



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII - ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE – CCT'S
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARCUS VINÍCIUS ABREU CRUZ

**ESTUDO COMPARATIVO ESTRUTURAL E ECONÔMICO ENTRE LAJES
NERVURADAS E LAJE MACIÇA PARA UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

ARARUNA – PB
2015

MARCUS VINÍCIUS ABREU CRUZ

ESTUDO COMPARATIVO ESTRUTURAL E ECONÔMICO ENTRE LAJES
NERVURADAS E LAJE MACIÇA PARA UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia civil da Universidade
Estadual da Paraíba, em cumprimento à
exigência para obtenção do grau
Bacharel em Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Msc. Wesley Imperiano Gomes de Melo

ARARUNA – PB

2015

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C955e Cruz, Marcus Vinícius Abreu
Estudo comparativo estrutural e econômico entre lajes nervuradas e laje maciça para um edifício residencial [manuscrito] / Marcus Vinícius Abreu Cruz. - 2015.
87 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2015.

"Orientação: Me. Wesley Imperiano Gomes de Melo, Departamento de Engenharia Civil".

1. Concreto armado. 2. Lajes . 3. Estruturas. I. Título.

21. ed. CDD 624.183 41

MARCUS VINÍCIUS ABREU CRUZ

**ESTUDO COMPARATIVO ESTRUTURAL E ECONÔMICO ENTRE LAJES
NERVURADAS E LAJE MACIÇA PARA UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia civil da Universidade
Estadual da Paraíba, em cumprimento à
exigência para obtenção do grau
Bacharel em Engenheiro Civil.

Aprovada em: 10 / 06 / 2015

Banca Examinadora:

Wesley Imperiano Gomes de Melo

Prof. Msc.: Wesley Imperiano Gomes de Melo (Orientador)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Maria das Vitórias do Nascimento

Prof. Msc.: Maria das Vitórias do Nascimento

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Laércio Leal dos Santos

Prof. Dr.: Laércio Leal dos Santos

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha querida mãe Silvia Cristina pelo seu amor, por acreditar na minha capacidade e nos meus sonhos. Tornando-os uma realidade e *in memoriam* a minha avó Isabel.

"Deus nos fez perfeitos e não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo, só depende de nossa vontade e perseverança."

Albert Einstein

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por todas as oportunidades que me foram concedidas e por ter dado a chance de concluir mais uma etapa da minha vida.

Aos meus pais, pelo apoio total e irrestrito em todas as fases da minha vida, pelos ensinamentos e pela educação que me concederam na formação do meu caráter.

Aos meus irmãos João Victor e Isabela Cristina pelo carinho e paciência.

As minhas Tias Iara Velez, Fátima Cruz e meu tio Paulo Henrique por todo apoio, dedicação e créditos a mim empregados, acreditando na minha capacidade.

Agradeço aos meus avós Sebastião Velez e Odenite Cruz, e *in memoriam* Isabel Abreu e José Gomes, pelos esforços em tentar sempre me fazer feliz e pelo imenso carinho e atenção em todas as etapas da minha vida.

A minha namorada Kelly Nóbrega pela ajuda, serenidade e compreensão em toda esta difícil trajetória.

A todos os meus amigos, em especial, Thamyres Medeiros, Geice Ribeiro, Edjanilson Sousa pelo apoio, ajuda e paciência, à Iza Porto, Simone Lins e Eliane Nascimento pelo convívio, pela amizade e cumplicidade nas dificuldades e alegrias dessa jornada.

Aos Engenheiros Civis, André Felipe e Anderson Rodrigues, pelos conselhos e pelos valiosos e inestimáveis ensinamentos da prática de engenharia durante a graduação.

Aos Engenheiros Civis, João Carlos Lopes e Ricardo Angelim pelos ensinamentos e colaborações neste trabalho.

Ao meu orientador Wesley Imperiano Gomes de Melo, por sua paciência e enorme contribuição a meu aprendizado, com ensinamentos importantes para a realização desse trabalho.

Aos meus amigos que participaram, direta ou indiretamente, me apoiando, seja com palavras ou ações, que contribuíram para a realização deste trabalho.

E por fim, agradeço a UEPB, por minha formação, pelos professores e os demais funcionários que conheci, pelas oportunidades dadas e pelo grande orgulho que carregou dentro de mim de ser Engenheiro.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar as vantagens estruturais e econômicas de uma laje nervurada em relação a uma laje maciça tomando como objeto de estudo o pavimento de um edifício residencial, analisando assim o consumo de materiais da mesma a fim de se obter um melhor aproveitamento tanto do concreto quanto do aço, a partir dos esforços e deslocamento da estrutura. No presente trabalho são apresentados definições e características da laje nervurada e laje maciça, como também os critérios de dimensionamento os quais abrange as considerações em relação ao cobrimento nominal, classe de agressividade do ambiente no concreto e aço, os estados limites de esforços e as cargas que devem ser considerados para o cálculo das lajes. Tudo em conformidade com a norma NBR 6118/2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento). Nesse contexto é feita uma explanação do uso das lajes nervuradas e maciças e sua aplicação em toda a construção civil, que a cada dia se torna mais ousada necessitando de sistemas estruturais cada vez mais eficientes. O estudo é feito tomando como base um pavimento, utilizando-se de uma laje maciça em concreto armado e uma laje nervurada, após a comparação dos resultados obtidos é feita uma discussão sobre os mesmo a partir do tema abordado no desenvolvimento do trabalho. Finalmente, conclui-se o tipo de laje mais indicada tendo em vista os aspectos estruturais e a viabilidade econômica.

Palavras chaves: Lajes Nervuradas. Lajes Maciças. Concreto Armado.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the structural and economic advantages of a ribbed slab against a slab taking as object of study the floor of a residential building, thus analyzing the consumption of materials of the same in order to obtain a better use both Concrete as steel, from the shift effort and structure. In this work are presented definitions and characteristics of ribbed slabs and slab, as well as the design criteria which covers the considerations in relation to nominal coatings, environmental aggressiveness class in concrete and steel, the boundaries of states efforts and charges that should be considered for the calculation of the slabs. All in accordance with the NBR 6118/2014 (concrete structures Project - Procedure). In this context it explains the use of ribbed and solid slabs and their application throughout the construction, which every day becomes more bold in need of structural systems more efficient. So the study is done on the basis the floor, using a slab of reinforced concrete and a ribbed slab, after a comparison of the results is made a discussion of the same from the themes addressed in the development of the work. Finally, indicate the type most suitable slab given the structural and economic viability.

Key words: Ribbed slabs. Massive slabs. Armed concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Laje armada sobre vigas.....	19
Figura 02 - Vãos da laje armada em uma direção.....	20
Figura 03 - Vãos da laje armada em duas direções.....	21
Figura 04 - Momentos fletores em laje armada em uma direção.....	22
Figura 05 - Laje armada em uma direção sobre apoios simples e com carregamento uniforme.....	22
Figura 06 - Laje armada em uma direção sobre apoio simples e engaste perfeito com carregamento uniforme.....	23
Figura 07 - Laje armada em uma direção sobre apoio simples e engaste perfeito com carregamento uniforme.....	23
Figura 08 - Laje em balanço armada em uma direção.....	24
Figura 09 - Situação de vinculação das placas isoladas constantes.....	25
Figura 10 - Matérias inertes e a fôrmas.....	30
Figura 11 - Disposição do aço na laje nervurada.....	30
Figura 12 - Aspecto final da laje nervurada.....	30
Figura 13 - Corte da laje nervurada com as nervuras aparente.....	31
Figura 14 - Corte da laje nervurada usando materiais inerte.....	32
Figura 15 - Seção típica e dimensões mínima.....	32
Figura 16 - Dimensões à ser considerada para o cálculo do volume de concreto.....	33
Figura 17 - Armaduras transversais e longitudinais da laje maciça.....	36
Figura 18 - Concretagem da laje maciça.....	36
Figura 19 - Aspecto final da laje maciça.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Coeficiente μ_x, μ_y, μ'_x , e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 1,2 e 3).....	26
Tabela 02 - Coeficiente μ_x, μ_y, μ'_x , e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 3,4 e 5).....	27
Tabela 03 - Coeficiente μ_x, μ_y, μ'_x , e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 6,7 e 9).....	28
Tabela 04 - Classes de agressividade ambiental. Fonte NBR 6118/2014.....	39
Tabela 05 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm. Fonte NBR 6118/2014.....	41
Tabela 06 - Limites para Deslocamentos. Fonte NBR 6118/2014.....	42
Tabela 07 - Taxa mínima de armadura de flexão. Fonte NBR 6118/2014.....	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Custo percentual para laje maciça.....	60
Gráfico 02 - Custo percentual para laje nervurada com cubas plásticas.....	61
Gráfico 03 - Custo total de cada sistema estrutural.....	62

LISTA DE QUADRO

Quadro 01 - O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes maciças.....	49
Quadro 02 - O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes nervurada.....	50
Quadro 03 - Consumo de materiais para cada sistema estrutural.....	50
Quadro 04 - Composição de Concreto.....	51
Quadro 05 - Composição de aço CA 50 diâmetros utilizados para laje maciça.....	52
Quadro 06 - Tabelas para aço utilizados para a laje maciça.....	52
Quadro 07 - Composição de fôrma.....	53
Quadro 08 - Resumo da composição – laje maciça.....	54
Quadro 09 - Composição de Cubetas plásticas para laje nervurada.....	54
Quadro 10 - Resumo da quantidade de cubetas utilizadas.....	55
Quadro 11 - Resumo da composição laje nervurada com cubas plásticas.....	55
Quadro 12 - Consumo de material paras as vigas - Laje maciça.....	56
Quadro 13 - Resumo do quantitativo paras as vigas - Laje maciça.....	56
Quadro 14 - Resumo do quantitativo paras os pilares - Laje maciça.....	57
Quadro 15 - Resumo do quantitativo paras as vigas - Laje Nervurada.....	57
Quadro 16 - Resumo do quantitativo paras as vigas - Laje Nervurada.....	58
Quadro 17 - Resumo do quantitativo paras os pilares - Laje Nervurada.....	58
Quadro 18 - Resumo do quantitativo paras os pilares - Laje Nervurada.....	59
Quadro 19 - Resumo dos custos- laje maciça.....	59
Quadro 20 - Resumo do custo das lajes nervuradas com cubas plásticas.....	60
Quadro 21 - Resultado final para as lajes estudadas.....	62

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Relação dos vão para laje armada em uma direção.....	20
Equação 02 - Relação dos vão para laje armada em duas direção.....	21
Equação 03 - Equação do cálculo dos parâmetros em relação aos vãos	25
Equação 04 - Equação para as reações nas lajes	28
Equação 05 - Equações para os momentos nas lajes	28

LISTA DE SIGLAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ELU - ESTADO LIMITE ÚLTIMO

ELS - ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

F_{ck} - RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO

SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL

NBR - NORMAS BRASILEIRAS

SUMARIO

1.INTRODUÇÃO.....	16
2.OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 ESTUDO SOBRE AS LAJES.....	19
3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS LAJES QUANTO À DIREÇÃO DA ARMADURA PRINCIPAL.....	20
3.2.1 Laje armada em uma direção.....	20
3.2.2 Laje armada em duas direções	21
3.3 MOMENTOS FLETORES SOLICITANTES.....	21
3.3.1 Laje armada em uma direção.....	22
3.3.2 Laje armada em duas direções.....	24
3.4 LAJE NERVURADA.....	29
3.4.1 Tipos de lajes nervuradas.....	31
3.4.1.1 Lajes nervuradas moldadas no local.....	31
3.4.2 Composição do carregamento da laje nervurada.....	32
3.4.3 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas moldadas no local.....	33
3.4.4 Dimensões e prescrições da NBR 6118/2014 para as lajes nervuradas de concreto armado.....	34
3.5 LAJE MACIÇA.....	35
3.5.1 Vantagens e desvantagens das lajes maciças.....	37
3.5.2 Espessura mínima das lajes maciças.....	38
3.5.3 Critério para o dimensionamento das lajes.....	38
3.5.3.1 Classe de agressividade ambiental.....	38
3.6 ESTADOS LIMITES.....	29
3.6.1 Estado limite último (ELU).....	39
3.6.2 Estado limite de Serviço (ELS).....	40
3.7 COBRIMENTO NOMINAL.....	40
3.8 DESLOCAMENTO LIMITES.....	41
3.9 TAXAS DE ARMADURA MÁXIMA E MÍNIMA.....	43

4. MÉTODO DE PESQUISA.....	44
4.1 METODOLOGIA.....	44
4.4.1 Considerações iniciais.....	44
4.2 TIPOLOGIA E CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS.....	45
4.3 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO ESTRUTURAL.....	45
4.4 CARGAS CONSIDERADAS NO PROJETO.....	45
4.5 CRITÉRIOS PARA OS CÁLCULOS DOS CUSTOS.....	46
5. FERRAMENTAS DE CÁLCULOS E ANÁLISE ESTRUTURAL.....	47
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
6.1 DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS PARA CADA SISTEMA ESTRUTURAL ADOTADO.....	49
6.1.1 Laje maciça.....	49
6.1.2 Laje nervurada com cubas plásticas (cubetas).....	49
6.2 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS.....	51
6.2.1 Composições auxiliares.....	51
6.2.2 Composição para laje maciça.....	54
6.2.3 Composição para as lajes nervuradas com cubas plásticas.....	55
6.2.4 Composição para vias e pilares com laje maciça.....	56
6.2.5 Composição para vigas e pilares com laje nervuradas com cubas plásticas.....	58
6.3 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS.....	60
6.3.1 Laje maciças.....	60
6.3.2 Lajes nervuradas com cubas plásticas.....	61
6.4 COMPARATIVO DOS CUSTOS ENTRE AS LAJES.....	62
7. CONCLUSÃO.....	63
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
REFERÊNCIAS.....	66
ANEXOS.....	67

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de vários anos vem se observando uma grande e espantosa evolução da engenharia civil, principalmente no que se refere na área das estruturas, atualmente existem diversos sistemas estruturais tudo isso devido à necessidade que a construção civil tem de se tornar mais ousada procurando sempre o máximo de eficiência com o menor custo.

Hoje um dos principais materiais utilizados na construção civil é representado pelo concreto e o aço, que possuem ótimas características no que se diz respeito à performance e resistência. Com ajuda da tecnologia pôde-se desenvolver novos materiais ou aditivos que quando incorporado ao concreto pode-se garantir melhorias de qualidade, durabilidade e resistência, e em decorrência disso surgiram concretos de alto desempenho e outros tipos que quando utilizado de forma adequada produz estruturas mais seguras e duráveis.

Da mesma forma o aço é considerado uma das mais importantes e versáteis ligas metálicas, e com o desenvolvimento da tecnologia e da indústria obteve-se o conhecido aço-carbono que tem várias aplicações em estruturas de aço, concreto armado e concreto protendido, portanto novas técnicas e materiais vêm sendo utilizados a fim de melhorar o desempenho das construções e fazer com que os gastos com a execução fiquem cada vez menores.

Atualmente existem várias discussões no que se diz respeito as diferenças quanto a viabilidade técnica e econômica referente às lajes nervuradas e maciças. As lajes maciças tiveram seu uso difundido devido a sua simplicidade ao longo dos tempos até os dias de hoje, enquanto que as lajes nervuradas patenteadas por William Boutland Wilkinson só vieram surgir no âmbito da construção civil a partir de 1854, desta forma essas lajes são eficazes cada uma possuindo suas características próprias.

As lajes nervuradas, por apresentarem maior altura útil, resistem melhor aos esforços de flexão, sendo possível introduzir vãos maiores isso devido ao menor consumo de material consequentemente a diminuição do peso, visto que, o concreto que seria tracionado na parte inferior é substituído por um material inerte ou é simplesmente deixado um espaço vazio. Mas nem sempre as lajes nervuradas são mais adequadas em relação as maciças, quando se refere a execução, espessuras mínimas encontradas na norma, facilidade de obtenção das fôrmas, etc.

Visando a atual necessidade do mercado da construção civil em adquirir novas técnicas que otimize o tempo, sem que com isso eleve significativamente o custo da obra, possibilitando facilidades na execução da obra e atendimento das flexibilidades pessoais de cada cliente, surge à ideia de estudar sistemas estruturais diferentes e seus respectivos resultados. Assim cabe ao engenheiro no seu dia-a-dia adaptar as situações solicitadas aos sistemas mais viáveis.

O principal objetivo deste trabalho é a comparação econômica e estrutural entre laje nervurada e laje maciça usada para o edifício tomado para a elaboração deste estudo, como também avaliar seu desempenho, aspectos econômicos, executivos e a viabilidade do projeto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho consiste na determinação de qual tipo de laje mais usada na construção civil, maciça ou nervurada, possui o menor consumo de aço e de concreto para a construção de um edifício residencial de 04 pavimentos, considerando assim o melhor aproveitamento destes materiais permitindo a melhor relação custo-benefício.

2.2 Objetivos Específicos

Comparar o consumo de concreto, aço e fôrmas;

Elaborar um orçamento através das tabelas do SINAPI, e obter o método mais viável;

Comparar os métodos pelo seu desempenho construtivos

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESTUDO SOBRE AS LAJES

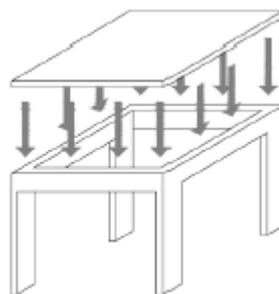
As lajes são classificadas como elementos planos bidimensionais, que são aquelas onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura. As lajes são também chamadas elementos de superfície, ou placas. Destinam-se a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, normalmente de pessoas, móveis, pisos, paredes, e os mais variados tipos de carga que podem existir em função da finalidade arquitetônica do espaço que a laje faz parte.

As ações são comumente perpendiculares ao plano da laje, podendo ser divididas em distribuídas na área, distribuídas linearmente ou forças concentradas. Embora menos comuns, também podem ocorrer ações externas na forma de momentos fletores, normalmente aplicados nas bordas das lajes. As ações são geralmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, mas eventualmente também podem ser transmitidas diretamente aos pilares, quando são chamadas lajes lisas.

De acordo com Carvalho e Pinheiro (2009), ao se efetuar os cálculos usando-se tabelas nas lajes maciças, admite-se implicitamente que as vigas de contorno sejam indeslocáveis, ou seja, a inércia dessas vigas não é considerada.

As lajes podem ser de vários tipos segundo seu método construtivo, dentre elas podemos citar, maciça, nervuradas, lisas e protendidas, mas o presente trabalho foca em analisar somente as lajes nervuradas e maciças, onde serão abordadas a seguir.

Figura 01 – Laje armada sobre vigas.



Fonte: Libânio (2003)

3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS LAJES QUANTO À DIREÇÃO DA ARMADURA PRINCIPAL

Uma classificação muito importante das lajes de concreto armado é aquela referente à direção ou direções da armadura principal, havendo dois casos: laje armada em uma direção e laje armada em duas direções.

