



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ – FAPAC
ENGENHARIA CIVIL

MAILER DI MINGO MIRANDA

ESTUDO DE LAJES NERVURADAS: APLICAÇÃO E ASPECTOS
ECONÔMICOS

UBÁ - MG

2013

MAILER DI MINGO MIRANDA

**ESTUDOS DE LAJES NERVURADAS: APLICAÇÕES E ASPECTOS
ECONÔMICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Msc Israel Iasbik.

UBÁ - MG

2013

ESTUDO DE LAJES NERVURADAS: APLICAÇÃO E ASPECTOS ECONÔMICOS

RESUMO

As lajes nervuradas surgem como uma alternativa construtiva eficiente diante das exigências do mercado atual. Permitem vencer grandes vãos e suportar cargas elevadas, devido à eliminação de concreto na linha neutra, diminuindo assim seu peso próprio. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo das lajes nervuradas, que identifica suas vantagens e desvantagens, ressaltando as características que as destacam no aspecto construtivo, tais como: agilidade e facilidade de produção, assim como, o modo de execução. Foi feita uma análise comparativa de preços entre as lajes nervuradas e as lajes maciças demonstrando o valor por metro quadrado de cada uma. Os custos do sistema estrutural são baseados em: insumo de materiais e mão de obra. As lajes nervuradas apresentaram-se como uma solução mais econômica para lajes armadas em duas direções com áreas de 50 m², por ser um sistema construtivo rápido e econômico, devido à ausência de vigas e menores números de pilares se comparadas às lajes maciças, justificando esta opção para edifícios de médio e grande porte.

Palavras-chave: Lajes nervuradas. Custos. Vigas.

STUDY OF RIBBED SLABS: APPLICATION AND ECONOMIC ASPECTS

ABSTRACT

The ribbed slabs arise as an efficient constructive alternative given the demands of the current market. Allow large spans and withstand high loads, due to the elimination of concrete in the neutral line, thereby reducing its own weight. The objective of this work is to present a study of ribbed slabs, which identifies their advantages and disadvantages, highlighting the features that highlight the constructive aspect, such as agility and ease of production, as well as the mode of execution. A comparative analysis of prices was made between ribbed slabs and solid slabs demonstrating the value per square meter of each. Costs are based on structural system: input materials and workmanship. The ribbed slabs were presented as a more economic solution for reinforced slabs in two directions with areas of 50m², to be a fast and economical construction system due to the absence of beams and pillars of smaller numbers compared to the massive slabs, justifying this option for medium or large buildings.

Keywords: Ribbed slabs. Costs. Beams.

ESTUDO DE LAJES NERVURADAS: APLICAÇÃO E ASPECTOS ECONÔMICOS

RESUMO

As lajes nervuradas surgem como uma alternativa construtiva eficiente diante das exigências do mercado atual. Permitem vencer grandes vãos e suportar cargas elevadas, devido à eliminação de concreto na linha neutra, diminuindo assim seu peso próprio. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo das lajes nervuradas, que identifica suas vantagens e desvantagens, ressaltando as características que as destacam no aspecto construtivo, tais como: agilidade e facilidade de produção, assim como, o modo de execução. Foi feita uma análise comparativa de preços entre as lajes nervuradas e as lajes maciças demonstrando o valor por metro quadrado de cada uma. Os custos do sistema estrutural são baseados em: insumo de materiais e mão de obra. As lajes nervuradas apresentaram-se como uma solução mais econômica para lajes armadas em duas direções com áreas de 50 m², por ser um sistema construtivo rápido e econômico, devido à ausência de vigas e menores números de pilares se comparadas às lajes maciças, justificando esta opção para edifícios de médio e grande porte.

Palavras-chave: Lajes nervuradas. Custos. Vigas.

STUDY OF RIBBED SLABS: APPLICATION AND ECONOMIC ASPECTS

ABSTRACT

The ribbed slabs arise as an efficient constructive alternative given the demands of the current market. Allow large spans win and withstand high loads, due the elimination of concrete in the neutral line, thereby reducing its own weight. The objective of this work is to present a study of ribbed slabs, wich identifies their advantages and disadvantages, highlighting the feautres that highlight the constructive aspect, such as agility and ease of production, as well as the mode of execution. A comparative analysis of prices was made between ribbed slabs and solid slabs demonstrating the value per square meter of each. Costs are based on structural system: input materials and workmanship. The ribbed slabs were presented as a more economic solution for reinforced slabs in two directions with areas of 50m², to be a fast and economical construction system due to the absence of beams and pillars of smaller numbers compared to the massive slabs, justifying this option for medium or large buildings.

Keywords: Ribbed slabs. Costs. Beams.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C.. **Concreto armado: cálculo prático e econômico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 206 p.
- ALBUQUERQUE, A. T.. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- ARAÚJO, A. D. R.. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 111 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2008.
- ARAÚJO, T. M.. **Análise dos processos de planejamento e execução de uma laje nervurada com utilização de ferramentas computacionais**. 2007. 44 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Procedimentos – Projetos de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.
- BOCCHI JÚNIOR, C. F.. **Lajes nervuradas de concreto armado**. 1995. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.
- CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51^o, 2009, Maceió. **Aspectos técnicos e econômicos de lajes nervuradas unidirecionais e bidirecionais**. Maceió: IBRACON, 2009. 16 p.
- DIAS, R. H.. **Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas**. 2003. 455 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- GUERRIN, A.; LAVAUUR, R. C.. **Tratado de concreto armado: estruturas de residências e indústrias, lajes, escadas, balanços e construções diversas**. Brasil: Hemus, 2002. 398 p. v. 3.
- LEITE, M. R. S.. **Moldagem do comportamento estrutural estático e dinâmico de lajes nervuradas de concreto armado**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- NOGUEIRA, D. J. L.; CASTRO, F. S.. **Sistemas estruturais de lajes parâmetro de escolhas da solução estrutural de lajes**. 2010. 132 f. Dissertação (Trabalho de conclusão em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CCET), Universidade da Amazônia (UNAMA), Belém, 2010.
- PETRUCCI, E.G.R.. **Materiais de construção**. 2 ed. Porto Alegre: Globo, 1976. 435 p.
- PINHEIRO, L. P.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P.; **Lajes nervuradas – Capítulo 11**. Departamento de Engenharia de Estruturas, USP. São Paulo, 2010.

