Figura 35 representa-se graficamente em percentuais os dados dessa tabela.

Tabela 16 – Resumo de custos.

	Vigas (R\$)	Pilares (R\$)	Lajes (R\$)	Fundações (R\$)	Total (R\$)
CA50	35.730,01	36.358,95	110.617,17	13.765,32	196.471,45
CA60	8.294,88	10.670,88			18.965,76
TOTAL AÇO	44.024,89	47.029,84	110.617,17	13.765,32	215.437,21
CONCRETO	37.653,10	35.434,69	119.628,18	25.795,21	218.511,18
FORMAS	36.998,28	36.911,89	102.076,69		175.986,86
TOTAL DA ESTRUTURA					R\$ 609.935,25

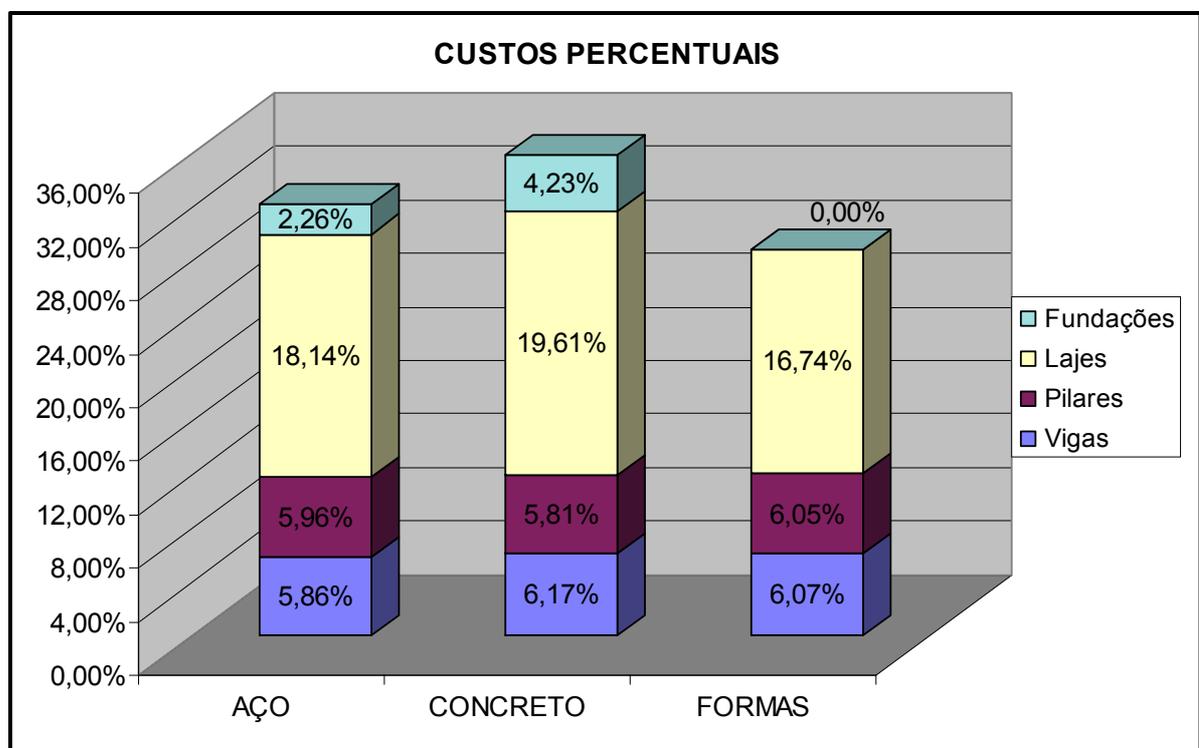


Figura 39 – Custo percentual do sistema de lajes lisas nervuradas.

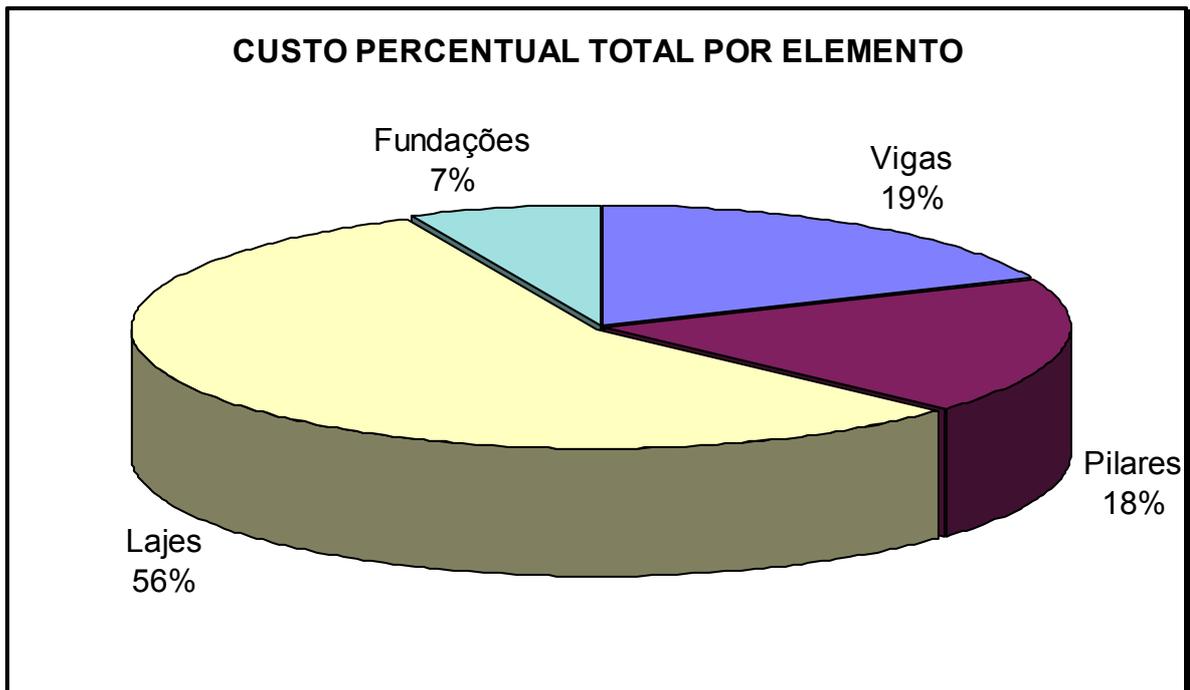


Figura 40 – Custo percentual total por elemento do sistema de lajes lisas nervuradas.