3.2.1 Laje armada em uma direção

As lajes armadas em uma direção são bem retangulares, em relação ao lado maior e o lado menor superior a dois conforme representa a Figura 02.

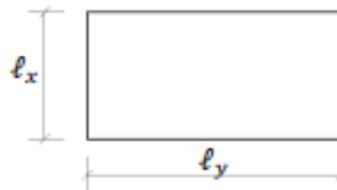
Equação 01- Relação dos vãos para laje armada em uma direção

$$\lambda = \frac{L_y}{L_x} > 2$$

Onde: L_x = Lado menor

L_y = Lado maior

Figura 02 – Vãos da laje armada em uma direção.



Fonte: Libânio (2003)

Os esforços solicitantes de maior magnitude ocorrem segundo a direção do menor vão, chamada direção principal. Na outra direção, chamada secundária, os esforços solicitantes são bem menores e, por isso, são comumente desprezados nos cálculos (BASTOS, 2005).

As lajes armadas em uma direção possuem armaduras nas duas direções. A armadura principal é na direção do menor vão e é calculada para resistir o momento fletor nessa direção, obtido ignorando-se a existência da outra direção. Portanto, a laje é calculada como se fosse um conjunto de vigas-faixa na direção do menor vão.

Na direção do maior vão, coloca-se armadura de distribuição, com seção transversal mínima dada pela NBR 6118/2014. Como a armadura principal é calculada para resistir à

totalidade dos esforços, a armadura de distribuição tem o objetivo de solidarizar as faixas de laje da direção principal, prevendo-se, por exemplo, uma eventual concentração de esforços.

3.2.2 Laje armada em duas direções

Nas lajes armadas em duas direções comumente dita armada em cruz os esforços solicitantes são importantes segundo as duas direções principais da laje. A relação entre os lados é menor que dois como mostra a figura 03.

Equação 02 – Relação dos vãos para laje armada em duas direções

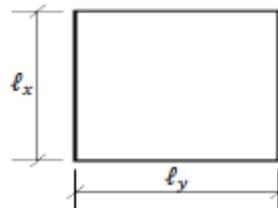
$$\lambda = \frac{L_y}{L_x} < 2$$

Onde: L_x = Lado menor

L_y =Lado maior

Nas lajes armadas em cruz (duas direções), as armaduras são calculadas para resistir os momentos fletores nessas direções.

Figura 03 – Vãos da laje armada em duas direções



Fonte: Libânio (2003)

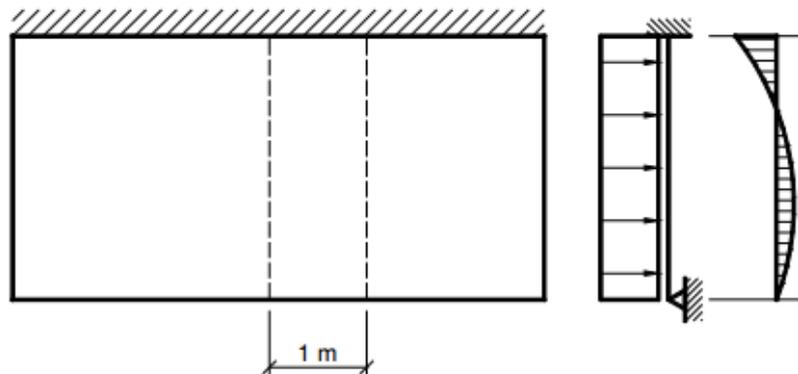
3.3 MOMENTOS FLETORES SOLICITANTES

Para os cálculos dos momentos fletores e as flechas das lajes maciças, os mesmos são determinados segundo a armação da laje, uma direção ou em duas direções. Para as lajes armadas em uma direção as mesmas são calculadas como vigas em relação à direção principal e as lajes armadas em duas direções podem ser aplicadas as teorias existente, como por exemplo a Teoria da Elasticidade e a das Charneiras Plásticas.

3.3.1. Lajes Armadas em Uma direção

Para o caso das lajes armadas em uma direção considera-se que a flexão na direção do menor vão é superior à da outra direção da laje, de modo que a laje será suposta como uma viga com largura constante, segundo a direção principal da laje. Na direção secundária desprezam-se os momentos fletores existentes.

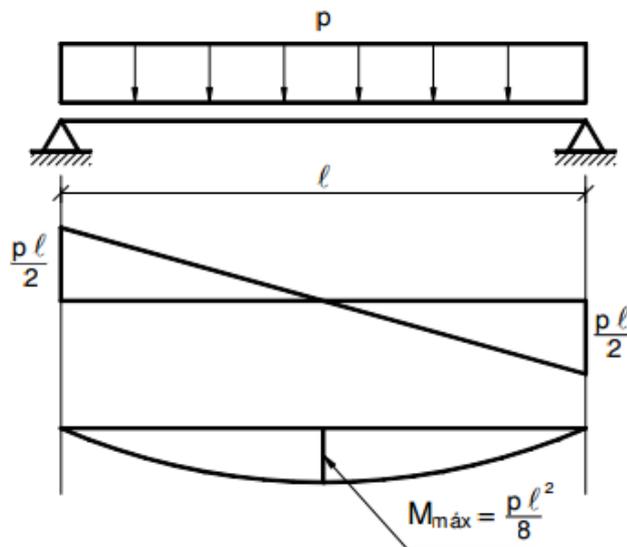
Figura 04 – Momentos fletores em laje armada em uma direção.



Fonte: Bastos (2015)

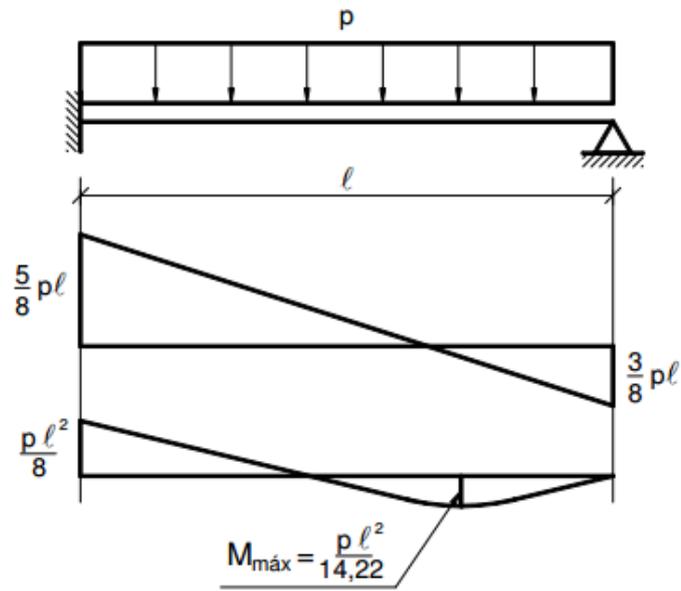
As figuras abaixo apresentam os tipos de vinculação possíveis de existir quando se consideram apenas apoios simples e engastes perfeitos. As equações para cálculo das reações de apoio, momentos fletores máximos e flechas imediatas, para carregamento uniformemente distribuído são indicados a seguir.

Figura 05 - Laje armada em uma direção sobre apoios simples e com carregamento uniforme.



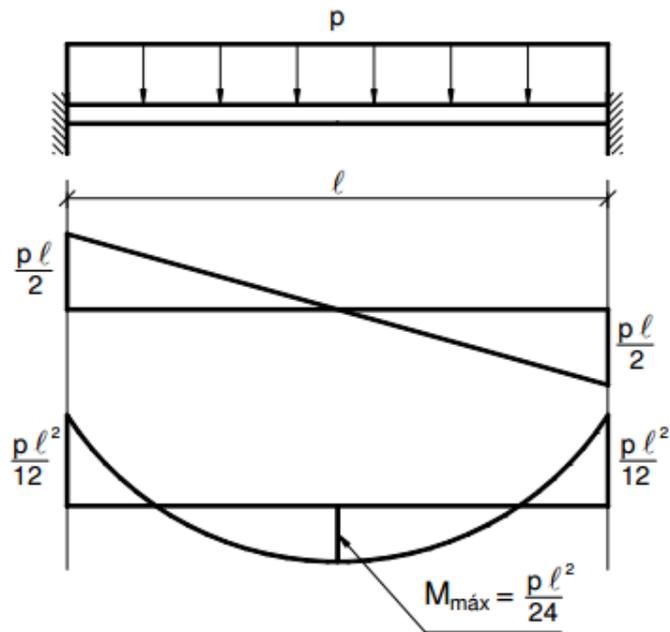
Fonte: Bastos (2015)

Figura 06 - Laje armada em uma direção sobre apoio simples e engaste perfeito com carregamento uniforme.



Fonte: Bastos (2015)

Figura 07 - Laje armada em uma direção sobre apoio simples e engaste perfeito com carregamento uniforme.



Fonte: Bastos (2015)

Para as lajes em balanço, por exemplo: marquises e varandas, também são consideradas como lajes armadas em uma direção, onde são calculadas como viga segundo a direção do menor vão, como mostra a figura abaixo.

Figura 08 - Laje em balanço armada em uma direção.



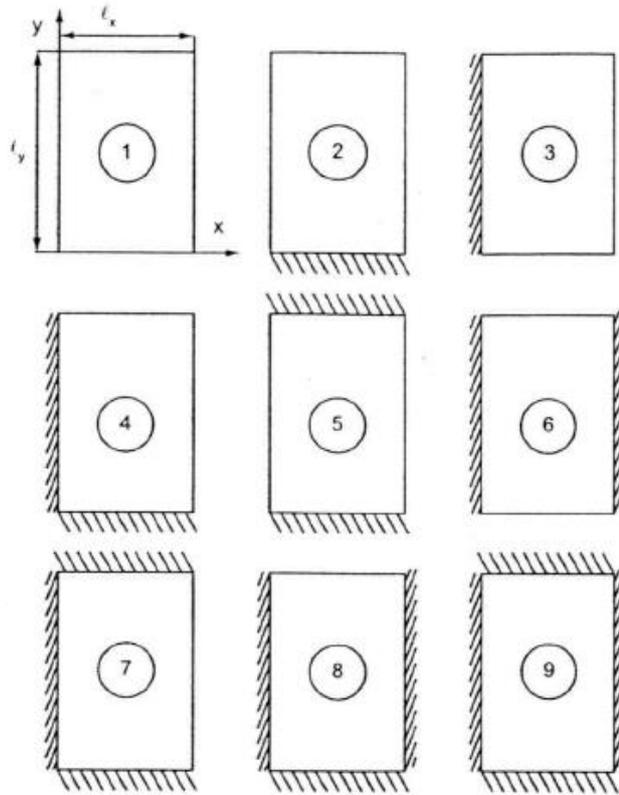
Fonte: Bastos (2015).

3.3.2. Lajes em Duas Direções

O comportamento das lajes armadas em duas direções, apoiadas em todos os lados, é bem diferente das lajes armadas em uma direção, de modo que o seu cálculo é bem mais complexo se comparado ao das lajes armadas em uma direção.

Para os cálculos das reações e dos momentos das lajes nas vigas, onde se recorre a utilização dos quadros, o processo de cálculo de placas por série é bastante adequada para o uso dos quadros, os quais facilmente possibilitam determinar momentos fletores máximos e deslocamentos máximos (flechas) a partir da geometria e das condições de vinculação da placa. Para isso o pavimento deve ser discretizado, ou seja, cada laje ser tratada individualmente, de acordo com suas vinculações. Os tipos de vinculações podem ser definido de acordo com a imagem abaixo.

Figura 09 – Situação de vinculação das placas isoladas constantes.



Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
-----	—————	// // // // //

Fonte: Chust (2007)

Para encontrar os coeficientes nos quadros é preciso calcular o parâmetro λ , que reflete a geometria da laje, expresso por:

Equação 03- Equação do cálculo dos parâmetros em relação aos vãos

$$\lambda = \frac{Ly}{Lx}$$

Através desse valor, encontramos na tabela 01 os valores para as reações das lajes nas vigas.

Tabela 01 - Coeficiente μ_x , μ_y , μ'_x , e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 1, 2 e 3).

Λ	CASO 1		CASO 2			CASO 3		
	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y
1,00	4,41	4,41	3,07	3,94	8,52	3,94	8,52	3,07
1,05	4,80	4,45	3,42	3,78	8,79	4,19	8,91	2,82
1,10	5,18	4,49	3,77	3,90	9,18	4,43	9,30	2,76
1,15	5,56	4,49	4,14	3,97	9,53	4,64	9,63	2,68
1,20	5,90	4,48	4,51	4,05	9,88	4,85	9,69	2,59
1,25	6,27	4,45	4,88	4,10	10,16	5,03	9,95	2,51
1,30	6,60	4,42	5,25	4,15	10,41	5,20	10,22	2,42
1,35	6,93	4,37	5,60	4,18	10,64	5,36	10,48	2,34
1,40	7,25	4,33	5,95	4,21	10,86	5,51	10,71	2,25
1,45	7,55	4,30	6,27	4,19	11,05	5,64	10,92	2,19
1,50	7,86	4,25	6,60	4,18	11,23	5,77	11,10	2,12
1,55	8,12	4,20	6,90	4,17	11,39	5,87	11,27	2,04
1,60	8,34	3,14	7,21	4,14	11,55	5,93	11,42	1,95
1,65	8,62	4,07	7,42	4,12	11,67	6,07	11,55	1,87
1,70	8,86	4,00	7,62	4,09	11,79	6,16	11,67	1,79
1,75	9,06	3,96	7,66	4,05	11,88	6,24	11,80	1,74
1,80	9,27	3,91	7,69	3,99	11,96	6,31	11,92	1,68
1,85	9,45	3,83	8,22	3,97	12,03	6,38	12,04	1,64
1,90	9,63	3,75	8,74	3,94	12,14	6,43	12,14	1,59
1,95	9,77	3,71	8,97	3,88	12,17	6,47	12,24	1,48
2,00	10	3,64	9,18	3,80	12,20	6,51	12,29	1,48
∞	12,57	3,77	9,18	3,80	12,20	7,61	12,76	1,48

Fonte: Chust (2007)

Tabela 02 - Coeficiente μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 3, 4 e 5).

λ			CASO 3		CASO 4			CASO 5		
	μ_x	μ_x'	μ_y	μ_y'	μ_x	μ_y	μ_y'	μ_x	μ_x'	μ_y
1,00	2,81	6,99	2,15	6,99	2,15	3,17	6,99	3,07	3,94	8,52
1,05	3,05	7,43	2,47	7,18	2,47	3,32	7,43	3,42	3,78	8,79
1,10	3,30	7,87	2,78	7,36	2,78	3,47	7,87	3,77	3,90	9,18
1,15	3,53	8,28	3,08	7,5	3,08	3,58	8,26	4,14	3,97	9,53
1,20	3,76	8,69	3,7	7,63	3,38	3,70	8,65	4,51	4,05	9,88
1,25	3,96	9,03	3,8	7,72	3,79	3,80	9,03	4,88	4,10	10,16
1,30	4,16	9,37	3,9	7,81	4,15	3,90	9,33	5,25	4,15	10,41
1,35	4,33	9,65	3,96	7,88	4,50	3,96	9,69	5,60	4,18	10,64
1,40	4,51	9,93	4,03	7,94	4,85	4,03	10,00	5,95	4,21	10,86
1,45	4,66	10,41	4,09	8,000	5,19	4,09	10,25	6,27	4,19	11,05
1,50	4,81	10,62	4,14	8,06	5,53	4,14	10,49	6,60	4,18	11,23
1,55	4,93	10,82	4,16	8,09	5,86	4,16	10,91	6,90	4,17	11,39
1,60	5,06	10,99	4,17	8,12	6,18	4,17	11,08	7,21	4,14	11,55
1,65	5,16	11,16	4,14	8,14	6,48	4,14	11,24	7,42	4,12	11,67
1,70	5,27	11,30	4,12	8,15	6,81	4,12	11,39	7,62	4,09	11,79
1,75	5,36	11,43	4,12	8,16	7,11	4,12	11,43	7,66	4,05	11,88
1,80	5,45	11,55	4,1	8,17	7,41	4,10	11,65	7,69	3,99	11,96
1,85	5,53	11,67	4,08	8,17	7,68	4,08	11,77	8,22	3,97	12,03
1,90	5,60	11,78	4,04	8,18	7,95	4,04	11,83	8,74	3,94	12,14
1,95	5,67	11,89	3,99	8,19	8,21	3,99	11,88	8,97	3,88	12,17
2,00	5,74	12,50	3,92	8,20	8,47	3,92	11,88	9,18	3,80	12,20
∞	7,06	12,50	4,13	8,20	12,58	4,13	11,88	9,18	3,80	12,20

Fonte: Chust (2007)

Tabela 03 - Coeficiente μ_x , μ_y , μ'_x e μ'_y para o cálculo dos momentos máximos em lajes retangulares uniformemente carregadas (Caso 6, 7 e 9).

λ			CASO 6		CASO 7			CASO 9		
	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y
1,00	2,81	4,41	2,15	3,07	3,94	6,99	2,15	3,17	6,99	8,52
1,05	3,05	4,45	2,47	3,42	3,78	7,43	2,47	3,32	7,43	8,79
1,10	3,30	4,49	2,78	3,77	3,90	7,87	2,78	3,47	7,87	9,18
1,15	3,53	4,49	3,08	4,14	3,97	8,28	3,08	3,58	8,26	9,53
1,20	3,76	4,48	3,7	4,51	4,05	8,69	3,7	3,70	8,65	9,88
1,25	3,96	4,45	3,8	4,88	4,10	9,03	3,8	3,80	9,03	10,16
1,30	4,16	4,42	3,9	5,25	4,15	9,37	3,9	3,90	9,33	10,41
1,35	4,33	4,37	3,96	5,60	4,18	9,65	3,96	3,96	9,69	10,64
1,40	4,51	4,33	4,03	5,95	4,21	9,93	4,03	4,03	10,00	10,86
1,45	4,66	4,30	4,09	6,27	4,19	10,41	4,09	4,09	10,25	11,05
1,50	4,81	4,25	4,14	6,60	4,18	10,62	4,14	4,14	10,49	11,23
1,55	4,93	4,20	4,16	6,90	4,17	10,82	4,16	4,16	10,91	11,39
1,60	5,06	3,14	4,17	7,21	4,14	10,99	4,17	4,17	11,08	11,55
1,65	5,16	4,07	4,14	7,42	4,12	11,16	4,14	4,14	11,24	11,67
1,70	5,27	4,00	4,12	7,62	4,09	11,30	4,12	4,12	11,39	11,79
1,75	5,36	3,96	4,12	7,66	4,05	11,43	4,12	4,12	11,43	11,88
1,80	5,45	3,91	4,1	7,69	3,99	11,55	4,1	4,10	11,65	11,96
1,85	5,53	3,83	4,08	8,22	3,97	11,67	4,08	4,08	11,77	12,03
1,90	5,60	3,75	4,04	8,74	3,94	11,78	4,04	4,04	11,83	12,14
1,95	5,67	3,71	3,99	8,97	3,88	11,89	3,99	3,99	11,88	12,17
2,00	5,74	3,64	3,92	9,18	3,80	12,50	3,92	3,92	11,88	12,20
∞	7,06	3,77	4,13	9,18	3,80	12,50	4,13	4,13	11,88	12,20

Fonte: Chust (2007)

Os momentos fletores máximo e as reações nas direções x e y são determinados pelas equações:

Equação 04- Equação para as reações nas lajes

$$R = q x \frac{Lx}{10}$$

Equação 05- Equações para os momentos nas lajes

$$M = q x \frac{Lx^2}{100}$$

3.4 LAJES NERVURADAS

Com o crescimento acelerado da industrialização no Brasil houve também um crescimento no setor da construção civil, sendo que este setor é responsável pelo grande consumo de recursos naturais. Neste cenário de crescimento principalmente no setor da construção civil é de extrema importância à busca por sistemas construtivos sustentáveis que possa otimizar tempo, desperdícios e conseqüentemente o custo da obra.