SILVA, M. A. F.. **Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado.** 2005. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SPOHR, V. H.. **Análise comparativa:** sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas. 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

STRAMANDINOLI, J. S. B.. **Contribuições à análise de lajes nervuradas por analogia de grelha.** 2003. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VAGHETTI, M. A. O.. **Efeitos da cinza volante com cinza casca de arroz ou sílica ativa sobre a carbonização do concreto de cimento portland.** 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 1999.

VASCONCELOS, K. S.. **Análise comparativa entre lajes nervuradas em concreto armado e concreto protendido.** 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

VITALLI, L.. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes materiais de enchimento.** 2010. 62 f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, 2010.

MAILER DI MINGO MIRANDA

**ESTUDOS DE LAJES NERVURADAS: APLICAÇÕES E ASPECTOS
ECONÔMICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Carlos Augusto Ramos dos Reis

Faculdade Presidente Antônio Carlos – FAPAC

Fundação Presidente Antônio Carlos – FUPAC

Enoque Pereira da Silva

Faculdade Presidente Antônio Carlos – FAPAC

Fundação Presidente Antônio Carlos – FUPAC

Israel Iasbik

Faculdade Presidente Antônio Carlos – FAPAC

Fundação Presidente Antônio Carlos – FUPAC

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento imobiliário a procura por soluções inovadoras e econômicas comparada às convencionais tornou-se uma preocupação.

“As lajes são áreas planas que limitam os andares e suportam os revestimentos de pisos. Duas funções principais são atribuídas: resistência, suportando o próprio peso e as sobrecargas; e isolamento: térmica e acústica” (GUERRIN, LAVAU, 2002, p. 228).

Antigamente, pela carência de técnicas construtivas e materiais de qualidade, necessitavam de peças bem mais volumosas para suprir as necessidades de cargas. Com o passar do tempo, houve um aumento de resistência do concreto e aço, possibilitando o uso de maiores vãos e menores seções das peças.

À medida que os vãos cresceram e as alvenarias passaram a ser apoiadas diretamente sobre as lajes, o emprego de lajes maciças leva a espessuras antieconômicas, abrindo mercado para a utilização da laje nervurada (SPOHR, 2008).

Segundo Dias (2003) esse sistema de lajes nervuradas 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.

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2004), lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

O sistema nervurado, “é uma evolução natural das lajes maciças, pois resultam da eliminação da maior parte do concreto abaixo da linha neutra” (FRANCA; FUSCO, 1997 *apud* STRAMANDINOLI, 2003, p. 3).

A necessidade de racionalização na construção civil com a minimização dos custos e prazos vem fazendo das lajes nervuradas uma opção cada vez mais difundida (BOCCHI JÚNIOR, 1995).

O projeto estrutural corresponde à etapa de maior valor na construção, variando entre 10 a 20% do custo total. Justifica-se então o estudo na escolha do sistema estrutural a ser adotado, pois uma redução de 10% na estrutura pode corresponder a uma diminuição de 2% do valor final (ALBUQUERQUE, 1999).

Analisando os valores utilizados por Albuquerque (1999), em termos práticos, 2% do custo do valor final de uma obra corresponde à execução de toda etapa de pintura ou a todos os serviços de movimentação de terra, soleiras, rodapés, peitoris e cobertura juntos.

Houve um aumento no uso de lajes nervuradas e uma grande aceitação por parte dos Engenheiros, devido ao melhor entendimento da estrutura nervurada, evolução dos materiais, disponibilização de cursos e uso dos programas estruturais mais avançados.

Devido à eliminação do concreto e aço entre as nervuras, conseqüentemente diminuiu-se o peso da estrutura sem prejudicar sua resistência. Sendo assim, é possível vencer amplos vãos e suportar grandes sobrecargas.

As nervuras têm a função de solidificar o conjunto concreto/aço, respectivamente responsáveis por resistir a esforços de compressão e tração.

Diferentemente das lajes maciças, a utilização de fôrmas das lajes nervuradas tem um índice bem menor, devido ao uso de elementos inertes ou industrializada, tornando as obras mais limpas e rápidas.

É indispensável a redução de custos de construções que envolvam determinado empreendimento, em consequência disso as empresas investem em novas técnicas para diminuição dos desperdícios, resultando em redução do custo total da obra.

Esse fator pode ser bastante significativo quando aplicado às lajes, pois dependendo da redução da espessura de concreto lançado e dos materiais utilizados, pode proporcionar economias relativas e reduções no peso da estrutura.

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo das lajes nervuradas, que identifica suas vantagens e desvantagens, ressaltar as características que as destacam no aspecto construtivo, tais como: agilidade e facilidade de produção, assim como, o modo de execução. Foi feita uma análise comparativa de preços entre as lajes nervuradas e as lajes maciças demonstrando o valor por metro quadrado de cada uma.

Atualmente, a progressiva busca de racionalização dos processos construtivos, visando ao aumento da produtividade e à redução dos custos de construção, resulta em uma demanda crescente por projetos de edifícios em alvenaria estrutural racionalizada.

A grande competitividade do mercado atual, no entanto, demanda soluções que, associadas ao processo construtivo em alvenaria estrutural, melhorem a eficiência do processo, eliminando etapas construtivas, minimizando interferências entre os subsistemas e elevando a qualidade do produto final. Adotar soluções voltadas à industrialização, principalmente com a pré-moldagem, pode ser um caminho para melhorar a eficiência do processo.

2 DESENVOLVIMENTO

Com a evolução arquitetônica e a necessidade de maiores vãos, as lajes maciças tornaram-se desinteressantes devido ao seu elevado custo para o uso de grandes vãos.

As lajes maciças são elementos planos, cuja função é absorver os carregamentos colocados sobre ela. É um sistema moldado no local com pequena capacidade portante, por isso o uso de muitas vigas, dificultando a execução das fôrmas e conseqüentemente aumentam expressivamente a quantidade de concreto utilizado (ARAÚJO, 2008).

Conforme Vasconcelos (2010), as lajes nervuradas surgiram com a demanda do uso de vãos maiores. Apesar de sua altura útil aumentar, o uso de materiais inertes ou até mesmo o não preenchimento do espaço vazio não houve aumento do peso próprio da laje.