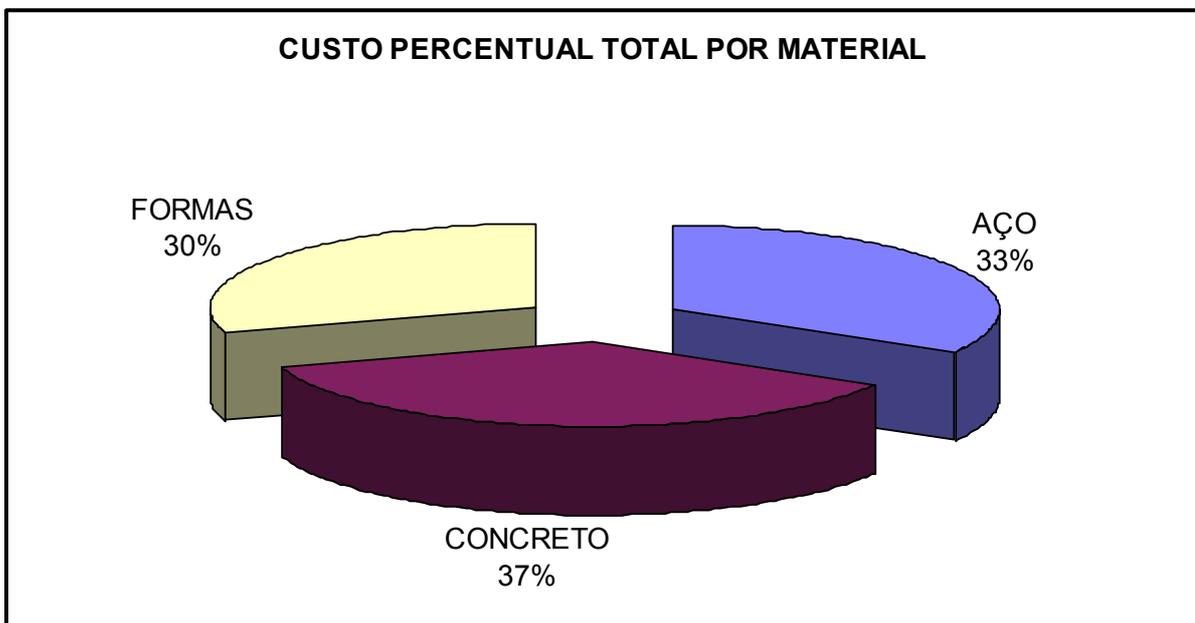


Figura 41 – Custo percentual total por material do sistema de lajes lisas nervuradas.

5.3. Custos unitários

Tabela 17 – Cálculo do custo unitário Sistema 1.

Elementos		Unidade	Índice	Unitário (R\$)	Total (R\$/m ²)
Lajes	Concreto	m ³ /m ²	0,088	272,53	24,00
Vigas		m ³ /m ²	0,073	272,53	19,96
Pilares		m ³ /m ²	0,025	272,53	6,84
Fundações		m ³ /m ²	0,025	272,53	6,87
Sub-total		m³/m²	0,212		57,68
Lajes	Aço CA60	kg/m ²	0,248	4,36	1,08
Vigas		kg/m ²	0,153	4,36	0,67
Pilares		kg/m ²	0,420	4,36	1,83
Lajes	Aço CA 50	kg/m ²	5,301	3,66	19,40
Vigas		kg/m ²	5,865	3,88	22,75
Pilares		kg/m ²	2,170	3,61	7,83
Fundações		kg/m ²	0,915	4,21	3,85
Sub-total		kg/m²	14,251		57,41
Lajes	Formas	m ² /m ²	0,729	43,46	31,67
Vigas		m ² /m ²	0,687	29,57	20,32
Pilares		m ² /m ²	0,244	28,32	6,92
Fundações		m ² /m ²	0,000	0,00	0,00
Sub-total		m²/m²	1,661		58,91
Custo Total Unitário					173,99
Custo Total PERCENTUAL Referenciado ao CUB					18,30%

Tabela 18 – Cálculo do custo unitário Sistema 2.

Elementos		Unidade	Índice	Unitário (R\$)	Total (R\$/m ²)
Lajes	Concreto	m ³ /m ²	0,050	272,53	13,63
Vigas		m ³ /m ²	0,063	272,53	17,22
Pilares		m ³ /m ²	0,021	272,53	5,75
Fundações		m ³ /m ²	0,022	272,53	5,97
Sub-total		m³/m²	0,156		42,58
Lajes	Aço CA 60	kg/m ²	1,320	4,36	5,75
Vigas		kg/m ²	0,435	4,36	1,89
Pilares		kg/m ²	0,307	4,36	1,34
Lajes	Aço CA 50	kg/m ²	2,546	3,66	9,32
Vigas		kg/m ²	4,432	3,88	17,19
Pilares		kg/m ²	2,296	3,61	8,28
Fundações		kg/m ²	0,841	4,21	3,54
Sub-total		kg/m²	10,114		47,31
<i>h=16cm</i>	pré-moldados	m ² /m ²	0,11	46,31	5,01
<i>h=20cm</i>		m ² /m ²	0,30	50,92	15,19
<i>h=25cm</i>		m ² /m ²	0,33	59,27	19,42
Sub-total		m²/m²	0,73		39,62
Vigas	Formas	m ² /m ²	0,565	29,57	16,70
Pilares		m ² /m ²	0,225	28,32	6,37
Fundações		m ² /m ²	0,000	0,00	0,00
Sub-total		m²/m²	1,524		23,07
Custo Total Unitário					152,58
Custo Total PERCENTUAL Referenciado ao CUB					16,05%

Tabela 19 – Cálculo do custo unitário Sistema 3.

Elementos		Unidade	Índice	C. unitário (R\$)	C. Total (R\$/m ²)
Lajes	Concreto	m ³ /m ²	0,103	272,53	27,96
Vigas		m ³ /m ²	0,032	272,53	8,80
Pilares		m ³ /m ²	0,030	272,53	8,28
Fundações		m ³ /m ²	0,022	272,53	6,03
Sub-total		m³/m²	0,187		51,07
Vigas	Aço CA 60	kg/m ²	0,445	4,36	1,94
Pilares		kg/m ²	0,572	4,36	2,49
Lajes	Aço CA 50 e 60	kg/m ²	7,065	3,66	25,86
Vigas		kg/m ²	2,153	3,88	8,35
Pilares		kg/m ²	2,356	3,61	8,50
Fundações		kg/m ²	0,764	4,21	3,22
Sub-total		kg/m²	12,339		50,36
Lajes	Formas	m ² /m ²	0,761	31,33	23,86
Vigas		m ² /m ²	0,292	29,57	8,65
Pilares		m ² /m ²	0,305	28,32	8,63
Fundações		m ² /m ²	0,000	0,00	0,00
Sub-total		m²/m²	1,359		41,13
Custo Total Unitário					142,56
Custo Total PERCENTUAL Referenciado ao CUB					15,00%

5.4. Comparativo de custos totais

A Tabela 20 e a Figura 36 apresentam os custos totais das alternativas consideradas.

Tabela 20 – Comparativo de custos totais em Reais (R\$).

SISTEMAS	Estrutura convencional	Estrutura conv. c/ lajes treliçadas	Estrutura de lajes lisas nervuradas
Custo total	R\$ 744.398,48	R\$ 652.798,34	R\$ 609.935,25
Custo Diferencial	R\$ 0,00	-R\$ 91.600,14	-R\$ 134.463,23
Variação %	100,0%	-12,3%	-18,1%