O avanço da tecnologia e a evolução arquitetônica fez com que aumentasse a necessidade da utilização de vãos maiores e conseqüentemente tornaram antieconômico o projeto de lajes maciças. Devido a isso a laje nervurada surgiu como forma de solucionar esse problema, pois com a adição de material inerte, ou até mesmo de vazios nas lajes, possibilitou o aumento significativo da altura útil da laje sem que houvesse acréscimo de peso próprio ou aumento no custo da estrutura.

As lajes desempenham importantes funções nas estruturas dos edifícios, além de serem responsáveis pelo consumo de elevada parcela do volume total de concreto utilizado. Por esta razão, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de laje a serem empregadas nos edifícios de vários pisos.

A Laje nervurada é uma laje constituída de nervuras ou barras, interligadas por uma capa ou mesa de compressão. Em relação à laje maciça, a laje nervurada é mais econômica por eliminar o concreto desnecessário na região tracionada. Por ter mais altura que a maciça de mesma inércia, a laje nervurada reduz também a ferragem.

Atualmente existem duas formas de construir lajes nervuradas. Uma delas é a colocação de materiais inertes sobre fôrmas lisas, materiais esses que podem ser isopor, blocos de concreto leves, etc. Ao se concretar, os espaços vazios entre esses materiais formarão as nervuras e, sobre eles é formado a chamada mesa de concreto. A outra maneira é a utilização de fôrmas plásticas com dimensões pré-definidas, como mostrado nas figuras abaixo 10 e 11. Após concretada a laje nervurada apresentará o aspecto como mostrado na figura 12.

Figura 10 – matérias inertes e a fôrmas.



Fonte: Porto (2011).

Figura 11 – Disposição do aço na laje nervurada.



Fonte: Porto (2011).

Figura 12 – Aspecto final da laje nervurada.



Fonte: Porto (2011)

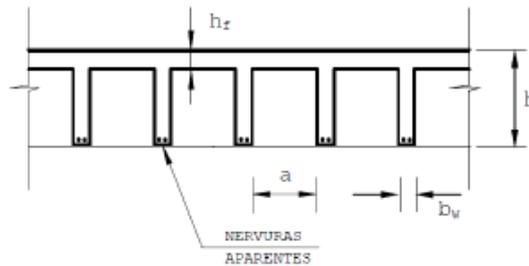
3.4.1 Tipos de lajes nervuradas

Dentre os vários tipos de lajes nervuradas encontradas no mercado, destacam-se dois tipos: as lajes moldadas no local e as pré-moldadas.

3.4.1.1 Lajes Nervuradas Moldadas no Local

As lajes moldadas no local, são as construídas na obra e na posição definitiva. Onde são empregados diversos materiais e formas. A figura 13 mostra o corte de uma laje nervurada.

Figura 13 – Corte da laje nervurada com as nervuras aparente.



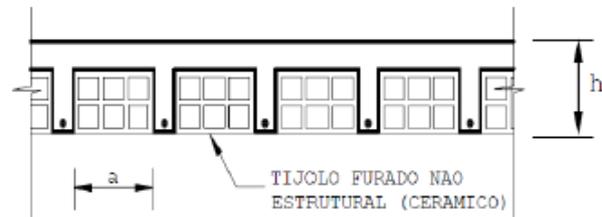
Fonte: Libânio (2003)

Para se obter a forma indicada pra uma laje nervurada moldada no local é necessário o uso de fôrmas, posicionado sobre um assoalho de madeira, apoiado em cimbramento e espaçado segundo especificações do projeto.

A fôrma inferior denominado assoalho é constituída por madeira compensada, com película plástica para evitar a absorção da água de amassamento do concreto, que são apoiadas nos chamados cimbramento que podem ser em escoras metálicas ou de madeira.

Como forma de evitar o uso de formas entre as nervuras da laje e a face inferior da mesa, geralmente são utilizados materiais inertes, tais como: Blocos de Poliestireno expandido - EPS (isopor), cerâmico, polipropileno ou de outros materiais, onde não possuem função estrutural, conforme mostra a figura 14.

Figura 14 – Corte da laje nervurada usando materiais inerte.



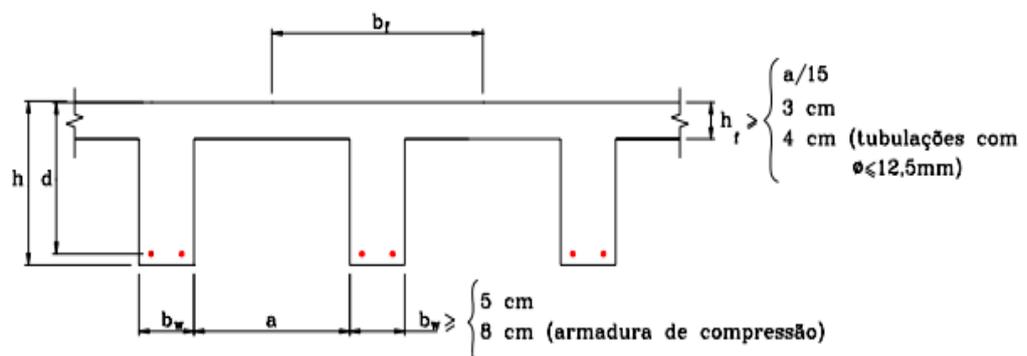
Fonte: Libânio (2003)

3.4.2 Composição do carregamento da laje nervurada

Para a composição do carregamento para a laje nervurada é feito os mesmos procedimentos que é realizado para a laje maciça.

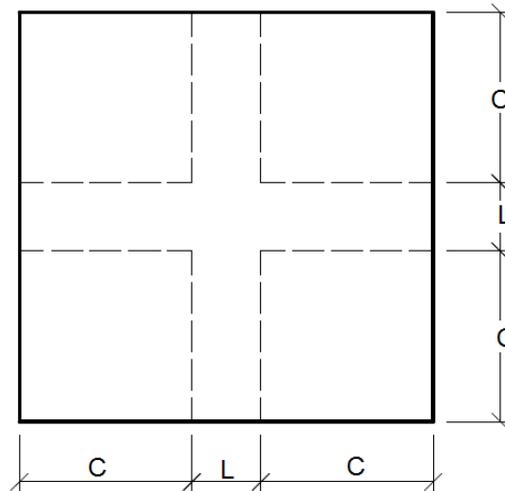
Primeiramente o cálculo do peso próprio é realizado, possuindo as dimensões da cubetas podemos obter o volume total de concreto que quando multiplicado pelo peso específico do concreto é encontrado o peso próprio da laje.

Figura 15 – Seção típica e dimensões mínima



Fonte: Libânio (2003)

Figura 16 – Dimensões à ser considerada para o cálculo do volume de concreto.



Fonte: Bastos (2015)

Por fim, o valor do peso próprio somado ao revestimento, acabamento e a carga acidental que é normatizada pela NBR 6120/2003, é estabelecido o valor do carregamento da laje.

Em seguida é feito o cálculo das reações da mesma forma que é obtido para o cálculo da laje maciça.

3.4.3 Vantagens e desvantagens das lajes nervuradas moldadas no local

Segundo BOCCHI JR e GIONGO (2010) as vantagens que as lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado apresentam são:

- ✓ Permitem vencer grandes vãos, liberando espaços, o que é vantajoso em locais como garagens, onde os pilares, além de dificultarem as manobras dos veículos, ocupam regiões que serviriam para vagas de automóveis;
- ✓ Podem ser construídas com a mesma tecnologia empregada nas lajes maciças;
- ✓ Versatilidade nas aplicações, podendo ser utilizadas em pavimentos de edificações comerciais, residenciais, educacionais, hospitalares, garagens, “shoppings centers”, clubes, etc.;
- ✓ São adequadas aos sistemas de lajes sem vigas, devendo manter-se regiões maciças apenas nas regiões dos pilares, onde há grande concentração de esforços;

- ✓ Em se tratando de grandes vãos, estas lajes apresentam deslocamentos transversais menores que os apresentados pelas lajes maciças e por aquelas com nervuras pré-fabricadas

Apesar das inúmeras vantagens, as lajes nervuradas moldadas no local de concreto armado apresentam uma série de desvantagens, destacando-se:

- ✓ Normalmente aumentam a altura total da edificação;
- ✓ Construção com maior número de operações na montagem;
- ✓ Dificuldade em projetar uma modulação única para o pavimento todo, de maneira que o espaçamento entre as nervuras seja sempre o mesmo;
- ✓ Exigem maiores cuidados durante a concretagem a fim de evitar que fiquem vazios nas nervuras, que costumam ser de pequena largura;
- ✓ Dificuldades na fixação dos elementos de enchimento, com a possibilidade de movimentação dos mesmos durante a concretagem;
- ✓ Resistência da seção transversal diferenciada em relação a momentos fletores positivos e negativos, necessitando de cálculo mais elaborado.

3.4.4 Dimensões e prescrições da nbr 6118/2014 para as lajes nervuradas de concreto armado

Para a determinação das dimensões utilizadas para a confecção das lajes nervuradas pode ser feita pelos conhecimentos adquiridos através da experiência profissional de um engenheiro projetista ou seguindo as recomendações indicadas nas normas principalmente na NBR 6118/2014, devendo assim respeitar as dimensões mínimas exigidas.

A laje nervurada em sua seção transversal apresenta dimensões que podem ser representadas por: espessura da mesa, espessura das nervuras, espaçamentos entre os eixos das nervuras e a altura total da laje.

Assim a NBR 6118/2014 prescreve em relação às espessuras da mesa e das nervuras no item 13.2.4.2 as seguintes recomendações:

- ✓ A espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas, precisa ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre nervuras e não menor que 3 cm; o valor mínimo absoluto deve ser 4 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm;

- ✓ A espessura das nervuras não podem ser inferior a 5 cm; nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão (caso de armadura dupla).

Sobre o espaçamento entre os eixos das nervuras, a NBR 6118/2014, no item 13.4.2.2, faz uma referência apenas para fim de determinação dos esforços solicitantes e verificação da segurança estrutural, onde precisam ser obedecidas as seguintes condições:

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

3.5 LAJES MACIÇAS

Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas. A laje maciça convencional é a mais utilizada e sua forma é a mais simples possível. Segundo Araújo (2003) define como laje maciça, As lajes de placas uniformes, apoiadas ao longo de seu contorno, predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos.

Nas pontes e edifícios de múltiplos pavimentos e em construções de grande porte, as lajes maciças são as mais comuns entre os diferentes tipos de laje existentes. As lajes maciças de concreto, com espessuras que normalmente variam de 7 cm a 15 cm, são projetadas para os mais variados tipos de construção, como edifícios de múltiplos pavimentos (residenciais, comerciais, etc.), muros de arrimo, escadas, reservatórios e construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais, pontes de grandes vãos, etc.

De acordo com, Carvalho e Pinheiro (2009), as vantagens que a laje maciça possui são a execução simples e rápida e a pouca deformação e esforços relativamente pequenos. Além disso para pequenos vãos no estado limite último, boa parte do concreto da laje maciça pouco contribui na resistência a flexão, pois geralmente a linha neutra possui pequena profundidade, resultando em uma grande quantidade de concreto tracionado.

Figura 17 – Armaduras transversais e longitudinais da laje maciça.



Fonte: Porto (2011)

Figura 18 – Concretagem da laje maciça.



Fonte: Porto (2011)

Figura 19 – Aspecto final da laje maciça – Obra TRT, João Pessoa –PB.



Fonte: Arquivo Pessoal

3.5.1 Vantagens e Desvantagens das Lajes Maciças

A seguir é apresentada uma lista de vantagens e desvantagens relacionadas a lajes maciças de concreto armado.

Vantagens:

- ✓ Oferece funções de placa e membrana (chapa);
- ✓ Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- ✓ Apropriada a situações de singularidade estrutural, por exemplo: Um, dois ou três bordos livres;
- ✓ A existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- ✓ Foi durante anos o sistema estrutural mais utilizado nas construções de concreto, por isso a mão de obra já é bastante treinada;
- ✓ Menos suscetível a fissuras e trincas, uma vez que, depois de seco, o concreto torna-se um monobloco que dilata e contrai de maneira uniforme.

Desvantagens

- ✓ Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- ✓ Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);

- ✓ Elevado consumo de mão de obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- ✓ Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- ✓ Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
- ✓ Custo relativamente elevado;
- ✓ Devido aos limites impostos, apresenta uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a forma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção;
- ✓ Tempo muito elevado para execução das fôrmas e da desforma.

3.5.2 Espessura mínima das lajes maciças

A NBR 6118/2014 no item 13.2.4.1 especifica que nas lajes maciças de concreto armado devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- ✓ 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- ✓ 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- ✓ 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- ✓ 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- ✓ 14 cm para lajes-cogumelo;
- ✓ 16 cm para lajes lisas.

3.5.3 Critério para o dimensionamento das lajes

Para projetar as lajes estudadas, torna-se necessário um estudo de critérios para o seu dimensionamento, onde deve ser considerado segundo as normas estabelecidas pela ABNT, Os critérios considerados foram a classe de agressividade ambiental, os estados limites, o cobrimento nominal, os deslocamentos limites e a taxa de armadura.

3.5.3.1 Classe de agressividade ambiental

A norma NBR 6118/2014 especifica nos itens 6.4.1 e 6.4.2 que a agressividade do meio ambiente está ligada às ações físicas e químicas que agem nas estruturas de concreto, onde a taxa dessa agressividade é classificada para projetos na tabela 4, onde é apresentada abaixo.

Tabela 04 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1) 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1) 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1) 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um micro-clima com classe de agressividade um nível mais branda para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade um nível mais branda em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte NBR 6118/2014

3.6 ESTADOS LIMITES

Os estados limites são fatores de extrema importância que devem ser considerados para os cálculos de dimensões e verificações das estruturas. Para os cálculos são levados em consideração os estados limites últimos (ELU) e o de serviço (ELS), que são explicados a seguir.

3.6.1 Estado limite último (ELU)

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2004), os estados-limite últimos são aqueles relacionados ao colapso ou qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação do uso da estrutura.

Segundo a NBR 6118/2014, a segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada em relação aos seguintes estados limites últimos:

- ✓ Perda do equilíbrio da estrutura, admitida como um corpo rígido;
- ✓ De esgotamento da capacidade resistente da estrutura, em seu todo ou em parte, pelas solicitações normais e tangenciais;
- ✓ De esgotamento da capacidade resistente da estrutura, em seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- ✓ Provocado por solicitações dinâmicas;

- ✓ De colapso progressivo;
- ✓ Outros que, eventualmente, possam ocorrer em casos especiais.

3.6.2 Estado limite de serviço (ELS)

São aqueles que correspondem a condições precárias em serviço. Sua ocorrência, repetição ou duração causam efeitos estruturais que não respeitam condições especificadas para o uso normal da construção ou que são indícios de comprometimento da durabilidade.

De acordo com a NBR 6118 / 2014, a segurança das estruturas de concreto pode exigir a verificação dos seguintes estados-limite de serviço:

- ✓ Deformação de fissuras: estado em que se inicia a formação de fissuras;
- ✓ De abertura das fissuras: estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos valores máximos especificados na norma;
- ✓ De deformação excessiva: estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização da estrutura;
- ✓ De vibrações excessivas: estado em que as vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção.

Dentre estes estados-limite de serviço, vale ressaltar que o de deformação excessiva está relacionado às questões das flechas das lajes.

3.7 COBRIMENTO NOMINAL

A norma NBR 6118/ 2014 no item 7.4.7.2 define que o cobrimento nominal é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução e depende da classe de agressividade e do tipo da estrutura, assim o cobrimento nominal é representado na tabela 05.

Tabela 05 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

1. Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

2. Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

3. Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte NBR 6118/2014

3.8 DESLOCAMENTO LIMITES

Segundo a Norma 6118 / 2014 os deslocamentos-limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura.

Para os efeitos desta Norma, são classificados nos quatro grupos básicos a seguir relacionados:

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

A tabela 13.3 representada na ABNT e aqui representada pela tabela 06, são dados valores-limites de deslocamentos que visam proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço.

Tabela 06 – Limites para Deslocamentos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite	
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$	
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devidos a cargas acidentais	$l/350$	
Efeitos Estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250$ †	
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350$ + contra-flecha‡	
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$	
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento		
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500$ ‡ ou 10 mm ou $l=0,0017$ rad‡	
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250$ ‡ ou 25 mm	
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente ($I_1=0,20$)	$H/1700$ ou $H/850$ ‡ entre pavimentos‡	
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400$ ‡ ou 15 mm	
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$	
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$l/350$	
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$l/175$	
	Ponte rolante	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$	
	Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.		

Fonte NBR 6118/2014.

3.9 TAXAS DE ARMADURA MÁXIMA E MÍNIMA

As Lajes devem respeitar as taxas máximas e mínimas de armadura na sua seção transversal. A NBR 6118/2014 apresenta um quadro relacionando a taxa armadura mínima com o F_{ck} do concreto e a forma da seção, representado pela tabela 07.

Tabela 07 – Taxa mínima de armadura de flexão.

Forma da seção	Valores de ρ_{\min}^a ($A_{s,\min}/A_c$) %														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

^a Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$ e $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado.

Fonte NBR 6118/2014.

Em relação a taxa máxima de armadura, tem-se que, a soma das armaduras de tração e de compressão ($A_s + A_s'$) não deve ter o valor maior que 4% A_c , calculada na região fora da zona de emendas.

4. METODO DE PESQUISA

Neste capítulo, serão apresentados tópicos relacionados aos métodos utilizados para realizar o trabalho, como objetivo do trabalho, delimitações, limitações e metodologia.