Existem duas formas de se construir lajes nervuradas. Em uma delas, dispõem-se os materiais inertes sobre as fôrmas lisas. Ao se concretar, os espaços vazios entre os materiais inertes formarão as nervuras e, acima deles se formará a mesa de concreto. A outra maneira consiste em usar fôrmas plásticas com dimensões pré-definidas (VASCONCELOS, 2010, p.1).

Na FIG. 1 observa-se uma laje nervurada utilizando cubas plásticas como fôrma, pode ser feito um rebaixamento em gesso para um melhor acabamento e estética.

FIGURA 1 – Laje nervurada com utilização de cubas plásticas



Utiliza-se um tablado de madeira como suporte para o isopor, que tem a finalidade de fôrma. Por ser um material inerte, pode ser mantido na estrutura da laje, melhorando sua isolamento térmica e acústica (FIG. 2).

FIGURA 2 – Laje Nervurada utilizando Isopor como fechamento

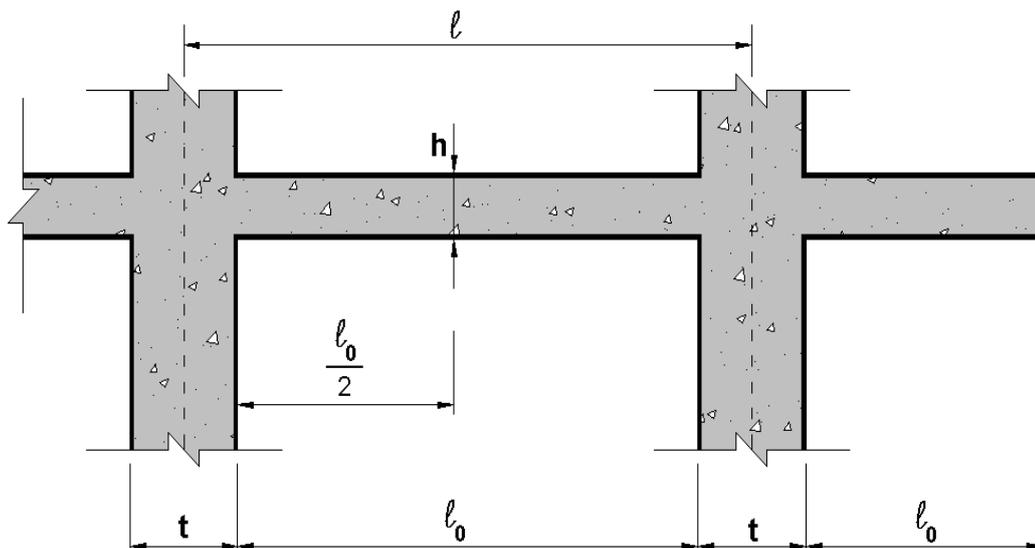


Fonte: LEITE, 2012, p. 22

2.1 Classificações das lajes

Ao projetar uma laje, devem-se determinar os vãos livres (l_0), vãos teóricos (l) e a relação entre os vãos.

FIGURA 3 – Corte na laje demonstrando os vãos

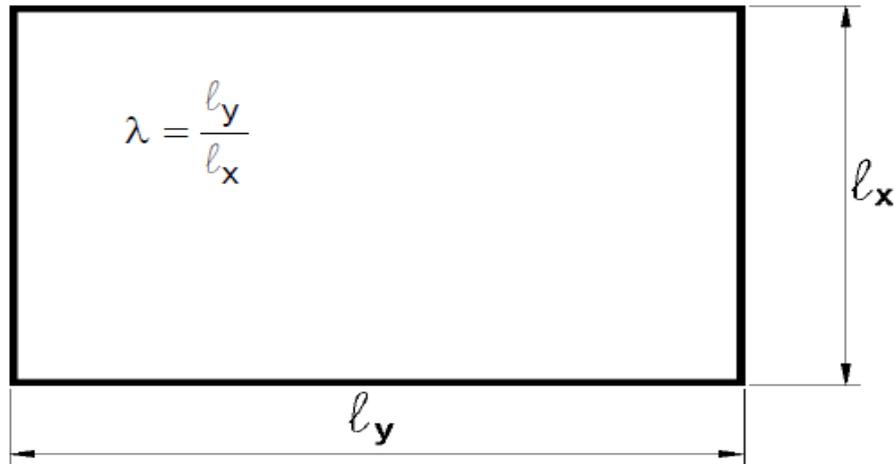


Fonte: PINHEIRO, MUZARDO, SANTOS, 2010, p. 2

Baseado nos vãos teóricos considera-se l_x o menor vão, l_y o maior. De acordo com o valor de $\lambda = l_y/l_x$, são classificadas como:

- $\lambda \leq 2 \rightarrow$ Laje armada em duas direções;
- $\lambda > 2 \rightarrow$ Laje armada em uma direção.

FIGURA 4 – Vãos teóricos l_x (menor vão) e l_y (maior vão)



Fonte: PINHEIRO, MUZARDO, SANTOS, 2010, p. 2

2.2 Aspectos na criação da estrutura

2.2.1 Lançamento da Estrutura

Na concepção estrutural de edifícios, sua estrutura é constituída por lajes, vigas, pilares e fundação, formando assim o arranjo estrutural, conforme FIG. 5. As lajes são blocos de concreto armado que têm a finalidade de suportar as cargas sobre elas aplicadas e transmiti-las para as vigas, que por sua vez, transmitem para os pilares. A função dos pilares é “passar” as cargas da estrutura para a fundação, que por fim, distribuir a tensão no solo.

O lançamento estrutural é uma das etapas mais importantes do projeto de uma estrutura de concreto armado.

FIGURA 5 – Conjunto estrutural (vigas, lajes e pilares)



2.2.2 Materiais utilizados na estrutura de concreto armado

2.2.2.1 Concreto

A simples mistura entre cimento, areia, pedra e água gera o concreto. O cimento é denominado aglomerante, por ter propriedade ligante, permite que a areia e pedra formem uma mistura, que após seca, torna-se sólida (ADÃO; HEMERLY, 2010).