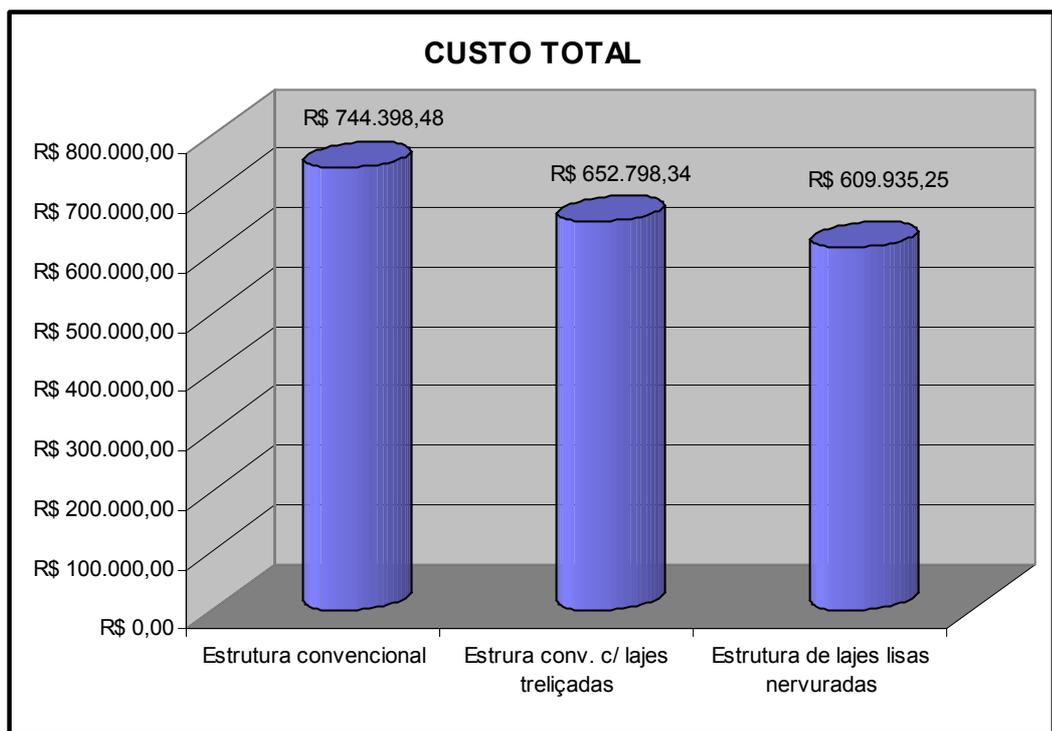


Figura 42 – Custo total dos sistemas estruturais.

5.5. Considerações complementares

5.5.1. Trabalhos publicados

Albuquerque (1997) em sua dissertação de mestrado fez um estudo comparativo entre alguns tipos de sistemas estruturais em concreto armado, onde ele descreve cada um deles.

Tomando-se com exemplo um edifício residencial com vinte pavimentos. Para cada uma das alternativas foi desenvolvido o projeto completo até as fundações. Para que o levantamento de custos de cada alternativa fosse o mais real possível, foram levados em consideração: material, mão-de-obra, recursos necessários e tempo de construção.

As alternativas adotadas pelo autor do referido trabalho são as seguintes:

- OP1: estrutura convencional com lajes maciças;
- OP2: estrutura convencional com lajes nervuradas (caixotes);
- OP3: estrutura convencional com lajes nervuradas (tijolos);
- OP4: estrutura convencional com lajes nervuradas (pré-fabricadas);
- OP5: estrutura com laje lisa nervurada (caixotes);
- OP6: estrutura com laje lisa nervurada (tijolos);
- OP7: estrutura utilizando protensão.

Tabela 21 – Comparativo de custos encontrados por Albuquerque (1997).

OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7
255.853 (+17,9%)	217.081 (1)	232.237 (+7,0%)	228.124 (+5,1%)	235.791 (+8,6%)	249.351 (+14,9%)	251.590 (+15,9%)

A produtora de caixotes de polipropileno ATEX do Brasil fez um estudo comparativo de consumo de materiais por meio da análise de cinco lajes simplesmente apoiadas, nervuradas e maciças de espessura equivalente em inércia à flexão, utilizando-se como processo de cálculo a Teoria de Placa para ambos os sistemas por meio de tabelas.

Concluiu que, em média, a utilização das lajes nervuradas como solução resulta em uma economia de 28,8% no consumo de concreto e 38,4% no consumo de aço, em comparação com a laje maciça.

Gesiel (2003) em sua dissertação de mestrado apresenta um quadro com percentuais de custos dos subsistemas em relação ao custo total de uma edificação. Esses valores foram sugeridos por diversos autores como mostra a Tabela 22.

Tabela 22 – Valores apresentados por Gesiel (2003).

Subsistema	Goldman (1997)	Fiker (2001)	PINI (2003) Prédio com elevador	PINI (2003) prédio médio sem elevador
Estrutura	14 a 19 %	20 %	26 a 32 %	28 a 35 %
Paredes	3,3 a 6,5 %	7 %	2,5 a 3,5 %	6 a 12 %
Revestimentos	8,5 a 14 %	12 %	13,5 a 17,5 %	22 a 28 %

6 ■ CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os custos de um sistema estrutural são quantificados levando-se em conta alguns critérios, tais como: consumo de materiais, mão de obra, tempo de execução, entre outros.

Sabe-se ainda que para se obter uma avaliação mais completa dos valores totais de uma obra, é preciso considerar as peculiaridades de cada sistema, bem como suas implicações no processo construtivo global. Como é o caso, por exemplo, das interferências das instalações na estrutura da edificação, das alvenarias, dos tipos de revestimentos e forros, etc.

Então, se cada sistema tem características próprias, com indicações de uso, constata-se que não são apenas os custos de materiais que determinam a escolha de um modelo em detrimento de outro. Deve-se, portanto, analisar com atenção as situações que possam interferir e até mesmo inviabilizar a utilização de um sistema estrutural.

Nas regiões menos desenvolvidas, por exemplo, onde a mão de obra é pouco qualificada e os sistemas convencionais são utilizados há muitos anos, corre-se o risco de encontrar resistência por parte dos operários, seja por falta de conhecimento ou simplesmente por dificuldade de aceitação de novas tecnologias.

Ou ainda nos casos em que os recursos financeiros são limitados ao prazo de execução mais longo, o que aumenta consideravelmente os custos com locação de equipamentos de formas.

Constata-se que a solução estrutural convencional com lajes treliçadas apresenta o menor consumo de concreto. Em contrapartida essa alternativa revela um maior consumo de aço por metro cúbico.

No decorrer do trabalho verifica-se que o sistema estrutural de lajes lisas nervuradas é o que apresenta o menor consumo (kg/m^3) e taxa (kg/m^2) de aço dentre os sistemas analisados.

A partir disso, conclui-se que o custo das lajes, comparando-se com outros elementos, como pilares, vigas e fundações, foi o maior em todos os sistemas, como evidenciam os gráficos representados nas Figuras 34, 37 e 40. No sistema de lajes lisas nervuradas este índice representa 56% do custo total da estrutura. Para os sistemas convencionais, com lajes maciças e treliçadas, não houve grandes variações representando percentuais de 44% e 45%, respectivamente.

Na seqüência observa-se que os custos dos pilares não apresentaram variações significativas entre os sistemas. Os valores percentuais encontrados foram de 13%, 14% e 18% para as três alternativas, respectivamente.

Percebe-se que em todos os sistemas o custo total da fundação, variou entre 6% e 7%, ficando ligeiramente maior para a alternativa estrutural com lajes lisas nervuradas.

No entanto a alternativa que apresentou maior custo total foi o sistema estrutural convencional, com índice unitário de 18,3% do valor total da edificação, referenciado ao CUB de fevereiro de 2008. Isso porque essa opção necessita de formas mais recortadas e com grande número de vigas altas, o que dificulta a execução das mesmas. Além disso a quantidade de aço e concreto são superiores aos outros sistemas em análise.

Vale lembrar que com a utilização dos dois *softwares* pode-se verificar com maior precisão os dados aqui colocados, uma vez que os mesmos apresentaram quantitativos muito semelhantes para todos os sistemas estruturais.

Conclui-se, que o sistema estrutural que apresentou menor custo final foi o de lajes lisas nervuradas, apresentando uma redução de 18,1% em relação ao sistema convencional de lajes maciças. Cabe ressaltar que essa alternativa também flexibiliza o *layout* dos pavimentos devido a ausência de vigas altas no interior dos mesmos.