4.1 METODOLOGIA

Para o presente trabalho, será utilizado um projeto arquitetônico cedido gentilmente pelo Mestre da Universidade Estadual da Paraíba e Engenheiro Civil Wesley Imperiano Gomes de Melo. Esse Edifício é do tipo residencial e localiza-se na cidade de Solânea, Estado da Paraíba.

O edifício em questão possui um pavimento térreo, três pavimentos-tipo. As plantas referentes ao projeto arquitetônico encontram-se em anexo.

O trabalho delimita-se ao estudo de lajes retangulares e quadradas com dimensões compatíveis ao projeto elaborado.

- ✓ Comparação se refere ao consumo de concreto e de aço;
- ✓ O trabalho ficou limitado ao cálculo das lajes bidirecionais, ou seja, armadas em duas direções;
- ✓ O trabalho ficou limitado somente ao cálculo do volume de concreto e quantidade de aço para as lajes, vigas e pilares dispensando assim fundações;
- ✓ Não foi analisado a instabilidade global, isto é, a ação do vento;
- ✓ Não foi analisado a frequência da laje.

4.1.1 considerações iniciais

O presente trabalho consiste em uma análise comparativa entre os sistemas estruturais de concreto armado. Primeiramente, foram definidos os sistemas estruturais 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 sistemas estruturais analisados, obtendo-se os quantitativos de materiais, que permitiram calcular os índices definidos para comparação. Foram comparados parâmetros estruturais tais como, os custos totais da obra obtidos por meio de composições de preços, chegando-se a um valor global para cada tipo adotado.

4.2 TIPOLOGIA E CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS ESTRUTURAIS ADOTADOS

- ✓ Sistema Estrutural:
 - Estrutura convencional com lajes maciças;
 - Estrutura convencional com lajes nervuradas moldadas no local.

- ✓ Etapas consideradas
 - Análise estrutural das lajes do pavimento tipo;
 - Análise de custo da estrutura propriamente dita: pilares, vigas e lajes.

- ✓ Os serviços e insumos envolvidos são:
 - Concreto;
 - Aço;
 - Fôrmas;
 - Materiais de enchimento.

4.3 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO ESTRUTURAL

Para o projeto considerou-se a resistência característica à compressão do concreto o chamado FCK igual a 25 MPa para todos os elementos da superestrutura lajes, vigas e pilares.

Foi adotado classe de agressividade ambiental II, logo os cobrimentos das armaduras de vigas e pilares são iguais a 3 cm, enquanto que para as lajes são iguais a 2,5 cm, segundo o item 7.4 da NBR 6118/2014.

No sistema estrutural de laje nervurada consideraram-se nervuras bidirecionais com espessura das almas iguais a 5,0 cm, intereixos iguais a 60,0 cm para as que usam caixotes reaproveitáveis de polipropileno (Cubetas).

4.4 CARGAS CONSIDERADAS NO PROJETO

As cargas que atua nas lajes das edificações são classificadas como cargas permanentes e cargas acidentais.

As cargas permanentes são aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequena variabilidade durante praticamente toda a vida útil da construção. As cargas permanentes podem ser: peso próprio da estrutura, peso de revestimento, alvenarias e enchimentos.

O peso específico dos materiais de construção mais utilizados na construção civil é fornecido pela NBR 6120/2003 e para os projetos desse trabalho foram utilizados segundo a norma os pesos específicos de 13 KN/m³ para o tijolo cerâmico furado e 25 KN/m³ para o concreto armado. Para as lajes foi utilizado uma carga permanente de 1,5 KN/m² referente ao revestimento.

As cargas acidentais são aquelas que atuam nas lajes em função da finalidade da edificação e incluem o peso de pessoas, móveis e materiais diversos. A carga acidental utilizada neste projeto é 2,0 KN/m².

4.5 CRITÉRIOS PARA OS CÁLCULOS 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 todos 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. Também não estão sendo considerados neste trabalho os custos com a estrutura da escada e caixa d'água.

Os valores em reais dos insumos para as composições de custos foram obtidos utilizando a tabela SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil de preços de insumos, disponível no site da Caixa Econômica Federal, para o estado da Paraíba referente ao mês de Abril de 2015.

5. FERRAMENTAS DE CÁLCULO E ANÁLISE ESTRUTURAL

Para a realização do trabalho utilizou-se o software Eberick de cálculo estrutural de concreto armado. O software citado é utilizado para a análise e detalhamento dos sistemas estruturais aqui utilizados. Destinado ao cálculo de estruturas em concreto armado, englobando as etapas de lançamento e análise da estrutura, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais, de acordo com os parâmetros de projeto estabelecidos pela NBR 6118/2014. O programa integra em um único sistema o cálculo para lajes, vigas, pilares, blocos sobre estacas e sapatas, destacando-se por sua produtividade na elaboração dos projetos e no estudo de diferentes soluções para um mesmo projeto.

A estrutura do projeto é definida através de pavimentos, que representam os diferentes níveis existentes na arquitetura. O lançamento dos elementos estruturais é feito sobre a planta arquitetônica de forma gráfica.

O programa faz a modelagem da estrutura através de um pórtico composto pelos pilares e vigas dos diversos pavimentos do projeto. Neste processo as vigas e pilares são representados por barras ligadas umas às outras por meio de nós formando assim, um pórtico espacial, de onde são obtidos os esforços solicitantes na estrutura. Os painéis de lajes são calculados de forma independente.

Os esforços nas lajes são obtidos pelo processo de analogia de grelhas que leva em consideração a rigidez real das vigas de apoio, diferente dos cálculos simplificados, que consideram os apoios como indeformáveis. O programa permite ainda a visualização gráfica tridimensional dos painéis de lajes (grelhas 3D), sendo possível analisar os diagramas elásticos de esforços axiais, fletores, torsões, cortantes e os deslocamentos elásticos da discretização das barras da grelha. (CARVALHO).

As reações dos cálculos das lajes são transmitidas às vigas. Então, é montado o pórtico espacial da estrutura, recebendo o carregamento das alvenarias e das lajes. Os esforços obtidos no processamento do pórtico são usados para o dimensionamento e detalhamento dos elementos da estrutura.

O programa ainda permite que o usuário interfira nas hipóteses de cálculo como, por exemplo, alteração de vinculações entre os elementos estruturais (utilização de nós semi-rígidos nas ligações entre vigas e pilares, redução de torção nas vigas entre outras.

Com o desenvolvimento da tecnologia no âmbito do cálculo estrutural e principalmente da computação faz com que há uma grande disponibilização no mercado de softwares estruturais. Sendo assim é importante ressaltar que utilização de um programa de computador

para elaborar projetos estruturais exige do seu usuário muita responsabilidade e experiência. Pois nenhum software, por mais avançado que seja poderá substituir a experiência e conhecimento de um Engenheiro Civil.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o lançamento e o dimensionamento da estrutura nos dois modelos de sistemas estruturais convencionais de lajes, serão apresentados os resultados da análise estrutural e de custo dos modelos avaliados na pesquisa.

6.1 DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS PARA CADA SISTEMA ESTRUTURAL ADOTADO

6.1.1. Lajes Maciças

A espessura da laje é de 12 cm, sendo que é a espessura mínima fornecida pelo software para atender as exigências estabelecidas pela norma 6118/2014, o concreto utilizado na estrutura tem resistência característica de 25Mpa e a planta de fôrma do pavimento-tipo é mostrada em Anexo. O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes maciças está indicado no quadro 01 abaixo:

Quadro 01 - O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes maciças.

	Vigas	Pilares	Lajes	Total
Aço (Kg)	2106.3	2360.6	3953.2	8420.2
Volume concreto (m ³)	25.4	13.9	56.7	96.1
Área de forma (m ²)	407.0	247.0	473.1	1127.1
Consumo de aço (kgf/m ³)	83.0	169.2	69.7	87.7

6.1.2. Lajes nervuradas com cubas plásticas (Cubetas)

A espessura da laje é de 25 cm (20cm da cuba plástica + 5cm da capa de concreto), sendo a espessura considerada para satisfazer as exigências estabelecidas pela norma 6118/2014, o concreto utilizado na estrutura tem resistência de 30Mpa e a planta de fôrma do

pavimento-tipo é apresentado em Anexo. O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes nervuradas utilizando cubas plásticas está indicado no quadro 02 abaixo:

Quadro 02 - O consumo de materiais, relativo à estrutura com lajes nervurada

	Vigas	Pilares	Lajes	Total
Aço (Kg)	2109.7	2221.6	2811.2	7142.6
Volume concreto (m³)	23.3	11.8	54.2	89.4
Área de forma (m²)	358.0	194.4	0	552.4
Consumo de aço (kgf/m³)	90.5	187.8	51.8	79.9

As lajes nervuradas não necessitam de fôrmas, uma vez que as cubas plásticas cumprem essa finalidade. Sendo utilizado um assoalho de madeira para suporte das fôrmas plásticas, cuja área equivale à área da laje.

Quadro 03 – Comparativo do consumo de materiais para cada sistema estrutural

	LAJE MACIÇA	LAJE NERVURADA COM CUBETAS PLÁSTICAS
Aço (Kg)	8420.2	7142.6
Volume concreto (m³)	96.1	89.4
Área de forma (m²)	1127.1	552.4
Consumo de aço (kgf/m³)	87.7	79.9

Analisando os dois sistemas estruturais de acordo com a quadro 03 mostrado acima, verifica-se que a estrutura com lajes maciças apresenta um alto consumo de aço e fôrma.

A alternativa com lajes nervuradas, também apresenta um consumo de materiais menor de aço e fôrma do que a opção com lajes maciças. No entanto, o consumo de concreto foi próximo ao equivalente a laje maciça, isso se explica devido aos vãos serem maiores tendo assim que aumentar as dimensões de vigas para evitar flechas excessivas e conseqüentemente um aumento das seções dos pilares.

Porém, as lajes nervuradas por possuírem menor quantidade de vigas aumentam a produtividade, diminuem o tempo de execução e reduzem os recortes nas lajes.

Para verificar a viabilidade econômica de cada alternativa, deve-se fazer um orçamento cuidadoso, levando-se em consideração: consumo de materiais, método executivo, equipamentos e mão-de-obra.

6.2 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS

Para a composição dos custos foram consultadas a tabelas do SINAPI – Caixa Econômica Federal, para a cidade de João Pessoa – PB referente ao mês de Abril de 2015, essa tabela possui um banco de dados com a composição de inúmeros serviços da construção civil atualizado e que retrata a realidade do estudo em questão.

6.2.1 Composições auxiliares

Composição de concreto, aço e fôrma.

- Concreto

Quadro 04: Composição de Concreto

	M ³	CONSUMO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
VIBRADOR DE IMERSAO C/ MOTOR ELETRICO 2HP MONOFASICO QUALQUER DIAM C/ MANGOTE	H	0,3000	0,790	0,24
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	1,0500	339,320	356,29
SERVENTE	H	1,6000	6,970	11,15
PEDREIRO	H	0,6000	9,370	5,62
CARPINTEIRO DE FORMAS	H	0,6000	9,370	5,62
ARMADOR	H	0,6000	9,370	5,62
TOTAL				384,54

Fonte: SINAPI – Caixa Econômica

- ✓ Composição: Concreto simples usinado FCK = 25Mpa, bombeado, lançado e adensado
- ✓ Unidade- m³
- ✓ Mês de referência – Abril de 2015

- Aço

Quadro 05: Composição de aço CA 50 diâmetros utilizados para laje maciça.

ARMACAO ACO CA-50, DIAM. 6,3 (1/4) À 12,5MM(1/2) - FORNECIMENTO/ CORTE (PERDA DE 10%) / DOBRA / COLOCAÇÃO	KG	CONSUMO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
ARAME RECOZIDO 18 BWG - 1,25MM - 9,60 G/M	M ²	0,0300	9,000	0,27
ACO CA-50, 10,0 MM, VERGALHAO	L	1,1000	4,210	4,63
ARMADOR	H	0,1000	9,370	0,94
AJUDANTE DE ARMADOR	H	0,1000	7,040	0,70
SUBTOTAL				6,54

Fonte: SINAPI – Caixa Econômica

- ✓ Composição: Aço CA-50 diâmetros utilizados, para estrutura;
- ✓ Mês de referência – Abril de 2015
- ✓ Unidade- Kg

Quadro 06: Tabelas para aço utilizados para a laje maciça.

DESCRIÇÃO	UM	CONSUMO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
Aço ca-60, 5,0 mm, vergalhão	Kg	1,1000	3,96	4,36
Arame recozido 18 bwg, 1,25 mm (0,01 kg/m)	Kg	0,0200	9,2	0,18
Armador	H	0,1000	13,16	1,32
Servente	H	0,1000	10,4	1,0
SUBTOTAL				6,89
Total de aço CA - 50 e CA - 60	Kg			13,43

Fonte: SINAPI – Caixa Econômica

- ✓ Composição: Aço CA-60 diâmetros utilizados, para estrutura;
- ✓ Mês de referência – Abril de 2015
- ✓ Unidade- Kg.

- Fôrmas

Quadro 07: Composição de fôrma.

ITENS	M ²	CONSUMO	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL
Chapa madeira compensada plastificada 2,2 x 1,1m x 18mm p/ forma concreto	M ²	0,5600	32,510	18,21
Desmoldante para forma de madeira	L	0,0060	10,410	0,06
Peça de madeira 3a/4a qualidade 7,5 x 7,5cm (3x3) não aparelhada	M	2,3100	5,930	13,70
Peça de madeira 2a qualidade 2,5 x 10cm não aparelhada	M	3,3700	3,680	12,40
Prego de aço 17 x 21	KG	0,29	8,350	2,42
Carpinteiro de formas	H	1,4400	9,370	13,49
Ajudante de carpinteiro	H	0,3600	7,040	2,53
TOTAL				62,82

Fonte: SINAPI – Caixa Econômica

- ✓ Composição: Forma para estruturas de concreto (pilar, viga e laje) em chapa de madeira compensada plastificada, de 1,10 x 2,20, espessura = 18mm, 02 utilizações. (Fabricação, montagem e desmontagem - exclusive escoramento)
- ✓ Mês de referência – Abril de 2015
- ✓ Unidade- Kg.

6.2.2 Composição para laje maciça

Quadro 08: Resumo da composição – laje maciça.

DESCRIÇÃO	UM	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M³	96,1	R\$ 384,54	R\$ 36.954,29
ARMACÃO DE ACO CA - 50	Kg	8420,2	R\$ 13,43	R\$ 113.083,29
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES.(FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M²	1127,1	R\$ 62,82	R\$ 70.804,42

CUSTO TOTAL (R\$): 220.842,00

CUSTO POR M² (R\$): 299,25

6.2.3 Composição para as Lajes nervuradas com cubas plásticas

- Cubas Plásticas - 80x80x20 (Abas Iguais)

Quadro 09: Composição de Cubetas plásticas para laje nervurada.

Item	DESCRIÇÃO	UM	QDE	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
1	Carpinteiro	H	0,15	3,84	0,58
2	Servente	H	0,82	2,83	2,32
3	Cuba Plástica	Um	2,36	6,54	15,43
4	Desmoldante Desmol	L	0,015	6,41	0,1
TOTAL					18,43

Fonte: SINAPI – Caixa Econômica

- ✓ Composição: Fôrma plástica (cubetas) para laje nervurada, inclusive montagem e desmontagem.
- ✓ Unidade - m2
- ✓ Mês de referência – Abril de 2012

Quadro 10: Resumo da quantidade de cubetas utilizadas.

Blocos de enchimento						
Pavimento	Tipo	Nome	Dimensões(cm)			Quantidade
			hb	bx	by	
Pavimento 1	Cubetas	B20/80/80	20	80	80	179
		B20/40/80	20	40	80	35
		B20/80/40	20	80	40	31
Pavimento 2	Cubetas	B20/80/80	20	80	80	179
		B20/40/80	20	40	80	44
		B20/80/40	20	80	40	37
Pavimento 3	Cubetas	B20/80/80	20	80	80	179
		B20/40/80	20	40	80	45
		B20/80/40	20	80	40	35
TOTAL						764

Quadro 11: Resumo da composição laje nervurada com cubas plásticas.

DESCRIÇÃO	UNI	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	89,4	R\$ 384,54	R\$ 34.377,88
ARMACÃO DE ACO CA - 50 e CA - 60	Kg	7142,6	R\$ 13,43	R\$ 95.925,12
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES. (FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M ²	552,4	R\$ 62,82	R\$ 34.701,77
FÔRMA PLÁSTICA PARA LAJE NERVURADA, INCLUSIVE MONTAGEM E DESMONTAGEM	M ²	764	R\$ 18,43	R\$ 14.080,52

CUSTO TOTAL (R\$): R\$ 179.085,28

CUSTO POR M2 (R\$): 242,66

6.2.4 Composição para Vigas e Pilares com laje maciça

- Quantitativos de material para as vigas do sistema estrutural utilizando laje maciça:

Quadro 12: Consumo de material para as vigas - Laje maciça

Pavimento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m ³)	Área de forma (m ²)	Consumo de aço (kg/m ³)
Térreo	193,4	3,5	58,2	54,7
Pavimento 01	674,4	8,1	126	83,7
Pavimento 02	708,4	7,8	123,2	90,3
Pavimento 03	530,2	5,9	99,5	89,4
Total	1913	25,3	406,9	318,1

Quadro 13: Resumo do quantitativo para as vigas - Laje maciça

DESCRIÇÃO	UNI	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	25,3	R\$ 384,54	R\$ 9.728,86
ARMACÃO DE AÇO CA - 50	Kg	1913	R\$ 13,43	R\$ 25.691,59
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES.(FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M ²	406,9	R\$ 62,82	R\$ 25.561,46
TOTAL				R\$ 60.981,91

- Quantitativos de material para os pilares do sistema estrutural utilizando laje maciça:

Quadro 14: Resumo do quantitativo para os pilares - Laje maciça.

DESCRIÇÃO	UNI	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	17,9	R\$ 384,54	R\$ 6.883,27
ARMACÃO DE AÇO CA – 50	Kg	2320,7	R\$ 13,43	R\$ 31.167,00
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES.(FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M ²	247	R\$ 62,82	R\$ 15.516,54
TOTAL:				R\$ 53.566,81

6.2.5 Composição para vigas e pilares com lajes nervuradas com cubas plásticas

- Quantitativos de material para as vigas do sistema estrutural utilizando laje nervurada com cubas plásticas:

Quadro 15: Resumo do quantitativo para as vigas - Laje Nervurada.