O concreto é um material que, devido a sua composição heterogênea, necessita de estudos e pesquisas avançadas que o façam melhorar seu desempenho, principalmente a um mercado exigente quanto à capacidade de melhor resistir a ambientes agressivos e também à importância de se obter resistências mecânicas elevadas, contribuindo para estruturas de maior porte (VAGHETTI, 1999, p. 1).

A principal propriedade do concreto é a grande resistência à compressão. A unidade de medida é a tensão, força por unidade de área. Utiliza-se como unidade universal o MPa (MegaPascal).

O concreto usual tem resistência de 20 MPa que corresponde a uma tensão de 200 kgf/cm². Em termos práticos significa que um quadrado de 1 cm x 1 cm resiste a uma força de 200 kgf.

Em se tratando da resistência à tração, o concreto resiste apenas 10% da resistência de compressão. Os testes em concreto, para verificar sua resistência, devem ser feitos em corpos de prova cilíndricos, com diâmetro de 15 cm e altura de 30 cm.

FIGURA 6 – Corpo de prova do concreto



Uma das funções do concreto é proteger a armadura para que não fique exposta ao ambiente e sofra mudanças em sua composição, causando um problema estrutural.

2.2.2.1 Aço

Apesar de o concreto ser um excelente material por ter elevada resistência à compressão, sua união com o aço foi um fator fundamental para o desenvolvimento da construção, tornando-se o concreto armado.

Petrucci (1976, p. 219) destaca que aço “é todo produto siderúrgico obtido com teor de carbono inferior a 2%. Os aços para construção têm, em geral, 0,3% ou menos de carbono, conhecidos também como aços doces”.

O conjunto de barras de aços ligadas entre si é conhecido como armadura ou esqueleto estrutural. Quando unido com o concreto, o aço tem as seguintes funções:

- Absorver os esforços de tração na estrutura, contribuindo na capacidade resistente e na estabilidade da estrutura;
- Limitar a abertura de fissuras no concreto, impedir a deformação no caso da variação de temperatura e retração;

- Em peças como os pilares, aumentam a capacidade resistente à compressão.

O aço mais utilizado na construção civil é o CA-50, cuja resistência é de 50 kgf/mm² ou 500 MPa.

FIGURA 7 – Aço CA-50 utilizado na armação das vigas e pilares



2.3 Execução de uma laje nervurada

Segundo Araújo (2007), o processo de execução se divide em:

- Análise do projeto da laje: de acordo com os requisitos do cliente, é feita a análise e o projeto pelo engenheiro;
- Especificação e quantidade dos materiais: feita a análise do projeto, define-se a quantidade de material e sua especificação;
- Envio do projeto para obra: definidos os materiais, envia-se o projeto para os responsáveis pela execução da laje;
- Conferência do projeto: recebido o projeto, confere-se a construção para verificar se está de acordo com o projeto;
- Compra dos materiais: baseando-se no projeto, todos os materiais são comprados;
- Aluguel ou compra das cubas plásticas: é o molde de polipropileno usado para construção da laje nervurada, na maioria dos empreendimentos as cubas plásticas são alugadas devido à redução de custos;
- Corte e dobra: o aço é cortado e dobrado de acordo com as especificações de projeto;

FIGURA 8 – Entrega do aço para corte e dobra



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 24

- Montagem das fôrmas: a madeira é cortada e moldada rigorosamente de acordo com o projeto;

FIGURA 9 – Montagem das fôrmas de madeira



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 24

- Colocação das cubas plásticas: com as fôrmas de madeira prontas, inicia-se a colocação das cubas de forma que vão se encaixando umas nas outras;

FIGURA 10 – Colocação das cubas plásticas



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 25

- Colocação da ferragem: após o molde das cubas, coloca-se a armadura de aço de acordo com as especificações do projeto estrutural;

FIGURA 11 – Colocação da armadura de aço



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 26

- Escoramento e nivelamento: depois de todos materiais (aço, madeira e cubas plásticas) estarem devidamente em seus lugares, é necessário que faça o escoramento e nivelamento, para que a laje fique firme e uniforme;

FIGURA 12 – Escoramento e nivelamento da estrutura



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 26

- Aplicação do desmol: aplica-se o desmol sobre a superfície dos moldes de polipropileno para evitar aderência, facilitando a retirada da fôrma quando o concreto estiver seco;
- Concretagem: é a parte mais importante da execução, pois se o concreto não for bem feito, pode danificar toda estrutura;

FIGURA 13 – Concretagem da laje



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 27

- Desfôrma e reescoramento: com 4 dias é feito a desfôrma, removendo as escoras existentes e substituindo-as por outras em menores quantidades, com o objetivo de apenas ‘apoiar’ a laje;

FIGURA 14 – Reescoramento da laje nervurada



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 28

- Retirada do escoramento: depois de 28 dias, pode-se retirar o restante das escoras que apoiavam a laje, ela estará pronta.

FIGURA 15 – Laje nervurada pronta



Fonte: ARAÚJO, 2007, p. 28

2.4 Vantagens das Lajes Nervuradas

Segundo o Congresso Brasileiro de Concreto (2009):

- Menor consumo de concreto e de aço;
- Menor índice de fôrmas, devido ao uso de elementos inertes, ou de fôrmas industrializadas;
- Maior reaproveitamento das cubas plásticas;
- Redução na interferência na arquitetura devido ao menor uso de vigas e pilares;
- Quando associadas a um sistema de fôrmas industrializadas, aceleram muito o processo, chegando a um ciclo médio de execução de sete dias por pavimento;
- Obras mais limpas, devido à necessidade de menos fôrmas.

2.5 Desvantagens das Lajes Nervuradas

De acordo com Vitalli (2010):

- Em relação ao projeto, evitam-se engastes em seu contorno, como forma de reduzir os momentos negativos, o que prejudica sua funcionalidade;
- Aumento do pé direito da edificação, conseqüentemente, sua altura total;
- Dificuldade em projetar uma modulação única de forma que os espaços entre as nervuras sejam iguais;
- Necessita-se de um cálculo mais elaborado comparado ao da laje maciça;
- Exige maiores cuidados na concretagem.