Vale salientar que a escolha de um sistema estrutural depende de um grande número de variáveis, algumas delas não contempladas neste trabalho. Este estudo não tem a intenção de apresentar resultados válidos para todos os tipos de obras, mas serve como parâmetro para auxiliar na escolha de uma tipologia estrutural, visto que os resultados apresentados valem como estimativa de valores para obras com as mesmas peculiaridades.

Por último sugerem-se como temas de estudos para futuros trabalhos alguns assuntos relacionados com a abordagem adotada;

- quantificação do tempo de execução e prazos finais da obra e das etapas envolvidas;
- análise comparativa para um ou mais sistemas estruturais com variação da quantidade de pavimentos de uma edificação;
- ampliação deste trabalho com a inclusão de outros sistemas estruturais como a utilização da protensão, estruturas pré-moldadas e estruturas em aço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBUQUERQUE, A.T.; PINHEIRO L.M. (2002). **Viabilidade econômica de alternativas de estruturas de concreto armado para edifícios**. São Carlos.
- [2] ALBUQUERQUE, A.T. (1998). **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos, 1998. 97p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [3] ALONSO, Urbano Rodriguez. **Dimensionamento de Fundações Profundas**. 1988. Editora Blücher LTDA, São Paulo. 169p.
- [4] ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das Fundações**. 1991. Editora Blücher LTDA, São Paulo. 142p.
- [5] ARAUJO, José Milton. **Curso de Concreto Armado**. 2003. Rio Grande: editora dunas.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 – Projeto de estrutura de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2003. 221p.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980. 5p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122 – Projeto e estruturas de fundações**. Rio de Janeiro, 1986. 62p.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988. 66p.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721 – Avaliação de Custos Unitários para Incorporação de Edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1999. 63p.

-
- [11]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revisão da NBR 12721/1999 – Avaliação de Custos Unitários para Incorporação de Edifícios – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003. 98p.
- [12]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859 – 1: Laje préfabricada – Requisitos – Parte 1: Lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro. 2002.
- [13]ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859 – 2: Laje préfabricada – Requisitos – Parte 2: Lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro, 2002.
- [14]ATEX Brasil. **Encarte técnico**. Lagoa Santa (MG), 2002.
- [15]BARBIRATO, C.B.C. (1996). **Contribuições a análise de pavimento de edifício em laja nervurada**. São Carlos, 1997. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- [16]BOCCHI JÚNIOR, C. F. (1995). **Lajes nervuradas de concreto armado**. 183p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- [17]CICOLIN, Luiz Antonio Betin. **Estabilidade em edifícios de concreto armado com pavimentos em lajes planas**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- [18]CINTRA, José Carlos e AOKI, Nelson (1999). **Cargas Admissíveis em Fundações**. São Carlos; EESC-USP, 61p.
- [19]DIAS, R. H. (2003). **Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

-
- [20]DIAS, R.H. (2004) **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>. Acesso em: janeiro/2005.
- [21]DROPPA JÚNIOR, A (1999). **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada**. São Carlos. 177p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [22]DUTRA, Clairson (2005). **Análise teórica e experimental de lajes cogumelo nervuradas em escala reduzida**. Santa Maria. 194p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- [23]FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B (1997). **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo, AFALA & ABRAPEX.
- [24]FUSCO, P.B. (1981). **Estruturas de concreto: solicitações normais**. Rio de Janeiro, Guanabara Dois.
- [25]FUSCO, P.B. (1994). **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. São Paulo, Pini.
- [26]KLEIN, D.L.; SELISTRE, S.L.C. (1997). **Análise numérico-experimental de lajes nervuradas submetidas a cargas uniformemente distribuídas**. In: Jornadas Sul-Americanas de engenharia estrutural, 28, São Carlos. Estruturas e Fundações. São Carlos, EESCUSP/ASAE, v. 1, p. 249-258.
- [27]LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. (1977). **Construções de concreto**. Rio de Janeiro, Interciência. v.1-4.
- [28]MONTROYA, J.; MESENGUER, A.G.; CABRE, F. M. (1973). **Hormigon Armado**. Editorial Gustavo Gili, S.A. Barcelona.

-
- [29] MUNIZ, C.E. (1991). **Mais competitivas: lajes treliçadas**. Revista IBRACON, v.1, n.1, p.19-21, julho, agosto.
- [30] RETICULEX, Sistemas Estruturais. **Encarte técnico**, Porto Alegre/RS, 2000.
- [31] SANTOS, Débora de Góis (2000). **Análise Construtiva dos Tipos de Lajes Utilizadas nos Sistemas Estruturais das Edificações de Florianópolis**. Florianópolis, 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [32] SILVA, Geziel da (2003). **Sistemas construtivos em concreto armado e em alvenaria estrutural: uma análise comparativa de custos**. Santa Maria. 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- [33] SILVA, M.A.F. (2005). **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- [34] SUSSEKIND, J. C. (1993). **Curso de concreto: concreto armado**. São Paulo, Globo. 2v.
- [35] TCPO: **Tabelas de composições de preços para orçamentos** – 12.ed. – São Paulo: Pini, 2003. 512p.
- [36] TESORO, F. R. (1991). **Los forjados reticulados: manual practico**. Espanha: Editora Cype Ingenieros.
- [37] TIMOSHENKO, S. P.; WOINOWSKY-KRIEGER, S. (1959). **Theory of plates and shells**. New York: McGraw – Hill Kogakusha, Ltda.

ANEXOS

ANEXOS A

COMPOSIÇÕES UTILIZADAS

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
1.0 ARMADURAS					
1.1	Armadura PILARES CA-50 (corte/dobra na obra)	kg			
	aco CA-50 12,5 mm	kg	1,10	R\$ 2,89	R\$ 3,18
	arame recozido n.18	kg	0,02	R\$ 5,20	R\$ 0,10
	armador	h	0,06	R\$ 5,23	R\$ 0,32
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 3,61
1.2	Armadura VIGAS CA-50 (corte/dobra na obra)	Kg			
	aco CA-50 10,0 mm	kg	1,10	R\$ 2,99	R\$ 3,29
	arame recozido n.18	kg	0,02	R\$ 5,20	R\$ 0,10
	armador	h	0,09	R\$ 5,23	R\$ 0,49
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 3,88
1.3	Armadura LAJES CA-50 (corte/dobra na obra)	Kg			
	aco CA-50 8,0 mm	kg	1,10	R\$ 2,99	R\$ 3,29
	arame recozido n.18	kg	0,02	R\$ 5,20	R\$ 0,10
	armador	h	0,05	R\$ 5,23	R\$ 0,27
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 3,66
1.4	ARMADURA em geral CA-60 (corte/dobra na obra)	Kg			
	aco CA-50 5,0 e 6,0 mm	kg	1,10	R\$ 3,31	R\$ 3,64
	arame recozido n.18	kg	0,02	R\$ 5,20	R\$ 0,10
	armador	h	0,07	R\$ 5,23	R\$ 0,37
	ajudante de armador	h	0,07	R\$ 3,52	R\$ 0,25
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 4,36
1.5	ARMADURA em geral CA-50 (corte/dobra na obra)	Kg			
	aco CA - 50A 12,5 a 25,0 mm	kg	1,10	R\$ 2,89	R\$ 3,18
	arame recozido n. 18	kg	0,03	R\$ 5,20	R\$ 0,16
	armador	h	0,10	R\$ 5,23	R\$ 0,52
	ajudante de armador	h	0,10	R\$ 3,52	R\$ 0,35
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 4,21