Pavimento	Peso do aço (kg)	Volume de concreto (m ³)	Área de forma (m ²)	Consumo de aço (kg/m ³)
Térreo	269,7	3,3	55,2	54,7
Pavimento 01	740,6	6,6	98,5	83,7
Pavimento 02	570	6,7	102,2	90,3
Pavimento 03	529,4	6,7	102,2	89,4
Total	2109,7	23,3	358,1	318,1

Quadro 16: Resumo do quantitativo paras as vigas - Laje Nervurada

DESCRIÇÃO	UNI	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	23,3	R\$ 384,54	R\$ 8.959,78
ARMACÃO DE ACO CA – 50	Kg	2109,7	R\$ 13,43	R\$ 28.333,27
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES. (FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M ²	358,1	R\$ 62,82	R\$ 22.495,84
TOTAL				R\$ 59.788,90

- Quantitativos de material para os pilares do sistema estrutural utilizando laje nervurada com cubas plásticas:

Quadro 17: Resumo do quantitativo paras os pilares - Laje Nervurada.

Pavimento	Peso do aço (kg)	Volume de concreto (m ³)	Área de forma (m ²)	Consumo de aço (kg/m ³)
Térreo	432	1,9	30	54,7
Pavimento 01	754,7	3,7	59,1	83,7
Pavimento 02	581,8	3,2	52,5	90,3
Pavimento 03	453,1	3,1	52,8	89,4
Total	2221,6	11,9	194,4	318,1

Quadro 18: Resumo do quantitativo para os pilares - Laje Nervurada.

DESCRIÇÃO	UNI	QDE	CUSTO UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 MM +/- 20 MM, FCK = 30 MPA (INCLUI SERVIÇO DE BOMBEAMENTO)	M ³	11,9	R\$ 384,54	R\$ 4.576,03
ARMACÃO DE ACO CA – 50	Kg	2221,6	R\$ 13,43	R\$ 29.836,09
FORMA PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, DE 1,10 x 2,20, ESPESSURA = 18mm, 02 UTILIZAÇÕES.(FABRICAÇÃO, MONTAGEM E DESMONTAGEM - EXCLUSIVE ESCORAMENTO)	M ²	194,4	R\$ 62,82	R\$ 12.212,21
TOTAL				R\$ 46.624,32

6.3 COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIIS

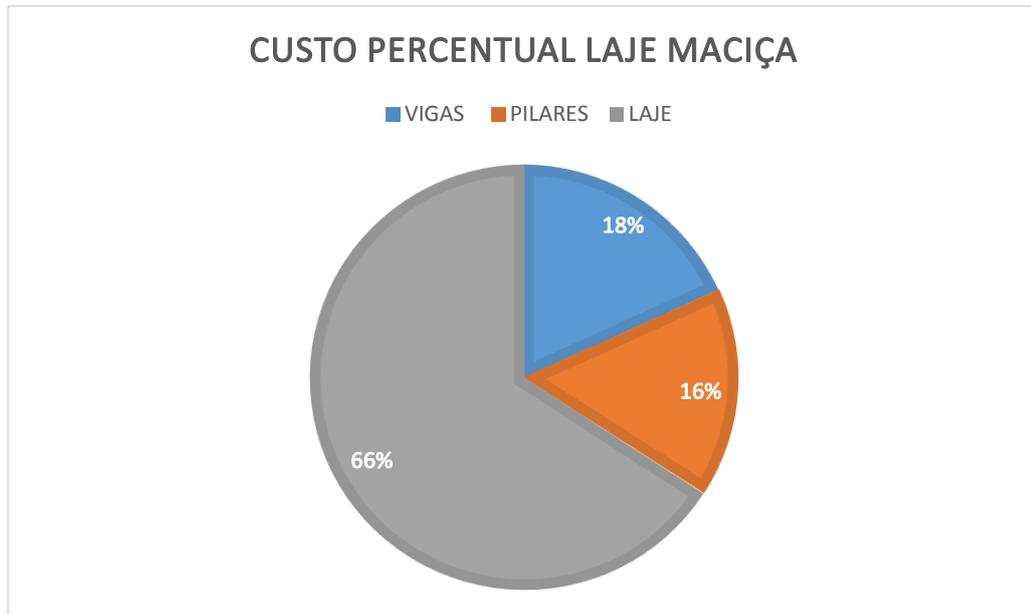
Para a realização do comparativo será calculado o custo total da estrutura para cada sistema, considerando-se o consumo de materiais para a montagem de lajes, vigas e pilares.

6.3.1 Lajes maciças

Quadro 19: Resumo dos custos- laje maciça.

ITEM	CUSTO TOTAL R\$
VIGAS	R\$ 60.981,91
PILARES	R\$ 53.566,81
LAJE	R\$ 220.842,00

Gráfico 01: Custo percentual para laje maciça.

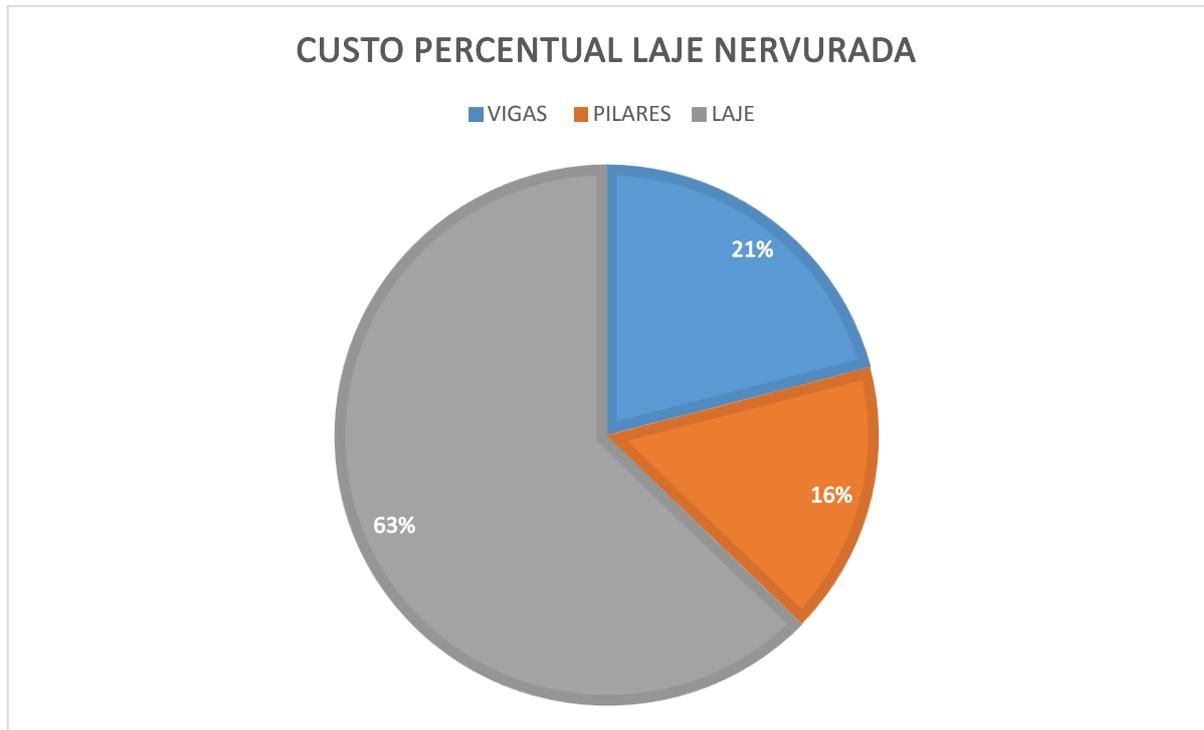


6.3.2 Lajes nervuradas com cubas plásticas

Quadro 20: Resumo do custo das lajes nervuradas com cubas plásticas.

ITEM	CUSTO TOTAL R\$
VIGAS	R\$ 59.788,90
PILARES	R\$ 46.624,32
LAJE	R\$ 179.085,28

Gráfico 02: Custo percentual para laje nervurada com cubas plásticas.



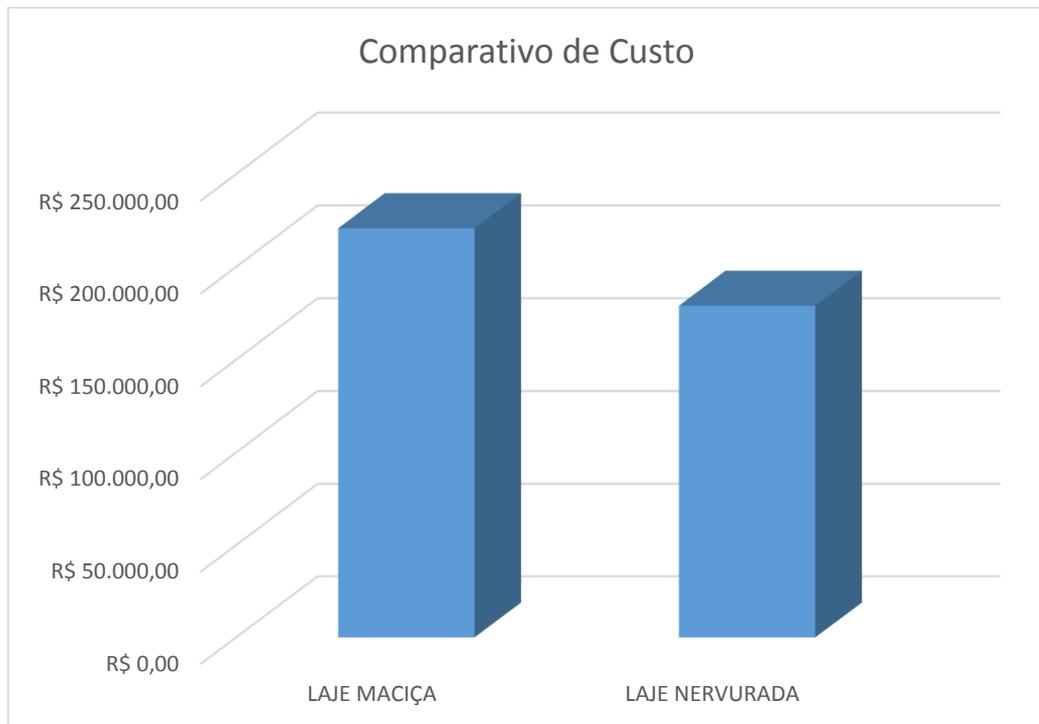
6.4 COMPARATIVO DOS CUSTOS ENTRE AS LAJES.

Nesta seção é apresenta o comparativo de custo entre as lajes estudadas:

Quadro 21: Resultado final para as lajes estudadas.

ITEM	CUSTO TOTAL R\$
LAJE MACIÇA	R\$ 220.842,00
LAJE NERVURADA	R\$ 179.085,28

Gráfico 03: Custo total de cada sistema estrutural.



7. CONCLUSÃO

Para se determinar o custo de uma alternativa estrutural, não é recomendado levar em consideração somente o consumo de materiais, mas sim os aspectos característicos de um sistema construtivo como todo, esses aspectos podem ser: tempo de execução, recursos, mão de obra e materiais necessários. Para uma análise mais exata, faz-se necessário verificar o que cada sistema adotado influencia no custo final do projeto, como por exemplo, passagem de instalações elétricas ou hidro sanitárias, a utilização de forros, disposição das alvenarias sobre as lajes ou qualquer outra características exigida pelo tipo de sistema que foi adotado.

A estrutura com lajes maciças apresentou o maior custo dentre as alternativas estudadas, possuindo uma quantidade de vigas maior quando comparado com a alternativa em lajes nervuradas, o que a torna menos flexível no que diz respeito à versatilidade arquitetônica.

A alternativa em laje nervurada com a utilização de cubas plásticas representou um custo baixo com relação a maciça, sendo a opção que menos necessitou de vigas e tornando-se uma boa opção para vencer grandes vãos. As desvantagens desse sistema são: a necessidade de se colocar forro em todos os apartamentos, a grande espessura da seção desse tipo de laje e a falta de especialização na execução por parte da mão de obra.

Com relação ao consumo de materiais pode-se constatar que, a laje nervurada com cubas plásticas foi o sistema estrutural de menor consumo de concreto, isso se deve a elevada espessura da laje maciça em todo o pavimento e o aumento das seções de alguns pilares devido as flechas calculadas.

No que diz respeito ao consumo de aço, observa-se na tabela 10 que a laje maciça consumiu maior quantidade de aço, principalmente nas lajes e pilares. Isso pôde ser evidenciado pela sua taxa de aço igual a 87,7 kg/m³.

E em relação ao consumo de fôrmas, a laje maciça foi a que obteve um consumo maior quando comparadas à outra, isso é devido ao fato de se utilizar fôrmas para confecção das lajes, vigas e pilares, oposto ao que acontece nas lajes nervuradas com cubas plásticas onde dispensam fôrmas na execução das lajes, pois são utilizadas somente como assoalho de suporte para as cubetas; os materiais de enchimento como as cubas plásticas, EPS, materiais inertes já funcionam como fôrmas.

A partir da composição de custos feita, pôde-se constatar que a alternativa estrutural com laje nervurada apresenta o menor custo em relação à maciça. A estrutura com laje maciça teve o custo de 23,31% maior em relação à laje nervurada.

Para edifícios semelhantes ao exemplo estudado é sugerido o sistema estrutural com lajes nervuradas, pois possui uma menor quantidade de vigas, garantindo maior rapidez na execução, diminui a quantidade de furos nas lajes, como também utiliza-se cubas plásticas reaproveitáveis e permiti uma melhor distribuição da alvenarias sobre as lajes, facilitando a mudança no *layout*, torna a arquitetura mais flexível, assim como facilita a passagem das instalações elétricas e hidráulicas, além de poder vencer grandes vãos.

Enfim, é ressaltado mais uma vez que a escolha estrutural adequada depende de muitas variáveis já citadas. Os resultados obtidos neste estudo de caso não é aconselhável utilizar para outros tipos de edifícios que não possuam as mesmas características.

Toda tomada de decisão é resultado de uma análise detalhada, em que é necessário definir quais escolhas são disponíveis, tal como determinar as consequências da mesma. Desta maneira, o presente trabalho especialmente tem a missão de agregar conhecimento e servir de fundamentos para futuros estudos.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como este assunto é muito vasto sendo impossível expor todo seu conteúdo em uma dissertação, sugere-se alguns itens que poderiam ser estudados, com objetivo de melhorar este tema:

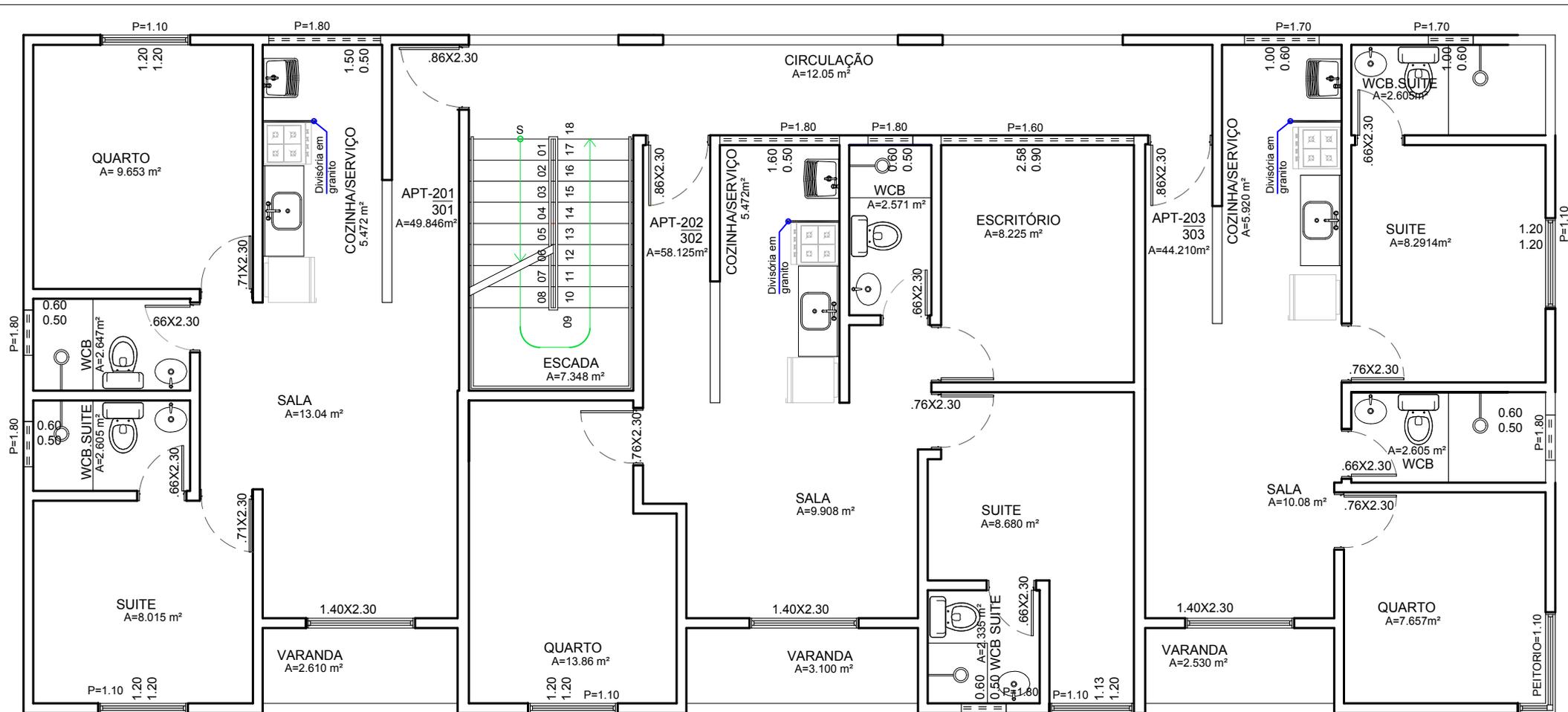
- ✓ Análise comparativa dos diversos sistemas estruturais considerando esforços horizontais devidos ao vento e ao sismo;
- ✓ Consideração da redução das seções de concreto das vigas e pilares dos sistemas analisados;
- ✓ Consideração de outros sistemas estruturais como, por exemplo, lajes pré-fabricadas, planas (lisa e cogumelo), protendidas e mistas;
- ✓ Análise comparativa para um ou mais sistemas estruturais com variação da quantidade de pavimentos de uma edificação;
- ✓ Quantificação do tempo de execução e prazos finais da obra, assim como das etapas envolvidas;
- ✓ Análise comparativa dos sistemas de cimbramentos para os diversos sistemas estruturais.