2.6 Locais com maior benefício de utilização das lajes nervuradas

Conforme Silva (2005):

- Por permitir vencer grandes vãos, liberando espaço, é vantajoso em locais como garagens ou estacionamento, onde os pilares, além de dificultarem as manobras dos veículos, ocupam espaços de possíveis vagas;
- Prédios escolares e bibliotecas onde utilizam apenas acabamentos superficiais e maiores espaços, contribuindo assim para o conforto acústico e térmico do ambiente.

3 METODOLOGIA DO TRABALHO

O presente trabalho refere-se a um a revisão bibliográfica. Desenvolveu-se um demonstrativo sobre as lajes nervuradas, vantagens e desvantagens. Nessa etapa, fez-se uma análise da estrutura, obtendo-se os dados quantitativos de materiais, sendo os requisitos de comparação.

Visa-se realizar uma análise comparativa entre os custos finais por metro quadrado de cada tipo de laje: nervurada e maciça. Optou-se pela escolha das lajes maciças, pois são as mais comuns e de maior utilização no mercado atual.

Utilizou-se como referências de medidas: 12 m², 25 m² e 50 m² para os devidos cálculos das lajes. As dimensões enquadram todos os tipos de lajes armadas em duas direções, sendo fôrmas isoladas umas das outras e todas apoiadas somente, sem uso de engastes.

3.1 Tipologia e concepção dos sistemas escolhidos

Sistemas construtivos: estruturas maciças com lajes, vigas e pilares; e nervuradas apoiadas em pilares. Os serviços e insumos envolvidos são o concreto, fôrmas e aço.

3.2 Parâmetros de Pesquisa

3.2.1 Considerações para o cálculo

Utilizaram-se como base as seguintes informações:

- Destino da Laje: piso para edificações residenciais;
- Valor adotado para sobrecarga: 200 Kg/m²;
- O piso de revestimento: 100 Kg/m²;
- Resistência característica do concreto a compressão (fck): 25 MPA.

3.2.2 Considerações para a estrutura

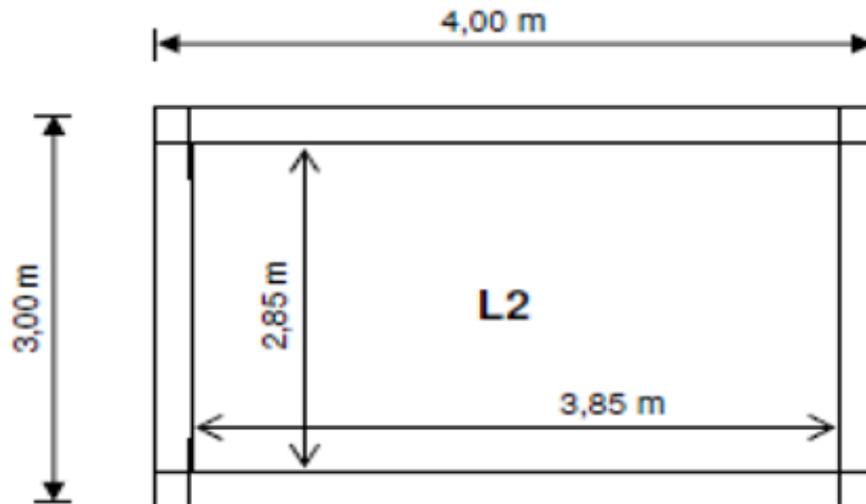
- Para as lajes maciças, adotou-se espessura variando entre 9 e 11 cm;
- Para as lajes nervuradas, adotou-se o bloco com dimensões de 60 x 60 x 30 cm, utilizando como fechamento blocos de EPS. As fôrmas são de polipropileno com

altura de 21 cm, base de 56 cm, boca de 60 cm, nervuras de 5 centímetros de base e 9 de boca, armadura de pele ferros de 4,2 mm a cada 20 cm e aço CA 50.

4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS

4.1 Para lajes de 12 m², armadas em duas direções (LDD)

FIGURA 16 – Laje de 12 m² de área (LDD)



Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 104

TABELA 1 – Planilha orçamentária para a laje maciça com 12 m² (LDD)

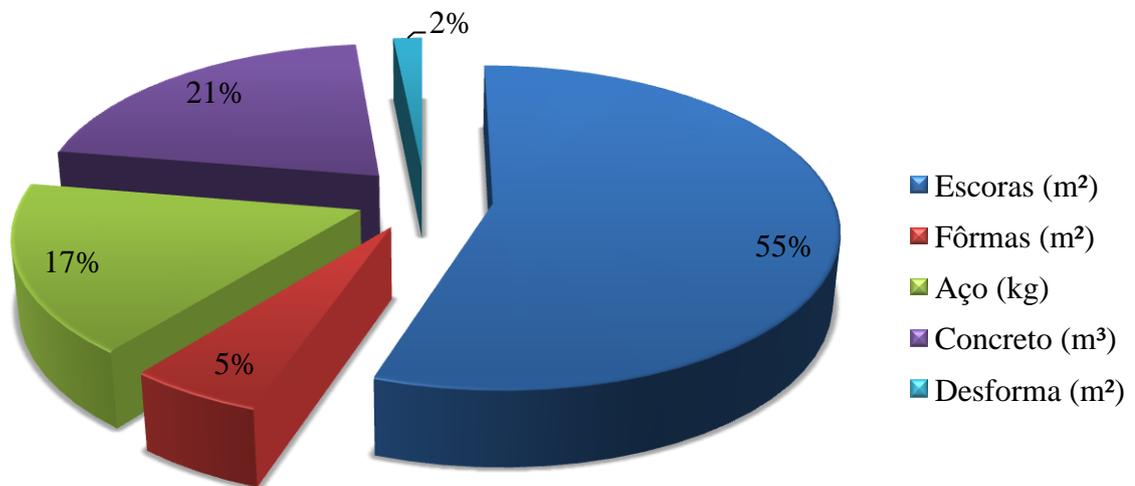
PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO 01	LAJES MACIÇAS, CONVÊNÇÃO		DATA Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m.	m ²	32,49	R\$ 30,55	R\$ 992,57
01.02	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE FÔRMA (Madeira com espessura de 18 mm)	m ²	10,98	R\$ 8,76	R\$ 96,18
01.03	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	21,89	R\$ 13,77	R\$ 301,43
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 MPa - Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	0,99	R\$ 372,82	R\$ 369,09
01.05	DESFORMA	m ²	10,98	R\$ 2,55	R\$ 28,00
CUSTO TOTAL					R\$ 1.787,27
CUSTO POR m²					R\$ 148,94