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
2.0	FORMAS				
2.1	FORMA C/CHAPA COMPENSADA PLASTIFICADA UTIL. 5x	m ²			
	chapa de madeira compensada plastificada de 12 mm	m ²	0,26	18,60	R\$ 4,84
	tabua de pinho de terc. de 1 x 12" (reforco estrado de laje)	m	1,17	9,61	R\$ 11,24
	sarrafo de pinho de 10 x 2,5 cm (engravatamento)	m	1,53	4,00	R\$ 6,12
	pontaete de pinho 3 x 3`` (escoramento)	m	1,20	7,82	R\$ 9,38
	prego 18 x 27	kg	0,25	3,54	R\$ 0,89
	desmoldante de formas para concreto	l	0,06	8,90	R\$ 0,53
	carpinteiro	h	1,20	5,19	R\$ 6,23
	ajudante	h	1,20	3,52	R\$ 4,22
	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 43,46
2.2	FORMA PILAR UTILIZACAO 5x (montagem e desmontagem)	m ²			
	chapa de madeira compensada plastificada de 12 mm	2	0,24	18,60	R\$ 4,46
	madeira	m ³	0,0128	1.250,00	R\$ 16,00
	prego 18 x 27	kg	0,25	3,54	R\$ 0,89
	desmoldante de formas para concreto	l	0,06	8,90	R\$ 0,53
	carpinteiro	h	1,24	5,19	R\$ 6,44
	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 28,32
2.3	FORMA VIGAS UTILIZACAO 5x (montagem e desmontagem)	m ²			
	chapa de madeira compensada plastificada de 12 mm	m ²	0,24	18,60	R\$ 4,46
	madeira	m ³	0,0128	1.250,00	R\$ 16,00
	prego 18 x 27	kg	0,25	3,54	R\$ 0,89
	desmoldante de formas para concreto	l	0,06	8,90	R\$ 0,53
	carpinteiro	h	1,48	5,19	R\$ 7,68
	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 29,57
2.4	FORMA LAJE NERVURADA UTILIZAÇÃO 10x	m ²			
	locação escoramento metálico e enchimento cubeta de polipropileno	m ²	1,00	18,90	R\$ 18,90
	chapa de madeira compensada plastificada de 18 mm	m ²	0,18	26,21	R\$ 4,72
	prego 18 x 27	kg	0,01	3,54	R\$ 0,04
	desmoldante de formas para concreto	l	0,08	8,90	R\$ 0,71
	carpinteiro	h	0,80	5,19	R\$ 4,15
	ajudante	h	0,80	3,52	R\$ 2,82
	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 31,33

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
3.0 CONCRETO					
3.1	CONCRETO DOSADO EM CENTRAL Fck 25 Mpa	m³	1,05	R\$ 245,00	R\$ 257,25
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 257,25
3.2	TRANSPORTE, LANÇAMENTO, ADENÇAMENTO E ACABAMENTO	m³			
	pedreiro	h	1,62	R\$ 5,17	R\$ 8,38
	servente	h	1,62	R\$ 3,52	R\$ 5,70
	vibrador de imersão	h	0,10	R\$ 12,00	R\$ 1,20
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 15,28
4.0 LAJE PRÉ-TRELIÇADA					
4.1	LAJE PRÉ-FABR.TREL.P/PISO/COB.INTEREIXO 49 cm CAP.5 cm H.25 cm	m²			
	vigota pre-fabricada treliça TR20745	m²	2,04	R\$ 11,28	R\$ 23,02
	enchimento EPS 40x120x20 cm	m³	0,1616	R\$ 120,00	R\$ 19,39
	tabua de pinho de terc. 1 x 12``	m	0,33	R\$ 9,61	R\$ 3,17
	pontalete de pinho de terc. 3 x 3``	m	1,01	R\$ 7,82	R\$ 7,90
	sarrafo de pinho de terc. 1 x 4``	m	0,74	R\$ 4,00	R\$ 2,96
	prego 19 x 33	kg	0,02	R\$ 3,54	R\$ 0,07
	armador	h	0,1	R\$ 5,23	R\$ 0,52
	carpinteiro	h	0,43	R\$ 5,19	R\$ 2,23
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 59,27
4.2	LAJE PRÉ-FABR.TREL.P/PISO/COB.INTEREIXO 49 cm CAP.4 cm H.20 cm	m²			
	Vigota pre-fabricada treliça TR16745	m	2,04	R\$ 9,09	R\$ 18,55
	Enchimento EPS 16x40x120 cm	m³	0,12928	R\$ 120,00	R\$ 15,51
	tabua de pinho de terc. 1 x 12``	m	0,33	R\$ 9,61	R\$ 3,17
	pontalete de pinho de terc. 3 x 3``	m	1,01	R\$ 7,82	R\$ 7,90
	sarrafo de pinho de terc. 1 x 4``	m	0,74	R\$ 4,00	R\$ 2,96
	prego 19 x 33	kg	0,02	R\$ 3,54	R\$ 0,07
	armador	h	0,1	R\$ 5,23	R\$ 0,52
	carpinteiro	h	0,43	R\$ 5,19	R\$ 2,23
CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO					R\$ 50,92

ITEM	DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS	UN	QUANT	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
4.3	LAJE PRE-FABR.TREL.P/PISO/COB.INTEREIXO 49cm CAP.4cm H.16cm	m ²			
	Vigota pre-fabricada treliça TR12645	m	2,04	R\$ 8,73	R\$ 17,82
	Enchimento EPS 12x40x120cm	m ³	0,09696	R\$ 120,00	R\$ 11,64
	tabua de pinho de terc. 1 x 12``	m	0,33	R\$ 9,61	R\$ 3,17
	pontaleta de pinho de terc. 3 x 3``	m	1,01	R\$ 7,82	R\$ 7,90
	sarrafo de pinho de terc. 1 x 4``	m	0,74	R\$ 4,00	R\$ 2,96
	prego 19 x 33	kg	0,02	R\$ 3,54	R\$ 0,07
	armador	h	0,1	R\$ 5,23	R\$ 0,52
	carpinteiro	h	0,43	R\$ 5,19	R\$ 2,23
	CUSTO UNITÁRIO DO SERVIÇO				R\$ 46,31

ANEXOS B

VALORES E INSUMOS UTILIZADOS

DESCRIÇÃO DOS INSUMOS	UN	VALOR UNITÁRIO	FONTE
aco CA-50A Ø 6,3 a 10 mm	kg	R\$ 2,99	sinduscon/fev-08
arame recozido n.18	kg	R\$ 5,20	belgo/fev-08
aco CA - 50A 12,5 a 25,0 mm	kg	R\$ 2,89	sinduscon/fev-08
aco CA - 60 de 3,4 a 6,0 mm	kg	R\$ 3,31	belgo/fev-08
chapa de madeira compensada plastificada de 12 mm	m ²	R\$ 18,60	M.local/fev-08
chapa de madeira compensada plastificada de 18 mm	m ²	R\$ 26,21	sinduscon/fev-08
concreto dosado em central Fck 25 Mpa	m ³	R\$ 245,00	M.local/fev-08
desmoldante de formas para concreto	l	R\$ 8,90	M.local/fev-08
enchimento EPS 20x40x120 cm	m ³	R\$ 120,00	M.local/fev-08
locação escoramento metálico e enchimento cubeta de polipropileno	m ²	R\$ 18,90	reticulex
madeira	m ³	R\$ 1.250,00	M.local/fev-08
prego 18 x 27	kg	R\$ 3,54	belgo/fev-08
prego 19 x 33	kg	R\$ 3,54	belgo/fev-08
pontalete de pinho 3 x 3`` (escoramento)	m	R\$ 7,82	M.local/fev-08
sarrafo de pinho de 10 x 2,5 cm (engravatamento)	m	R\$ 4,00	M.local/fev-08
sarrafo de pinho de terc. 1 x 4``	m	R\$ 4,00	M.local/fev-08
tabua de pinho de terc. de 1 x 12" (reforco estrado de laje)	m	R\$ 9,61	M.local/fev-08
vigota pre-fabricada treliça TR20745	m	R\$ 11,28	M.local/fev-08
vigota pre-fabricada treliça TR16745	m	R\$ 9,09	M.local/fev-08
vigota pre-fabricada treliça TR12645	m	R\$ 8,73	M.local/fev-08