REFERÊNCIAS

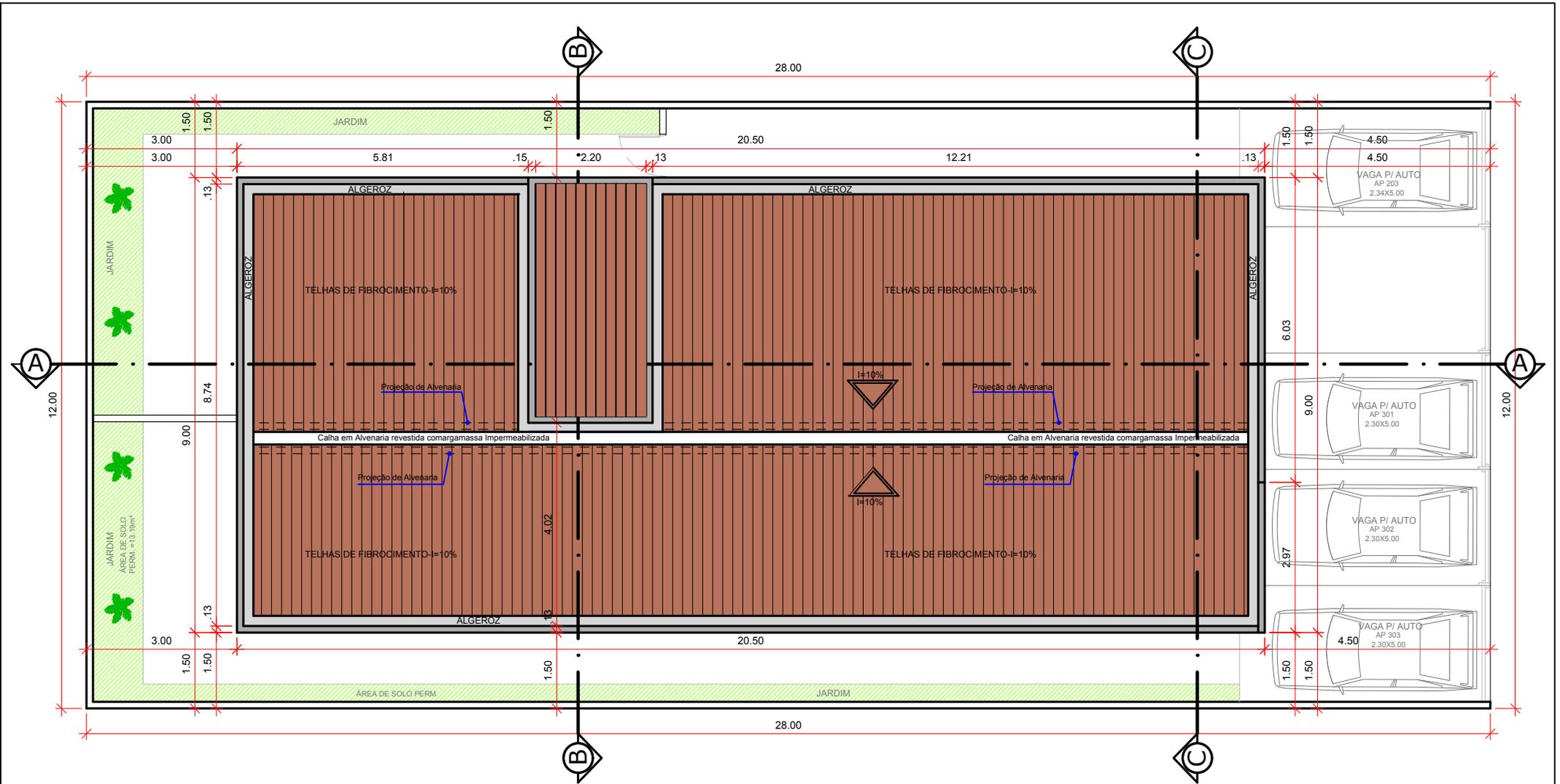
- ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. Ed. Dunas. 2ª ed. Vol. 2. Rio Grande, RS: 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro, RJ: 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120/2003 – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações**. Rio de Janeiro, RJ: 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 18p.
- BASTOS, P. S. dos. S. **Notas de Aula: Lajes de Concreto**. 2015. Universidade Estadual Paulista. UNESP – Bauru/SP.
- BOCCHI JÚNIOR. C. F. **Lajes nervuradas de concreto armado: projeto e execução**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 1995.
- CARVALHO, M. C. de. **Análise comparativa estrutural e econômica entre as lajes maciça, nervurada treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos**. 2012. 79 f. Monografia- Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana - BA.
- FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifício**. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.
- FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Sistema estruturais de lajes sem vigas: subsídios para o projeto e execução**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 1989.
- LOPES, A. F. de. O. **Estudo técnico comparativo entre lajes maciças e nervuradas com diferentes tipos de materiais de enchimento**. 2012. 131 f. Monografia- Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.
- PORTO, L. **Fôrmas para laje nervurada reduzem consumo de concreto em ampliação de hospital- AECweb**. 2011. Disponível em: <http://engecia.blogspot.com.br/2011_04_17_archive.html>. Acesso em 24 de março de 2015.
- ROCHA. A. M. **Novo curso prático de concreto armado**. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1975
- STRAMANDINOLI, J. S. B. **Contribuições à análise de lajes nervuradas por analogia de grelha**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 – PROJETO ARQUITETÔNICO DO EDIFÍCIO ESTUDADO



PRANCHA	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAIBA	
01/01	CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE	
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ÁREA DO TERRENO: 336,00 m ²
LOCALIDADE	SOLÂNEA - PB	ÁREA DE COBERTA: 184,50 m ²
PROJETO	PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TIPO	ÁREA DE CONST. TOTAL: 546,60 m ²
ESCALA: 1/75		TAXA DE OCUPAÇÃO: 54,9 %
		ÍNDICE DE APROVEITAMENTO: 162,7 %



PRANCHA	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA	
01/01	CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE	
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ÁREA DO TERRENO: 336,00 m ²
LOCALIDADE	SOLÂNEA - PB	ÁREA DE COBERTA: 184,50 m ²
PROJETO	PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TIPO	ÁREA DE CONST. TOTAL: 546,60 m ²
ESCALA: 1/75		TAXA DE OCUPAÇÃO: 54,9 %
		ÍNDICE DE APROVEITAMENTO: 162,7 %

Esquadria de Alumínio e vidro
corre em painel fixo

Esquadria de Alumínio e vidro
corre em painel fixo
Esquadria de Alumínio e
vidro- Boca de lobo

Frontão em Alvenaria Rebocada
Massa Acrílica tinta Acrílica

Janela de Canto

Tubo de Seção
quadrada em inox
Vidro
Temperado

Janela de Canto

Tubo de Seção
quadrada em inox
Vidro
Temperado

Portões feito com Tubo de Alumínio, corre e
painel fixo cor branca

Muro em
Alvenaria

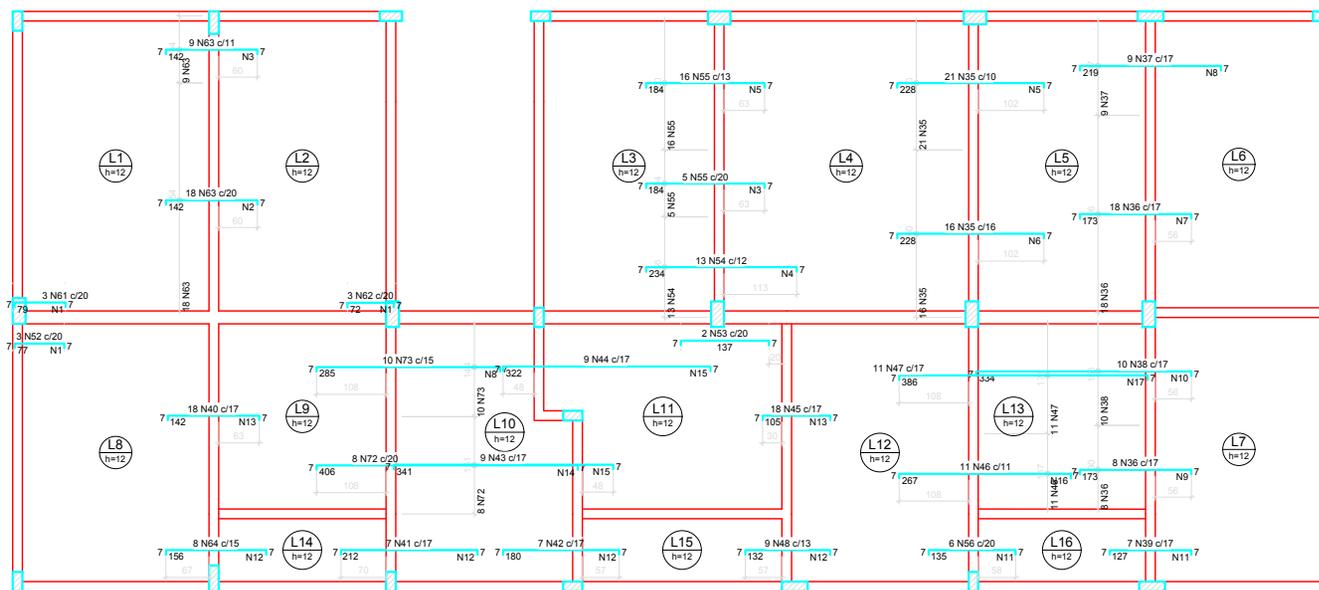
Muro em
Alvenaria

FACHADA FRONTAL SUDESTE

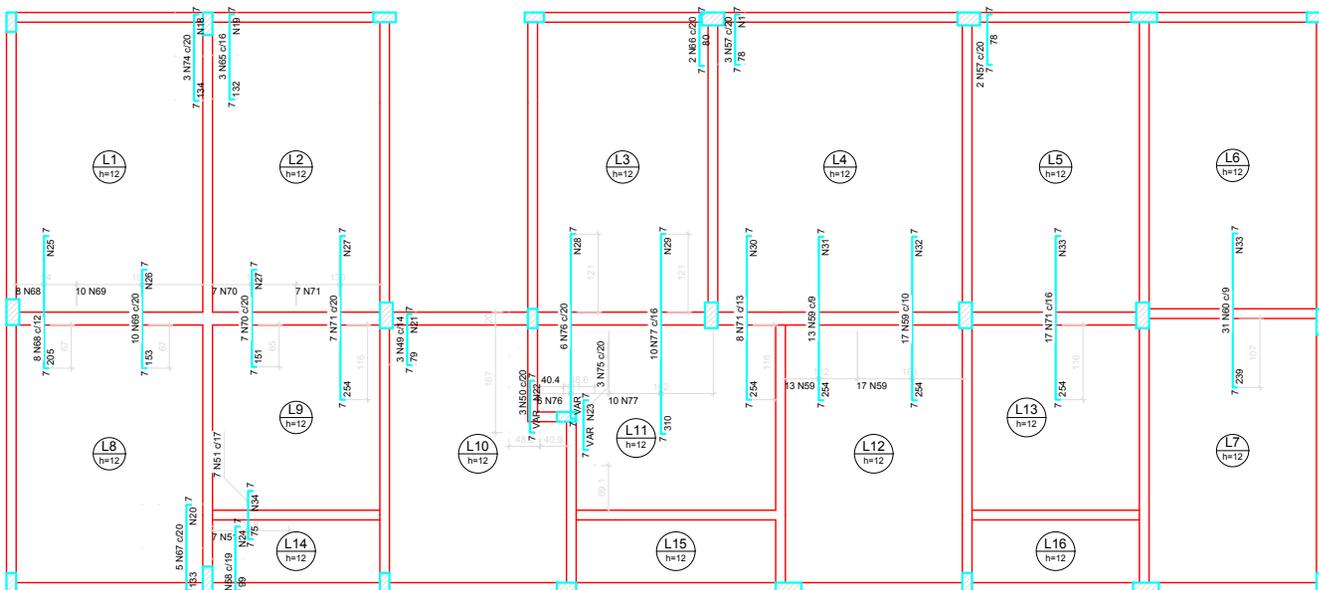
ESCALA 1/110

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA	
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL	ÁREA DO TERRENO: 336,00 m ²
LOCALIDADE	SOLÂNEA - PB	ÁREA DE COBERTA: 184,50 m ²
PROJETO	PLANTA BAIXA - PAVIMENTO TIPO	ÁREA DE CONST. TOTAL: 546,60 m ²
ESCALA: 1/75		TAXA DE OCUPAÇÃO: 54,9 %
		ÍNDICE DE APROVEITAMENTO: 162,7 %

**ANEXO 3 – PROJETO ESTRUTURAL DA LAJE MACIÇA PARA O EDIFÍCIO
ESTUDADO**

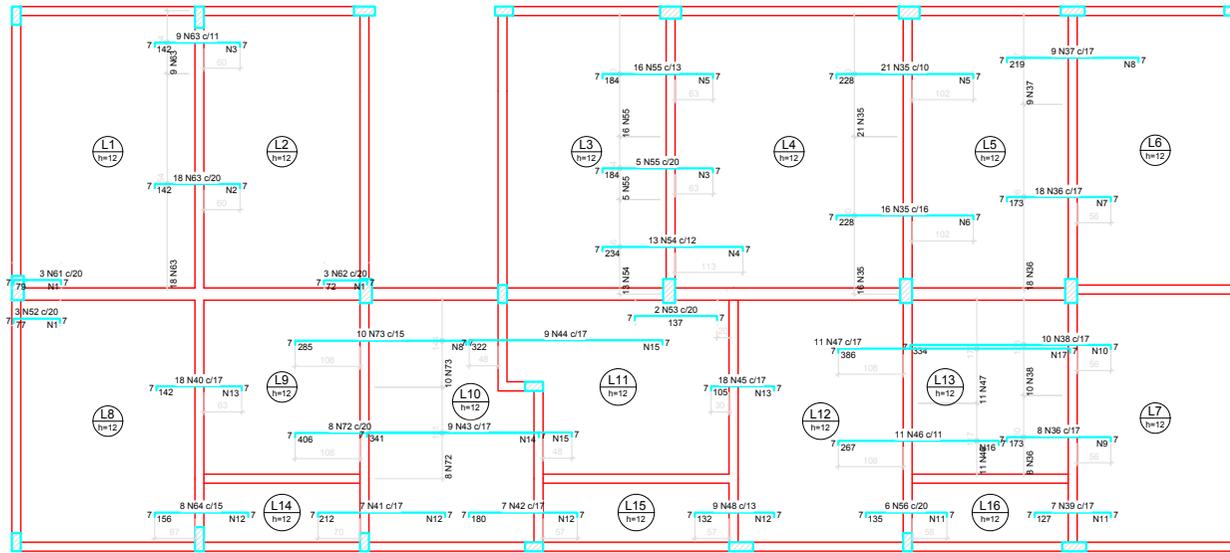


Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 1 (Eixo X)

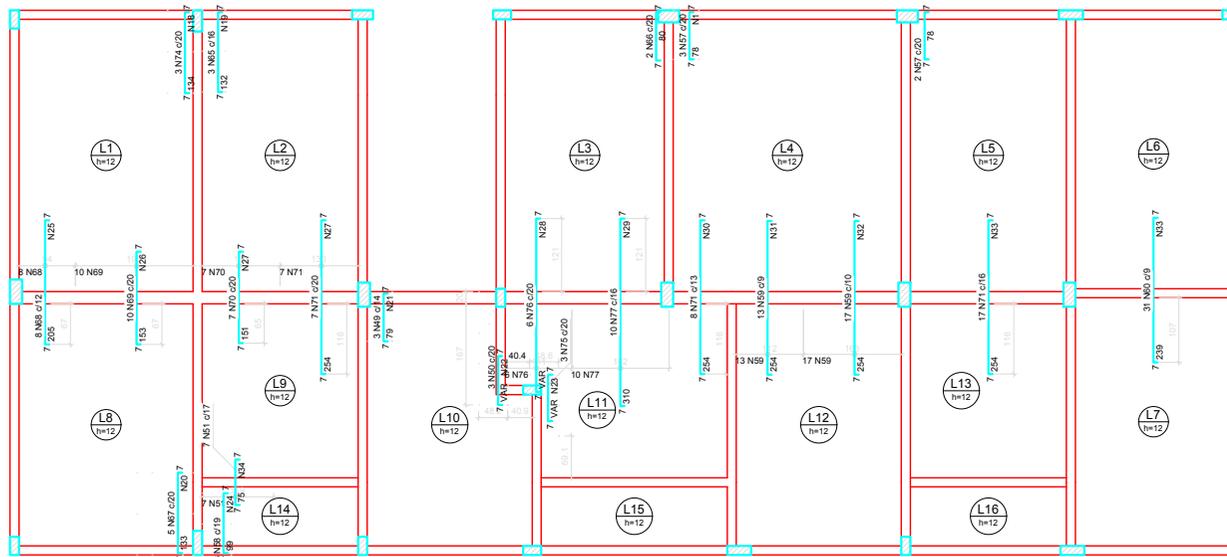


Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 1 (Eixo Y)

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇAO NEGATIVAS DAS LAJES DO PAVIMENTO 1 (eixo y)
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE MACIÇA

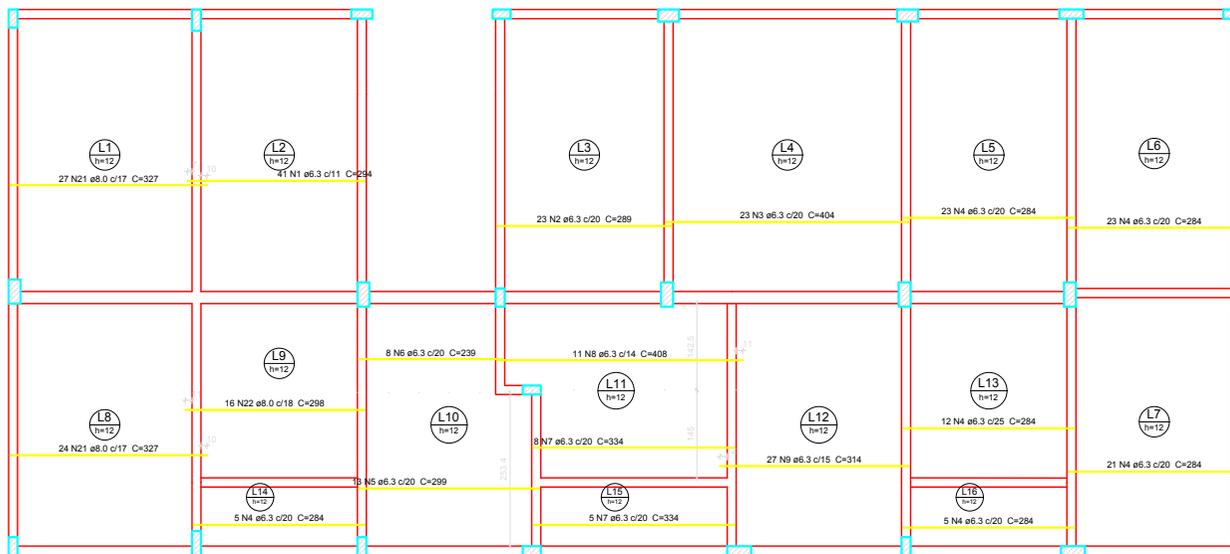


Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 1 (Eixo X)