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 105

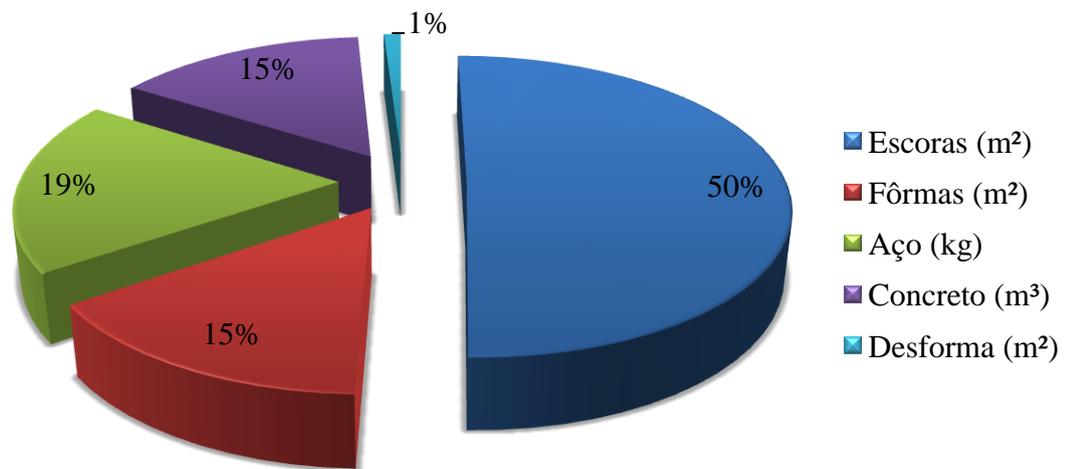
TABELA 2 – Planilha orçamentária para a laje nervurada, 12 m² (LDD)

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO 02	LAJES NERVURADAS		DATA Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m	m ²	32,49	R\$ 30,55	R\$ 992,57
01.02	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE FÔRMA (Polipropileno)	m ²	10,98	R\$ 26,57	R\$ 291,74
01.03	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	26,49	R\$ 13,77	R\$ 364,77
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 MPa - Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	0,78	R\$ 372,82	R\$ 290,80
01.05	DESFORMA	m ²	10,98	R\$ 2,55	R\$ 28,00
CUSTO TOTAL					R\$ 1.967,88
CUSTO POR m²					R\$ 163,99

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 105

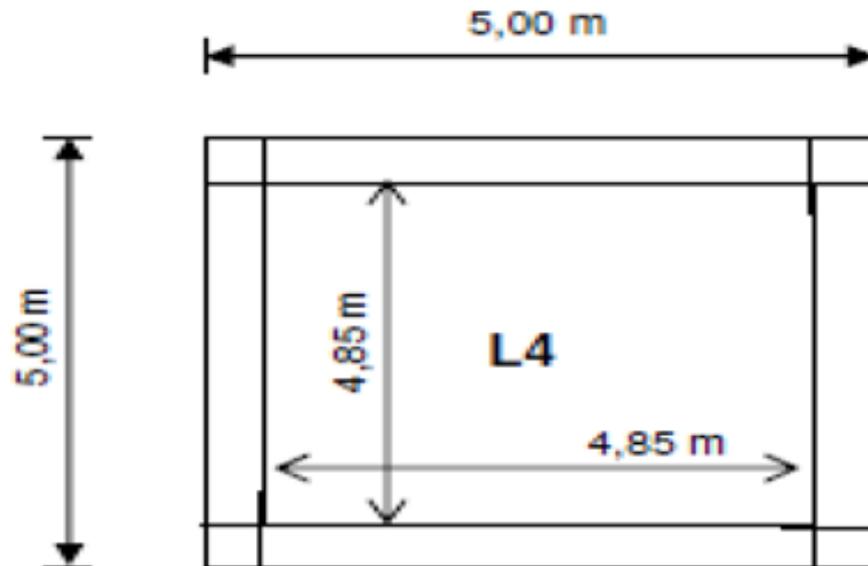
GRÁFICO 1 – Percentual do custo unitário na laje maciça com 12 m² (LDD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 106

GRÁFICO 2 – Percentual do custo unitário na laje nervurada com 12 m² (LDD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 107

4.2 Para lajes de 25 m², armadas em duas direções (LDD)

FIGURA 17 – Laje de 25 m² de área (LUD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 112

TABELA 3 – Planilha orçamentária para a laje maciça, 25 m² (LDD)

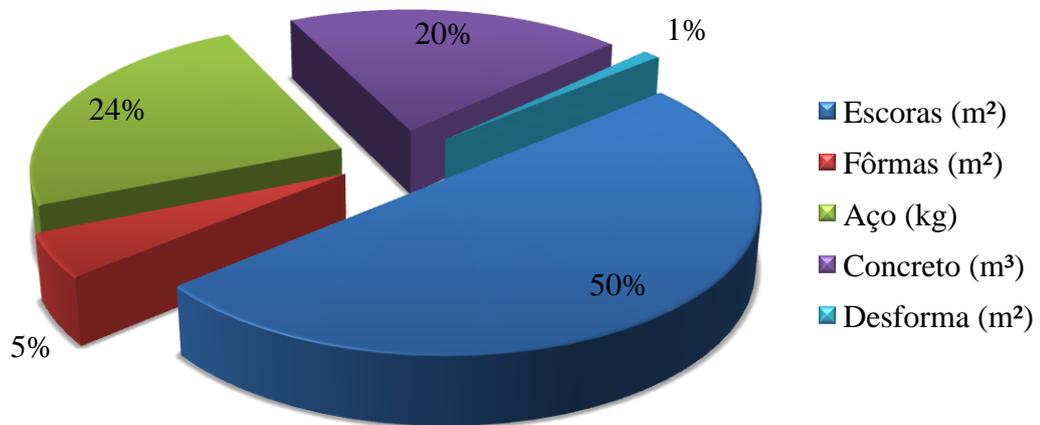
PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO 01	LAJES MACIÇAS, CONVÊNCIONAL		DATA Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m	m ²	70,59	R\$ 30,55	R\$ 2.156,52
01.02	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE FÔRMA (Madeira com espessura de 18 mm)	m ²	23,53	R\$ 8,76	R\$ 206,12
01.03	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	73,56	R\$ 13,77	R\$ 1.012,92
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 MPa - Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	2,36	R\$ 372,82	R\$ 879,86
01.05	DESFORMA	m ²	23,53	R\$ 2,55	R\$ 60,00
	CUSTO TOTAL				R\$ 4.315,42
	CUSTO POR m²				R\$ 172,62