ANEXOS C
RELATÓRIOS DE CÁLCULO

a) Estrutura convencional

RELATÓRIO DE DADOS DA OBRA**Dados gerais da estrutura**

Projeto: cópia do vs-cv-03 e vigas h=70
vs-cv-04 - Valdi H. Spohr

Chave: vs-cv-01

Dados geométricos de grupos e pisos

Grupo	Nome do grupo	Piso	Nome piso	Altura	Cota
4	Cobertura	10	Cobertura	3,50	31,50
3	Pisos 6 até 9	9	9º Pavimento	3,50	28,00
		8	8º Pavimento	3,50	24,50
		7	7º Pavimento	3,50	21,00
		6	6º Pavimento	3,50	17,50
2	Pisos 2 até 5	5	5º Pavimento	3,50	14,00
		4	4º Pavimento	3,50	10,50
		3	3º Pavimento	3,50	7,00
		2	2º Pavimento	3,50	3,50
1	Térreo	1	Térreo	1,50	0,00
0	Fundação				-1,50

QUANTIDADES DA OBRA

Térreo - Superfície total: 47,26 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Vigas: fundo	42,73	27,06	1208
forma lateral	241,31		
Pilares (Sup. Formas)	11,20	1,26	847
Total	295,24	28,32	2055
Índices (por m ²)	6,247	0,599	43,48

Pisos 2 até 5 - Superfície total: 393,26 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 346,31	4 x 41,85	4 x 2762
Vigas: fundo	4 x 42,42	4 x 31,80	4 x 2927
forma lateral	4 x 250,98		
Pilares (Sup. Formas)			
5º Pavimento	119,40	12,73	1179
4º Pavimento	119,40	12,73	1148
3º Pavimento	119,40	12,73	1428
2º Pavimento	146,60	15,55	2625
Total	3063,64	348,34	29136
Índices (por m ²)	1,948	0,221	18,52

Pisos 6 até 9 - Superfície total: 393,22 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 346,56	4 x 41,88	4 x 2567
Vigas: fundo	4 x 42,89	4 x 31,80	4 x 2637
forma lateral	4 x 253,70		
Pilares (Sup. Formas)			
9º Pavimento	105,90	10,48	711
8º Pavimento	105,90	10,48	711
7º Pavimento	105,90	10,48	758
6º Pavimento	105,90	10,48	932
Total	2996,20	336,64	23928
Índices (por m ²)	1,905	0,214	15,21

Cobertura - Superfície total: 393,22 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	346,56	41,88	2424
Vigas: fundo	42,89	31,83	2285
forma lateral	253,70		
Pilares (Sup. Formas)	105,90	10,48	644
Total	749,05	84,19	5353
Índices (por m ²)	1,905	0,214	13,61

Total obra - Superfície total: 3586,40 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	3118,04	376,80	23740
Vigas: fundo	426,86	313,29	25749
forma lateral	2513,73		
Pilares (Sup. Formas)	1045,50	107,40	10983
Total	7104,13	797,49	60472
Índices (por m ²)	1,981	0,222	16,86

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL

Para a análise da estabilidade global levou-se em consideração que os deslocamentos reais da estrutura são aqueles considerados no cálculo, multiplicados por:

Vento +X	1.59
Vento -X	1.59
Vento +Y	1.59
Vento -Y	1.59

Número de hipóteses de ação vertical: 2

Número de hipóteses de ação horizontal: 4

O momento de reviramento produzido pelas ações horizontais nas diferentes hipóteses é:

	tf-m
Vento +X	1108.112
Vento -X	1108.112
Vento +Y	1466.619
Vento -Y	1466.619

O momento por efeito P-delta produzido pelas diferentes hipóteses de carga vertical, sob a atuação simultânea das hipóteses de ações horizontais é:

	Permanente tf·m	Sobrecarga tf·m
Vento +X	41.886	8.244
Vento -X	41.886	8.244
Vento +Y	55.452	10.915
Vento -Y	55.452	10.915

As ações horizontais são incrementadas pela atuação simultânea das ações verticais segundo os seguintes fatores de amplificação (FA):

	Permanente	Sobrecarga
Vento +X	0.038	0.007
Vento -X	0.038	0.007
Vento +Y	0.038	0.007
Vento -Y	0.038	0.007

Quando em uma combinação atua uma ação horizontal com um coeficiente de majoração F_v e várias ações verticais com coeficientes de majoração $F_{g1}...F_{gn}$, o coeficiente de majoração da ação horizontal será:

$$F_v \text{ (estabilidade global)} = F_v \cdot \frac{1}{1 - (F_{g1} \cdot FA_1 + \dots + F_{gn} \cdot FA_n)}$$

As relações máximas entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes de majoração sem amplificar, para as diferentes hipóteses de ação horizontal são:

Vento +X	1.068
Vento -X	1.068
Vento +Y	1.068
Vento -Y	1.068

RELATÓRIO DE FUNDAÇÃO

Elemento	CA-50-A (kg)					CA-60-B (kg)	Concreto (m³)	
	Ø10	Ø12.5	Ø16	Ø20	Total	Ø4.2	C25, Controle normal	Limpeza
Referência: P1	1,66	87,87			89,53	0,61	3,01	0,26
Referência: P2			25,43	180,02	205,45	0,61	4,18	0,34
Referência: P3		113,62		17,70	131,32	0,61	4,64	0,34
Referência: P4				291,59	291,59	0,61	6,40	0,42
Referência: P5			15,26	222,25	237,51	0,61	5,17	0,36
Referência: P7		75,83	14,04		89,87	0,51	2,28	0,22
Referência: P9			5,40	317,65	323,05	0,64	7,05	0,45
Referência: P10		119,16	10,30	17,70	147,16	0,61	5,00	0,36
Referência: P11		124,81		17,70	142,51	0,61	4,80	0,34
Referência: P12				472,89	472,89	0,64	9,68	0,58
Referência: P13			234,00	78,34	312,34	0,64	8,84	0,54
Referência: P14			6,03	561,27	567,30	0,64	11,18	0,65
Referência: P15			161,21	55,79	217,00	0,61	6,21	0,42
Referência: P16		109,41	9,99		119,40	0,61	3,71	0,31
Referência: P17		10,99	38,86	85,68	135,53	0,78	3,04	0,28
Referência: P19	1,52	7,65	72,22		81,39	0,61	1,98	0,20
Referência: P20	1,72	110,06			111,78	0,61	3,71	0,31
Referência: P21	1,66	100,96			102,62	0,61	3,26	0,29
Referência: P22	10,70	121,85			132,55	0,61	4,18	0,34
Referência: P23	1,52	7,65	79,13		88,30	0,61	2,17	0,22
Referência: P24	1,52	7,65	65,00		74,17	0,61	1,98	0,20
Totais	20,30	997,51	736,87	2318,58	4073,26	13,00	102,47	7,44