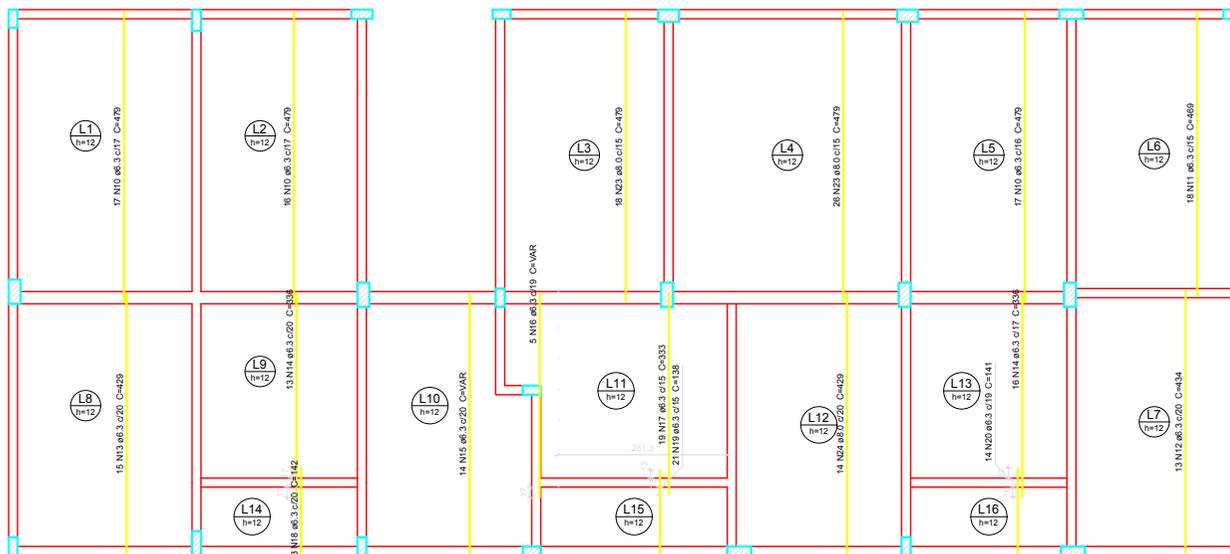


Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 1 (Eixo Y)

FRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO NEGATIVAS DAS LAJES DO PAVIMENTO 1 (eixo y)
ESCALA:1/75	TIPO DE LAJE: LAJE MACIÇA

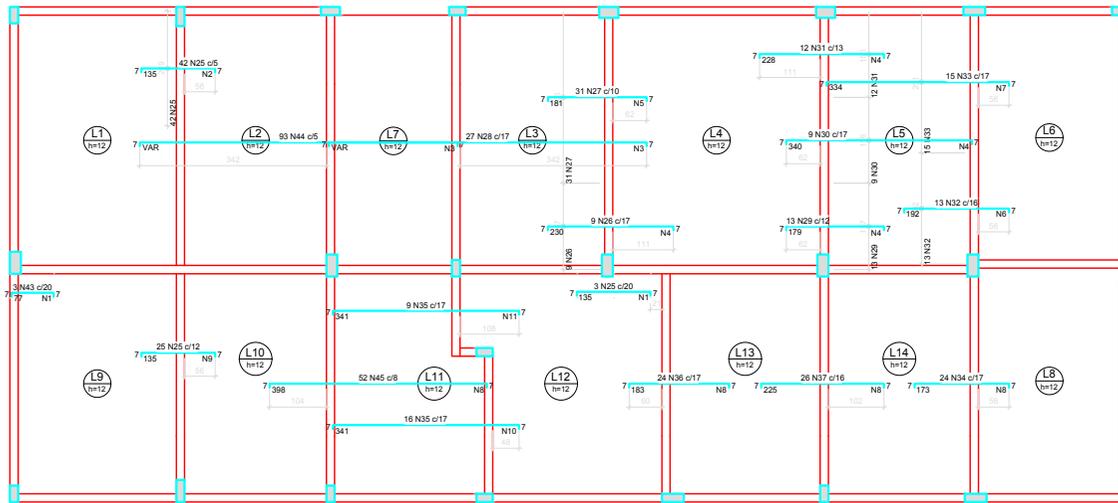


Armação positiva das lajes do pavimento pavimento 2 (Eixo X)

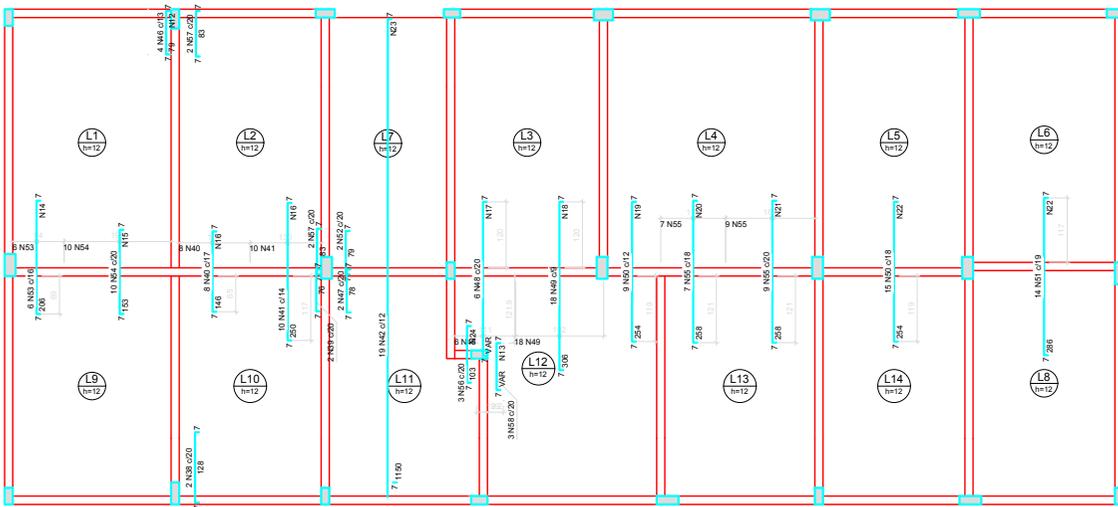


Armação positiva das lajes do pavimento pavimento 2 (Eixo Y)

PRANCHA	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA
01/01	CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVAS DAS LAJES DO PAVIMENTO 2
ESCALA:1/75	TIPO DE LAJE: LAJE MACIÇA

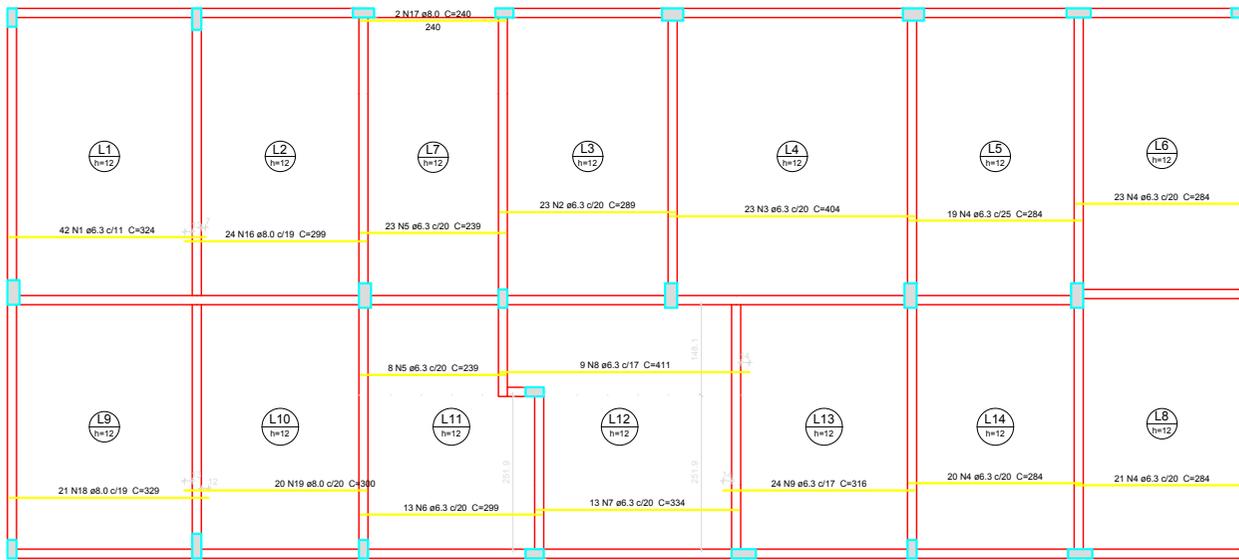


Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 3 (Eixo X)



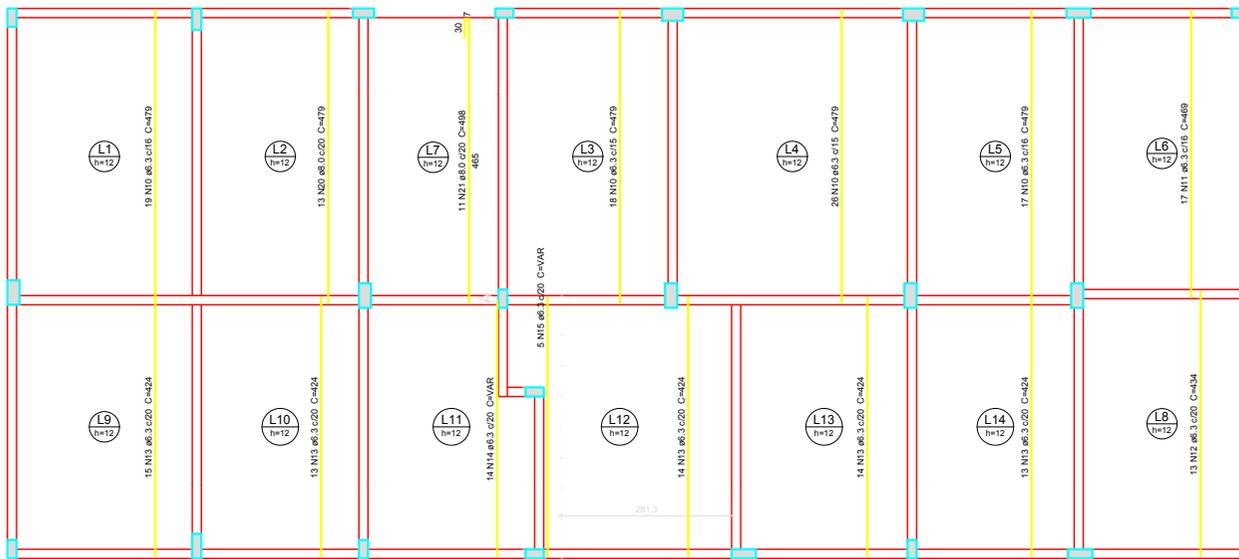
Armação negativa das lajes do pavimento pavimento 3 (Eixo Y)

FRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRÁIBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEIA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVAS DAS LAJES DO PAVIMENTO 3
ESCALA:1/75	TIPO DE LAJE: LAJE MACIÇA



Armação positiva das lajes do pavimento pavimento 3 (Eixo X)

escala 1:50

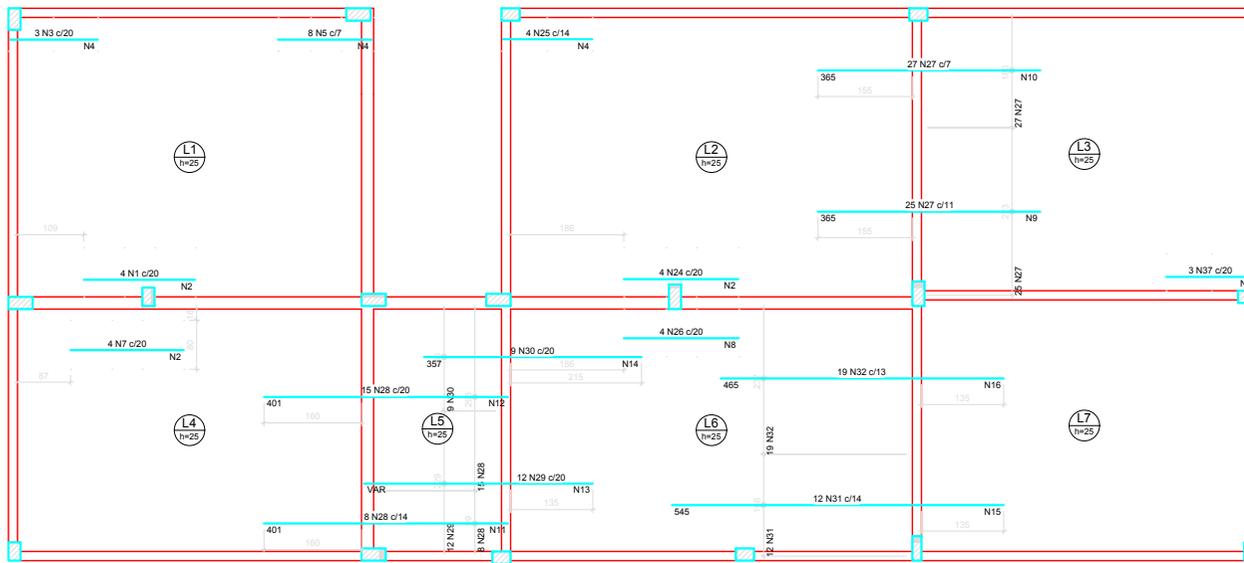


Armação positiva das lajes do pavimento pavimento 3 (Eixo Y)

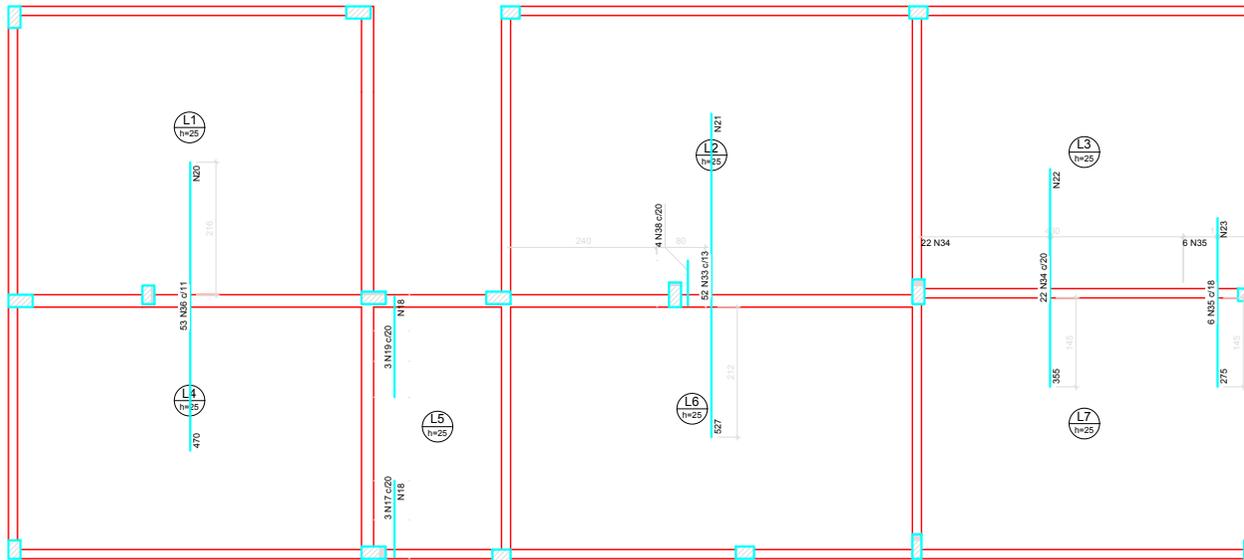
escala 1:50

FRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLÂNEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO NEGATIVAS DAS LAJES DO PAVIMENTO 1
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE MACIÇA

**ANEXO 4 – PROJETO ESTRUTURAL DA LAJE NERVURADA PARA O
EDIFÍCIO ESTUDADO**

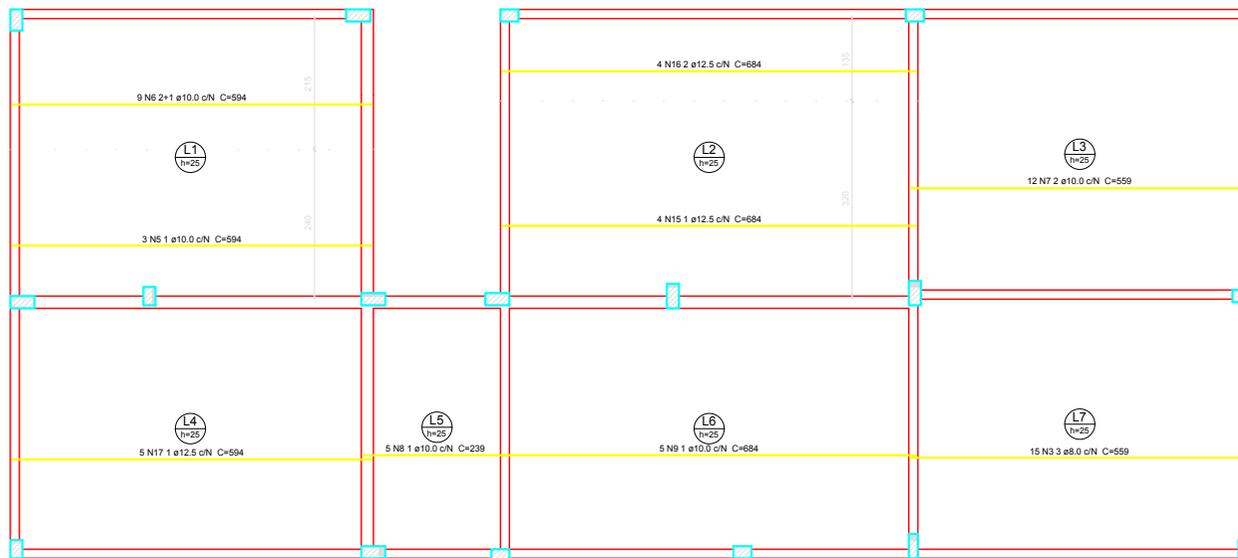


Armação negativa das lajes do pavimento Pavimento 1 (Eixo X)