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 113

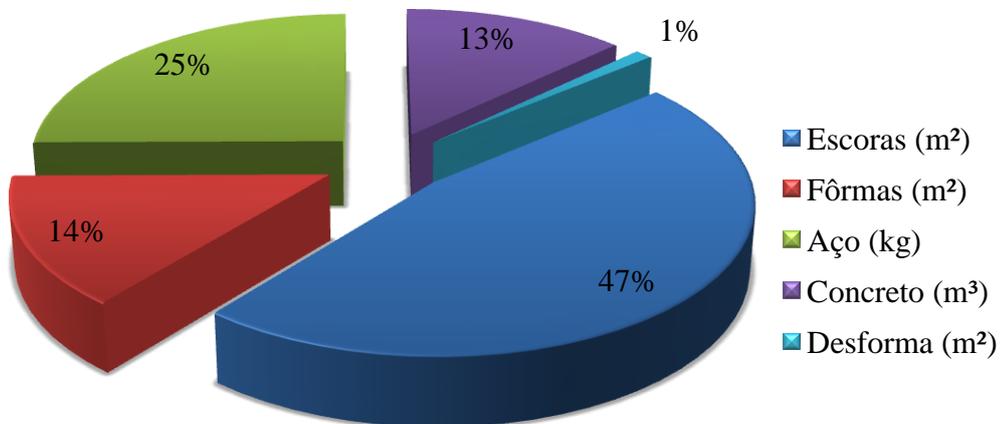
TABELA 4 – Planilha orçamentária para a laje nervurada, 25 m² (LDD)

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO 02	LAJES NERVURADAS		DATA Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m	m ²	70,59	R\$ 30,55	R\$ 2.156,52
01.02	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE FÔRMA, (Polipropileno)	m ²	23,53	R\$ 26,57	R\$ 625,19
01.03	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	83,94	R\$ 13,77	R\$ 1.155,85
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 MPa - Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	1,67	R\$ 372,82	R\$ 622,61
01.05	DESFORMA	m ²	23,53	R\$ 2,55	R\$ 60,00
	CUSTO TOTAL				R\$ 4.620,17
	CUSTO POR m²				R\$ 184,81

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 113

GRÁFICO 3 – Percentual do custo unitário na laje maciça com 25 m² (LDD)

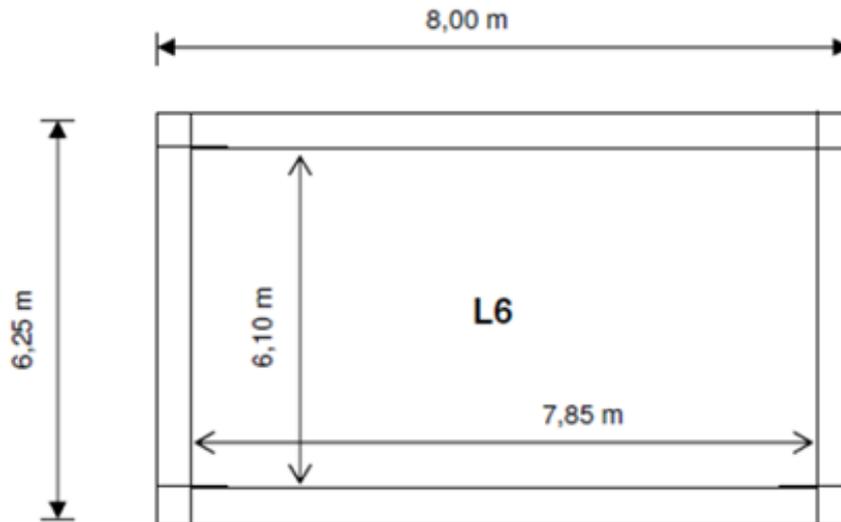
Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 114

GRÁFICO 4 – Percentual do custo unitário na laje nervurada com 25 m² (LDD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 115

4.3 Para lajes de 50 m², armadas em duas direções (LDD)

FIGURA 18 – Laje de 50 m² (LUD)



Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 120

TABELA 5 – Planilha orçamentária para Lajes Maciças, 50 m² (LDD)

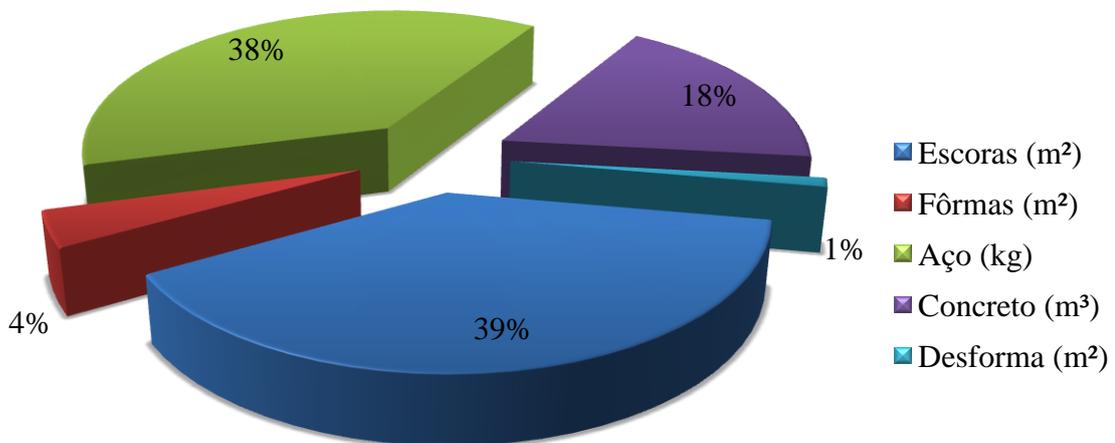
PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO	LAJES MACIÇAS, CONVÊNIONAL		DATA
		01			Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UN.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m	m ²	143,67	R\$ 30,55	R\$ 4.389,12
01.02	CONFECCÃO E INSTALACÃO DE FÔRMA (Madeira com espessura de 18 mm)	m ²	47,89	R\$ 8,76	R\$ 419,52
01.03	CONFECCÃO E INSTALACÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	305,12	R\$ 13,77	R\$ 4.201,50
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 MPa - Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	5,27	R\$ 372,82	R\$ 1.964,76
01.05	DESFORMA	m ²	47,89	R\$ 2,55	R\$ 122,12
	CUSTO TOTAL				R\$ 11.097,02
	CUSTO POR m²				R\$ 221,94