b) Estrutura convencional de lajes treliçadas

RELATÓRIO DE DADOS DA OBRA**Dados gerais da estrutura**

Projeto: cópia do vs-cv-03 e vigas h=70
vs-cv-04 - Valdi H. Spohr

Chave: vs-tr-01

Dados geométricos de grupos e pisos

Grupo	Nome do grupo	Piso	Nome piso	Altura	Cota
4	Cobertura	10	Cobertura	3,50	31,50
3	Pisos 6 até 9	9º	9º Pavimento	3,50	28,00
		8º	8º Pavimento	3,50	24,50
		7º	7º Pavimento	3,50	21,00
		6º	6º Pavimento	3,50	17,50
2	Pisos 2 até 5	5º	5º Pavimento	3,50	14,00
		4º	4º Pavimento	3,50	10,50
		3º	3º Pavimento	3,50	7,00
		2º	2º Pavimento	3,50	3,50
1	Térreo	1	Térreo	1,50	0,00
0	Fundação				-1,50

QUANTIDADES DA OBRA

Térreo - Superfície total: 47,11 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Vigas: fundo	42,98	27,06	1270
forma lateral	242,78		
Pilares (Sup. Formas)	5,40	0,60	441
Total	291,16	27,66	1711
Índices (por m ²)	6,180	0,587	36,32

Pisos 2 até 5 - Superfície total: 393,36 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 345,82	4 x 30,17	4 x 361
Vigas: fundo	4 x 43,41	4 x 29,21	4 x 2499
forma lateral	4 x 192,53		
Pilares (Sup. Formas)			
5º Pavimento	114,40	11,79	1454
4º Pavimento	114,40	11,79	1393
3º Pavimento	114,40	11,79	1535
2º Pavimento	144,90	14,89	2929
Total	2815,14	287,78	18751
Índices (por m ²)	1,789	0,183	11,92

Pisos 6 até 9 - Superfície total: 393,28 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 346,25	4 x 30,21	4 x 350
Vigas: fundo	4 x 44,10	4 x 29,21	4 x 2166
forma lateral	4 x 195,87		
Pilares (Sup. Formas)			
9º Pavimento	96,80	8,40	662
8º Pavimento	96,80	8,40	711
7º Pavimento	96,80	8,40	941
6º Pavimento	96,80	8,40	1268
Total	2732,08	271,28	13646
Índices (por m ²)	1,737	0,172	8,67

Cobertura - Superfície total: 393,28 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	345,16	30,03	
Vigas: fundo	45,19	30,33	1791
Forma lateral	198,72		
Pilares (Sup. Formas)	96,60	8,36	608
Total	685,67	68,72	2399
Índices (por m ²)	1,743	0,175	6,10

Total obra - Superfície total: 3586,95 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	3113,44	271,55	2844
Vigas: fundo	438,21	291,07	21721
forma lateral	1995,10		
Pilares (Sup. Formas)	977,30	92,82	11942
Total	6524,05	655,44	36507
Índices (por m ²)	1,819	0,183	10,18

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL

Para a análise da estabilidade global levou-se em consideração que os deslocamentos reais da estrutura são aqueles considerados no cálculo, multiplicados por:

Vento +X	1.43
Vento -X	1.43
Vento +Y	1.43
Vento -Y	1.43

Número de hipóteses de ação vertical: 2

Número de hipóteses de ação horizontal: 4

O momento de reviramento produzido pelas ações horizontais nas diferentes hipóteses é:

	tf·m
Vento +X	1108.112
Vento -X	1108.112
Vento +Y	1466.619
Vento -Y	1466.619

O momento por efeito P-delta produzido pelas diferentes hipóteses de carga vertical, sob a atuação simultânea das hipóteses de ações horizontais é:

	Permanente tf·m	Sobrecarga tf·m
Vento +X	53.488	11.472
Vento -X	53.488	11.472
Vento +Y	52.833	11.313
Vento -Y	52.833	11.313

As ações horizontais são incrementadas pela atuação simultânea das ações verticais segundo os seguintes fatores de amplificação (FA):

	Permanente	Sobrecarga
Vento +X	0.048	0.010
Vento -X	0.048	0.010
Vento +Y	0.036	0.008
Vento -Y	0.036	0.008

Quando em uma combinação atua uma ação horizontal com um coeficiente de majoração Fv e várias ações verticais com coeficientes de majoração Fg1...Fgn, o coeficiente de majoração da ação horizontal será:

$$F_v \text{ (estabilidade global)} = F_v \cdot \frac{1}{1 - (F_{g1} \cdot FA_1 + \dots + F_{gn} \cdot FA_n)}$$

As relações máximas entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes de majoração sem amplificar, para as diferentes hipóteses de ação horizontal são:

Vento +X	1.089
Vento -X	1.089
Vento +Y	1.065
Vento -Y	1.065

RELATÓRIO DE FUNDAÇÃO

Elemento	CA-50-A (kg)					CA-60-B (kg)	Concreto (m³)	
	Ø10	Ø12.5	Ø16	Ø20	Total	Ø4.2	C25, Controle normal	Limpeza
Referência: P1		36,13		63,5	99,48	0,55	2,62	0,23
Referência: P2		45,73	15,83	119,8	181,14	0,55	4,75	0,33
Referência: P3			63,80	82,10	145,90	0,55	3,81	0,29
Referência: P4		59,70	91,81	78,34	229,85	0,55	6,78	0,42
Referência: P5		108,37	15,92	18,20	142,49	0,55	4,75	0,33
Referência: P7		38,88		72,40	111,28	0,55	2,62	0,23
Referência: P9		153,64		56,08	209,72	0,61	6,40	0,42
Referência: P10	3,67	12,17	51,03	110,04	176,91	0,61	4,81	0,35
Referência: P11		45,73	10,55	119,58	175,86	0,55	4,75	0,33
Referência: P12				472,89	472,89	0,64	9,68	0,58
Referência: P13		190,92	22,48	67,16	280,56	0,61	7,34	0,48
Referência: P14			285,81	70,28	356,09	0,64	9,68	0,58
Referência: P15			15,73	252,22	267,95	0,61	5,58	0,39
Referência: P16	1,72	67,12	39,72		108,56	0,61	3,53	0,29
Referência: P17		49,49		85,90	135,39	0,78	3,04	0,28
Referência: P19		68,97			68,97	0,55	1,87	0,20
Referência: P20		2,94	43,33	105,54	151,81	0,55	4,23	0,29
Referência: P21		76,07			76,07	0,55	2,62	0,23
Referência: P22	3,42	5,69	37,99	78,14	125,24	0,55	3,23	0,27
Referência: P23		68,33			68,33	0,55	2,38	0,21
Referência: P24		26,38	31,40		57,78	0,55	1,60	0,17
Totais	8,81	1056,26	725,40	1851,80	3642,27	12,26	96,07	6,90

c) Estrutura de lajes lisas nervuradas

RELATÓRIO DE DADOS DA OBRA**Dados gerais da estrutura**

Projeto: nervurada
vs-nr-02 - Valdi H. Spohr

Chave: vs-nr-02

Dados geométricos de grupos e pisos

Grupo	Nome do grupo	Piso	Nome piso	Altura	Cota
4	Cobertura	10	Cobertura	3,50	31,50
3	Pisos 6 até 9	9	9º Pavimento	3,50	28,00
		8	8º Pavimento	3,50	24,50
		7	7º Pavimento	3,50	21,00
		6	6º Pavimento	3,50	17,50
2	Pisos 2 até 5	5	5º Pavimento	3,50	14,00
		4	4º Pavimento	3,50	10,50
		3	3º Pavimento	3,50	7,00
		2	2º Pavimento	3,50	3,50
1	Térreo	1	Térreo	1,50	0,00
0	Fundação				-1,50