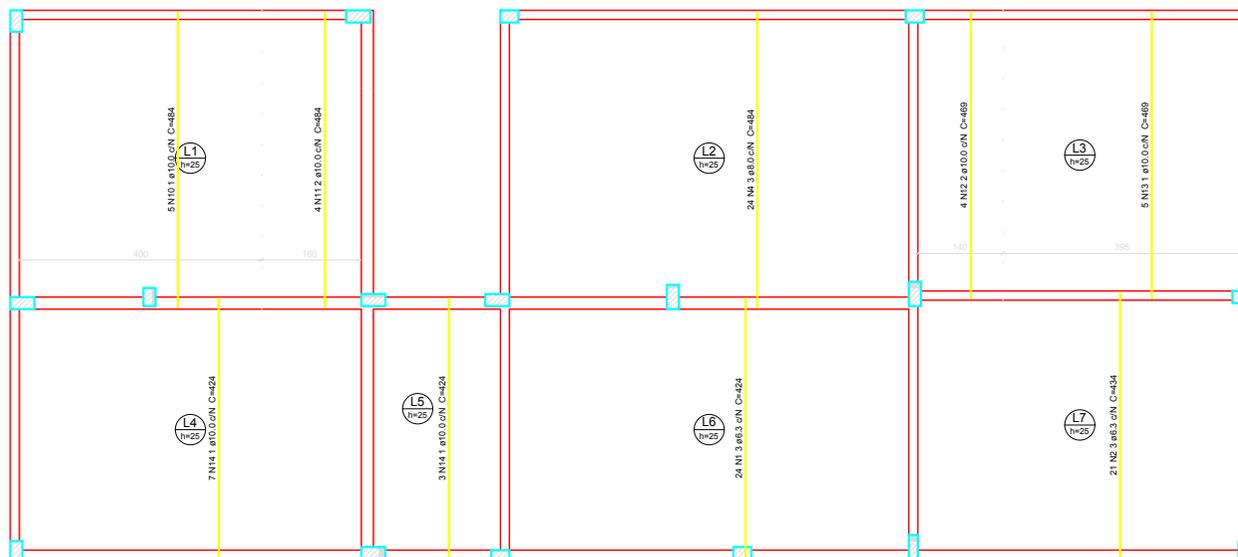


Armação negativa das lajes do pavimento Pavimento 1 (Eixo Y)

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PRJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PRJETO	ARMAÇÃO NEGATIVA PAVIMENTO 1
ESCALA 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA

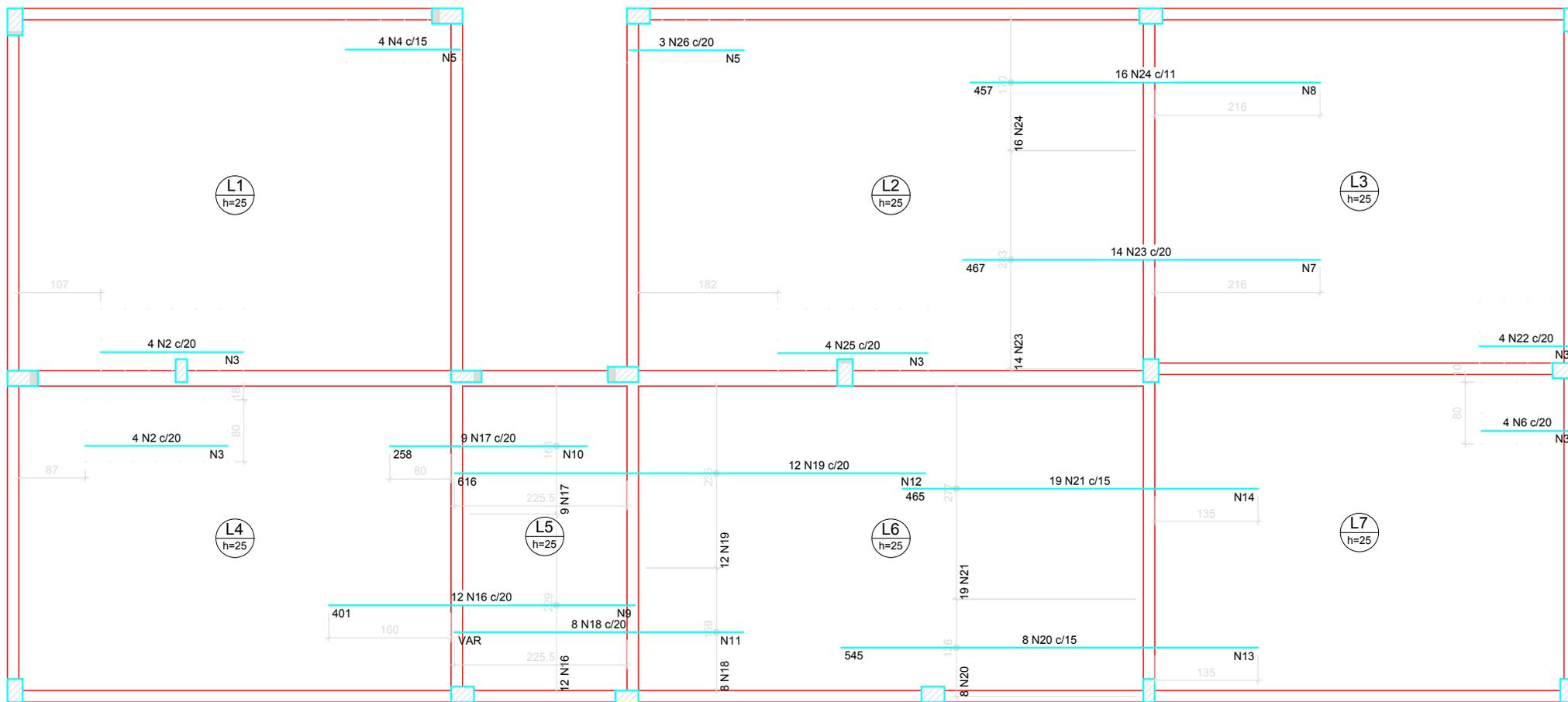


Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 1 (Eixo X)



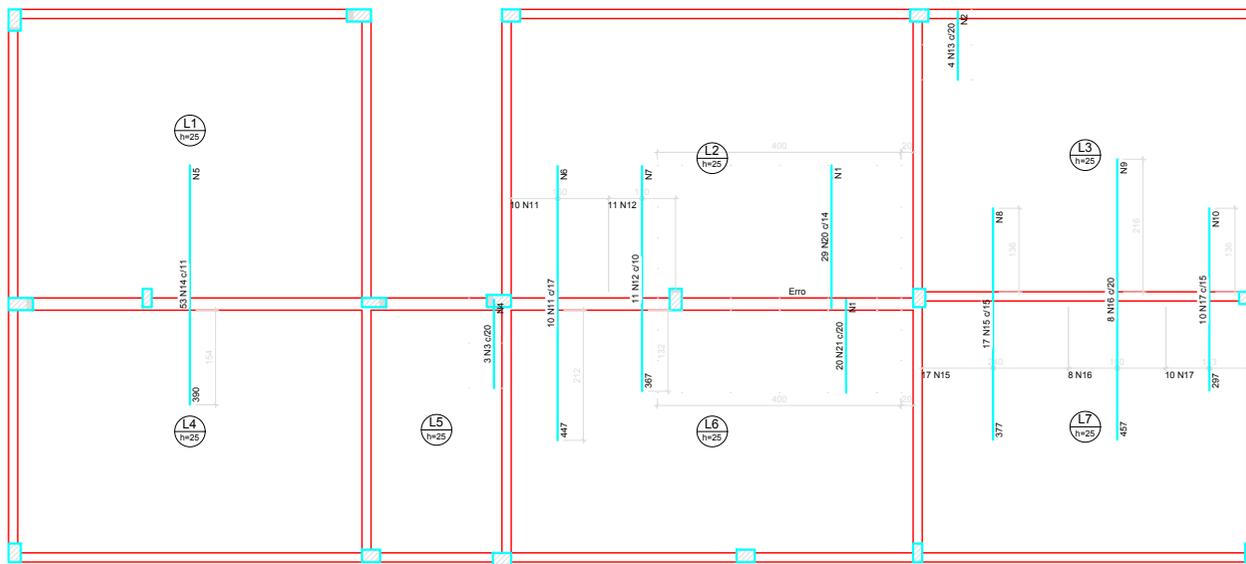
Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 1 (Eixo Y)

PRANCHA	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA
01/01	CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
	CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVA PAVIMENTO 1
ESCALA:1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA

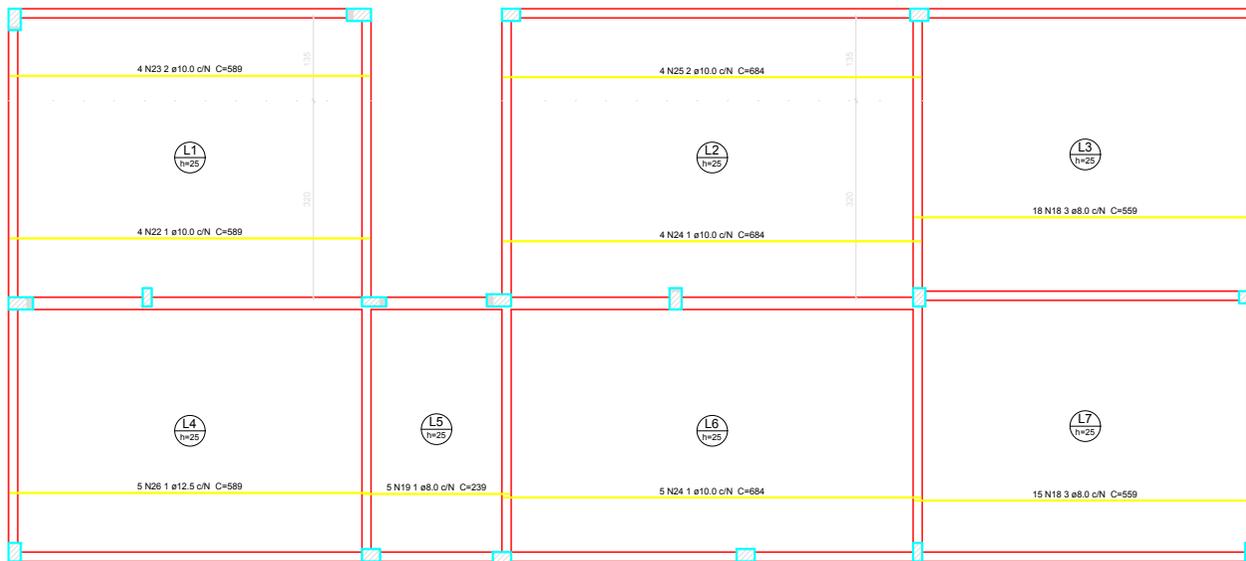


Armação negativa das lajes do pavimento Pavimento 2 (Eixo X)

FRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO NEGATIVA PAVIMENTO 2
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA

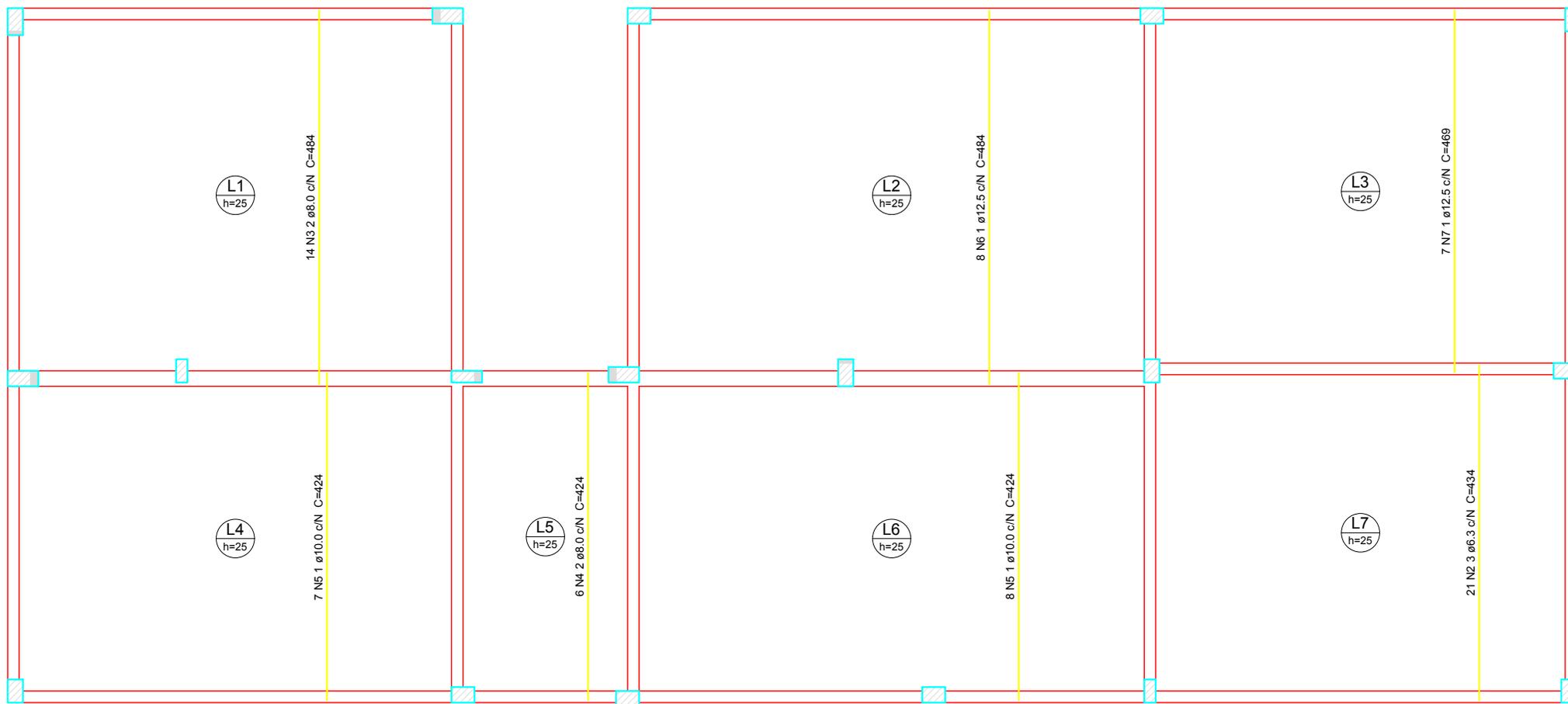


Armação negativa das lajes do pavimento Pavimento 2 (Eixo Y)



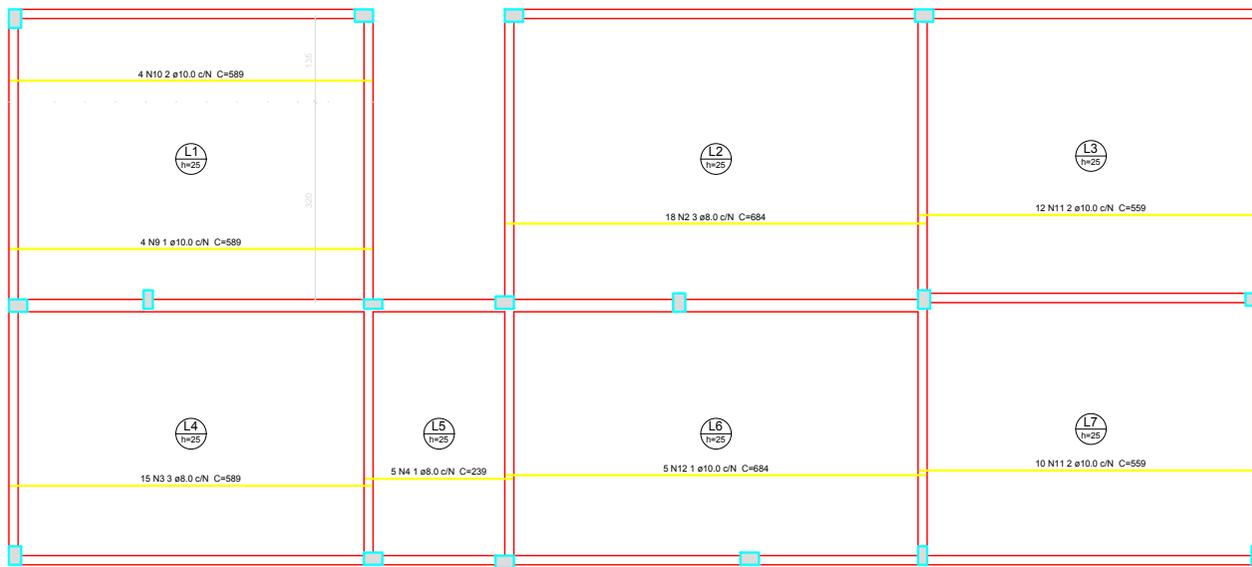
Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 2 (Eixo X)

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVA PAVIMENTO 2
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA

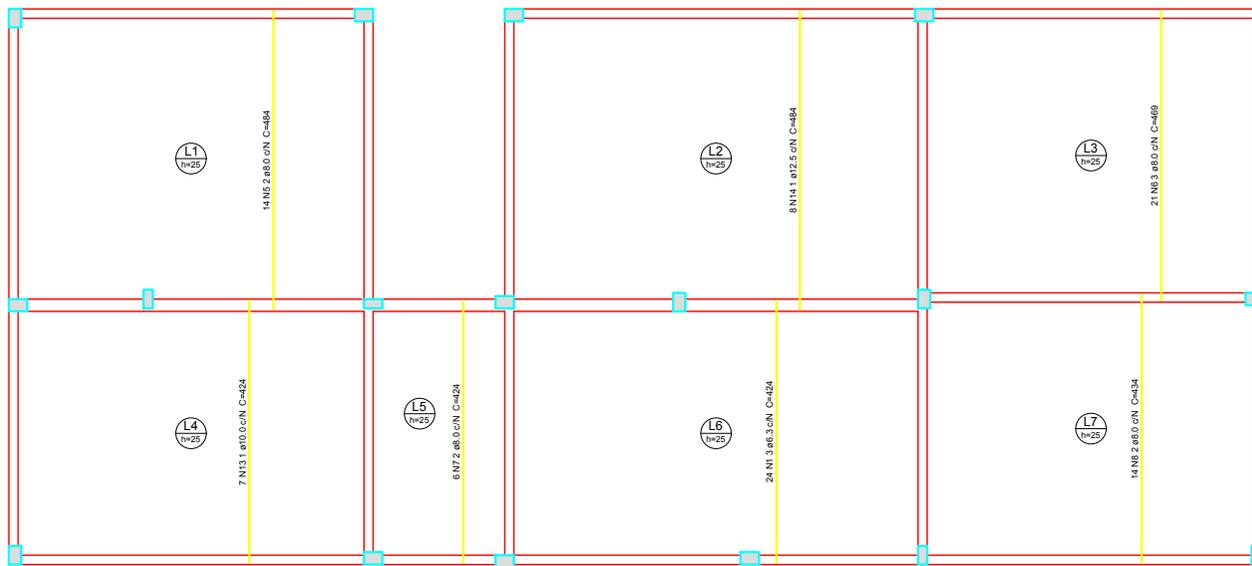


Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 2 (Eixo Y)

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAIBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SDLÁNEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVA PAVIMENTO 2
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA



Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 3 (Eixo X)



Armação positiva das lajes do pavimento Pavimento 3 (Eixo Y)

PRANCHA 01/01	UNIVERSIDADE ESTADUA DA PRAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE CAMPUS VIII - ARARUNA
PROJETO	EDIFÍCIO RESIDENCIAL
LOCALIDADE	SOLANEA - PB
PROJETO	ARMAÇÃO POSITIVA PAVIMENTO 3
ESCALA: 1/75	TIPO DE LAJE: LAJE NERVURADA