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 121

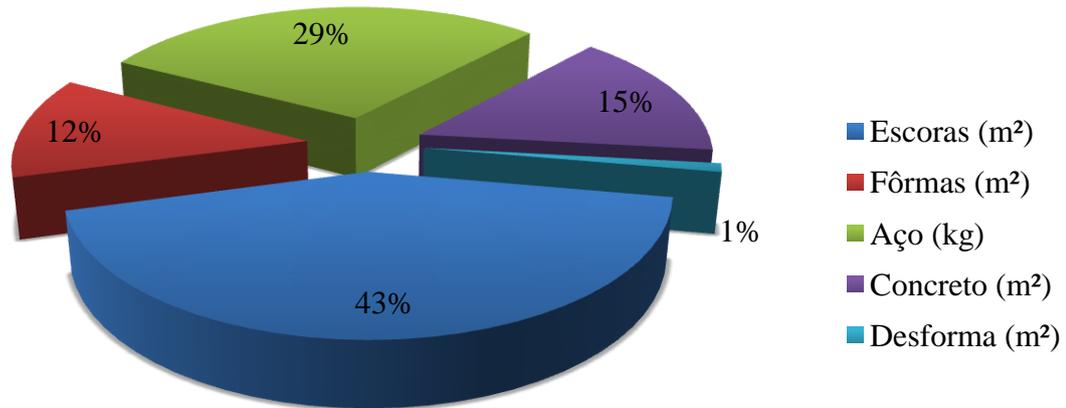
TABELA 6 – Planilha orçamentária para Lajes Nervuradas, 50 m² (LDD)

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA		TIPO 02	LAJES NERVURADAS		DATA Nov/10
ITEM	DESCRIÇÃO	UNID	QUANT.	PREÇO UM.	PREÇO TO.
01.	ESTRUTURA				
01.01	ESCORAMENTO METÁLICO, para lajes de edificação com pé direito entre 2,00 m e 3,20 m	m ²	143,67	R\$ 30,55	R\$ 4.389,12
01.02	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE FÔRMA, (Polipropileno)	m ²	47,89	R\$ 26,57	R\$ 1.272,44
01.03	CONFECÇÃO E INSTALAÇÃO DE ARMADURA, Aço CA 50 / 60	kg	213,31	R\$ 13,77	R\$ 2.937,28
01.04	CONCRETO CONVENCIONAL, fck > 25 Mpa – Preparo Transporte, Lançamento, Adensamento e Cura.	m ³	3,98	R\$ 372,82	R\$ 1.483,82
01.05	DESFORMA	m ²	47,89	R\$ 2,55	R\$ 122,12
CUSTO TOTAL					R\$ 10.204,78
CUSTO POR m²					R\$ 204,10

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 121

GRÁFICO 5 – Percentual do custo unitário na laje maciça com 50 m² (LDD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 122

GRÁFICO 6 – Percentual do custo unitário na laje nervurada com 50 m² (LDD)

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010, p. 123

4.4 Comparativos de custo final

4.4.1 Análise de custos para as lajes

TABELA 7 – Comparativo econômico entre as lajes maciças e nervuradas (LDD)

ÁREA (m ²)	MACIÇA	NERVURADA	MELHOR OPÇÃO
12	R\$ 148,94	R\$ 163,99	MACIÇA
25	R\$ 172,62	R\$ 184,81	MACIÇA
50	R\$ 221,94	R\$ 204,10	NERVURADA

Fonte: NOGUEIRA, CASTRO, 2010 (Adaptada)

Diante dos valores apresentados, na TAB. 7, verificou-se que para estruturas com 12 e 25 metros quadrados, armada em duas direções, o menor custo foi da laje maciça. Devido ao menor custo das fôrmas de madeiras comparadas as fôrmas de polipropileno utilizadas na laje nervurada.

Para estruturas com 50 metros quadrados, armada em duas direções, nota-se que as lajes nervuradas apresentaram-se mais viáveis. Com o aumento dos vãos, as lajes maciças adotam espessuras maiores, aumentando consideravelmente o consumo de concreto, elevando o custo das lajes maciças comparadas às nervuradas.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo das lajes nervuradas, que identifica suas vantagens e desvantagens, ressaltando as características que as destacam no aspecto construtivo, tais como: agilidade e facilidade de produção, assim como, o modo de execução. Foi feita uma análise comparativa de preços entre as lajes nervuradas e as lajes maciças demonstrando o valor por metro quadrado de cada uma.

Percebe-se que para áreas de 12 e 25 m², as lajes maciças são mais econômicas, à medida que os vãos aumentam, ultrapassando 5 metros, as lajes maciças têm seu custo elevado, devido ao maior consumo de concreto ocasionado pela maior espessura.

Para as lajes nervuradas, com 12, 25 e 50 metros quadrados, o aço representa um percentual médio de 24,33% do custo total e o concreto de 14,33%, e para as lajes maciças, tem-se 26,33% e 19,67% respectivamente, percebe-se que para as lajes nervuradas o custo do concreto e aço é menor se comparados às lajes maciças. Porém, analisando os custos relativos às fôrmas, sendo 4,67% do custo total médio para a maciça e 13,67% para a laje nervurada, verificando-se o fator que representa a maior desvantagem econômica da laje nervurada.

As lajes nervuradas apresentaram-se como uma solução mais econômica para lajes armadas em duas direções com áreas de 50 m², por ser um sistema construtivo rápido e econômico, devido à ausência de vigas e menores números de pilares se comparadas às lajes maciças, justificando esta opção para edifícios de médio e grande porte.