QUANTIDADES DA OBRA

Térreo - Superfície total: 46,75 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
Vigas: fundo	41,30	26,97	1204
forma lateral	241,82		
Pilares (Sup. Formas)	15,60	1,79	531
Total	298,72	28,76	1735
Índices (por m ²)	6,390	0,615	37,11

Pisos 2 até 5 - Superfície total: 393,02 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 360,84	4 x 49,11	4 x 2827
*Arm. base Lajes Nervuradas			4 x 514
*Arm. base maciços			4 x 328
Vigas: fundo	4 x 26,73	4 x 13,89	4 x 1054
forma lateral	4 x 90,90		
Pilares (Sup. Formas)			
5º Pavimento	151,60	16,41	1239
4º Pavimento	151,60	16,41	1142
3º Pavimento	151,60	16,41	1173
2º Pavimento	181,40	19,51	1890
Total	2550,08	320,74	24336
Índices (por m ²)	1,622	0,204	15,48

Nº blocos de l. nervurada = 367 Completos + 23 Parciais

Pisos 6 até 9 - Superfície total: 392,99 m² x 4

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	4 x 361,35	4 x 49,24	4 x 2350
*Arm. base Lajes Nervuradas			4 x 514
*Arm. base maciços			4 x 328
Vigas: fundo	4 x 27,04	4 x 13,94	4 x 863
forma lateral	4 x 91,60		
Pilares (Sup. Formas)			
9º Pavimento	137,30	13,73	833
8º Pavimento	137,30	13,73	833
7º Pavimento	137,30	13,73	833
6º Pavimento	137,30	13,73	928
Total	2469,16	307,64	19647
Índices (por m ²)	1,571	0,196	12,50

Nº blocos de l. nervurada = 367 Completos + 23 Parciais

Cobertura - Superfície total: 392,99 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	361,53	49,29	1767
*Arm. base Lajes Nervuradas			514
*Arm. base maciços			329
Vigas: fundo	26,86	13,89	623
forma lateral	91,64		
Pilares (Sup. Formas)	137,30	13,73	757
Total	617,33	76,91	3990
Índices (por m ²)	1,571	0,196	10,15

Nº blocos de l. nervurada = 367 Completos + 23 Parciais

Total obra - Superfície total: 3583,78 m²

Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Barras (kg)
LAJES	3250,29	442,69	22475
*Arm. base Lajes Nervuradas			4626
*Arm. base maciços			2953
Vigas: fundo	283,24	152,18	9495
forma lateral	1063,46		
Pilares (Sup. Formas)	1338,30	139,18	10159
Total	5935,29	734,05	49708
Índices (por m ²)	1,656	0,205	13,87

Nº blocos de l. nervurada = 3303 Completos + 207 Parciais

ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL

Para a análise da estabilidade global levou-se em consideração que os deslocamentos reais da estrutura são aqueles considerados no cálculo, multiplicados por:

Vento +X	1.59
Vento -X	1.59
Vento +Y	1.59
Vento -Y	1.59

Número de hipóteses de ação vertical: 2

Número de hipóteses de ação horizontal: 4

O momento de reviramento produzido pelas ações horizontais nas diferentes hipóteses é:

	tf·m
Vento +X	1108.112
Vento -X	1108.112
Vento +Y	1466.619
Vento -Y	1466.619

O momento por efeito P-delta produzido pelas diferentes hipóteses de carga vertical, sob a atuação simultânea das hipóteses de ações horizontais é:

	Permanente tf·m	Sobrecarga tf·m
Vento +X	54.533	11.177
Vento -X	54.533	11.177
Vento +Y	79.117	16.231
Vento -Y	79.117	16.231

As ações horizontais são incrementadas pela atuação simultânea das ações verticais segundo os seguintes fatores de amplificação (FA):

	Permanente	Sobrecarga
Vento +X	0.049	0.010
Vento -X	0.049	0.010
Vento +Y	0.054	0.011
Vento -Y	0.054	0.011

Quando em uma combinação atua uma ação horizontal com um coeficiente de majoração F_v e várias ações verticais com coeficientes de majoração $F_{g1}...F_{gn}$, o coeficiente de majoração da ação horizontal será:

$$F_v (\text{estabilidade global}) = F_v \cdot \frac{1}{1 - (F_{g1} \cdot FA_1 + \dots + F_{gn} \cdot FA_n)}$$

As relações máximas entre os coeficientes de majoração amplificados e os coeficientes de majoração sem amplificar, para as diferentes hipóteses de ação horizontal são:

Vento +X	1.091
Vento -X	1.091
Vento +Y	1.100
Vento -Y	1.100

RELATÓRIO DE FUNDAÇÃO

Elemento	CA-50-A (kg)					CA-60-B (kg)	Concreto (m³)	
	Ø10	Ø12.5	Ø16	Ø20	Total	Ø4.2	C25, Controle normal	Limpeza
Referências: P1 e P21	2x1,66	2x39,65	2x51,62		185,86	2x0,61	2x2,97	2x0,27
Referência: P2		117,85		27,30	145,15	0,61	5,14	0,35
Referências: P3 e P23	2x1,71	2x8,54	2x39,72	2x90,13	280,20	2x0,61	2x3,53	2x0,29
Referência: P4		67,78	51,03	27,15	145,96	0,61	4,98	0,35
Referência: P5	1,66	78,06			79,72	0,61	2,62	0,23
Referência: P6		27,46	36,74		64,20	0,55	1,78	0,18
Referência: P7	1,53	27,46	32,66		61,65	0,61	1,79	0,18
Referência: P8		32,63	43,96		76,59	0,55	2,17	0,21
Referência: P9		12,56	151,55	18,60	182,71	0,64	5,86	0,40
Referência: P10		66,80	38,86		105,66	0,78	3,04	0,28
Referência: P11		11,77	46,16	105,09	163,02	0,64	4,23	0,33
Referência: P12		85,49	12,12	251,09	348,70	0,68	9,80	0,54
Referência: P13			233,40	20,08	253,48	0,68	8,24	0,49
Referência: P14		88,86	24,24	209,59	322,69	0,68	8,96	0,51
Referência: P15	3,67		60,55	110,04	174,26	0,64	4,71	0,34
Referência: P16		71,65	44,27		115,92	0,78	3,30	0,31
Referência: P17		114,16			114,16	0,78	3,30	0,31
Referência: P18	3,06	67,38	9,04		79,48	0,78	2,03	0,22
Referência: P19	1,47	55,35			56,82	0,61	1,60	0,18
Referência: P20	1,66	75,57			77,23	0,61	2,62	0,23
Referência: P22	1,65	38,12		65,08	104,85	0,61	2,72	0,24
Referência: P24	1,60	66,15			67,75	0,61	2,17	0,21
Totais	23,04	1201,48	967,26	1014,28	3206,06	15,50	94,05	7,24