



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

EMANOEL ARMANDO TEIXEIRA

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS COM
DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

Caruaru, 2015

EMANOEL ARMANDO TEIXEIRA

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS COM
DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Roberto Evaristo Oliveira Neto

Caruaru, 2015

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Simone Xavier CRB/4-1242

T266e Teixeira, Emanuel Armando.
 Estudo técnico comparativo entre lajes nervuradas com diferentes tipos de materiais
 de enchimento. / Emanuel Armando Teixeira. - Caruaru: O Autor, 2015.
 54f. : il. ; 30 cm.

 Orientador: Roberto Evaristo Oliveira Neto.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de
 Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2015.
 Inclui referências bibliográficas

 1. Concreto armado. 2. Lajes de concreto. 3. Custo. I. Oliveira Neto, Roberto
 Evaristo. (Orientador). II. Título

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2015-121)

EMANOEL ARMANDO TEIXEIRA

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS COM DIFERENTES MATERIAIS DE ENCHIMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do Curso de
bacharelado em Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE, em cumprimento às exigências para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Área de Concentração: **Estruturas.**

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato aprovado
com nota _____.

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Roberto Evaristo Oliveira Neto _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Dr. José Moura Soares _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof.^a Dr.^a Juliana Von Schmalz Torres _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof.^a Dr.^a Sylvana Melo dos Santos _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da disciplina)

Dedico este trabalho à minha
família, por todo apoio e incentivo,
pois sem os quais eu não chegaria
aos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu a vida e as condições necessárias para que eu pudesse concluir mais essa etapa de minha vida.

Agradeço aos meus pais, Maria Auxiliadora e Paulo, pelo apoio incondicional que sempre me deram, trazendo-me a possibilidade de poder aproveitar as oportunidades da vida da melhor maneira.

Agradeço à minha noiva, Maria, pelo companheirismo, apoio e confiança passados a mim em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Agradeço a toda a minha família, que foi o alicerce para que eu pudesse alcançar os meus objetivos e poder concluir essa etapa de minha vida.

Agradeço ao meu professor e orientador Roberto Evaristo, pelo conhecimento demonstrado durante o desenvolvimento deste trabalho e o apoio necessário para a realização deste.

Agradeço a todos os professores, que, de forma direta e indireta, contribuíram para o conhecimento necessário para a realização deste trabalho e para minha formação profissional.

RESUMO

ESTUDO TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS COM DIFERENTES TIPOS DE MATERIAIS DE ENCHIMENTO

A produtividade de uma empresa está atrelada à sua capacidade de otimizar custo e produção, de modo que as melhores eficiência e eficácia sejam alcançadas com os menores gastos. Na engenharia civil, em um momento onde há uma grande concorrência empresarial pelo mercado, essas características produtivas são muito bem aplicáveis. Em cada fase das construções, deve-se realizar uma análise criteriosa sobre os métodos de trabalho, os materiais utilizados e a gestão do funcionamento, entre outros fatores, de modo a manter a qualidade do serviço com menor custo.

Nesse contexto, este trabalho visa analisar e comparar os diferentes materiais utilizados para enchimento de lajes nervuradas, com o objetivo de reduzir o custo nas obras. Nessa pesquisa, foram analisados os seguintes materiais de enchimento: blocos de EPS, blocos cerâmicos e fôrmas reutilizáveis de polipropileno. Fundamentando-se na NBR 6118/14 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, os dados foram agrupados e organizados em planilhas do EXCEL, e em seguida analisados com a finalidade de obter-se os seguintes dados: esforços cortantes, momentos fletores, deslocamentos, consumo de fôrmas, consumo de concreto, taxa de aço, flecha, e detalhamento dos custos totais associados a cada modelo analisado.

Palavras-chave: Concreto Armado, Laje Nervurada, custo.

ABSTRACT

TECHNICAL STUDY COMPARATIVE BETWEEN RIBBED SLABS WITH DIFFERENT TYPES OF FILLING MATERIALS

The productivity of a company is linked to its capacity of optimize cost and production, so that the best efficiency and effectiveness are achieved with lower expenses. In civil engineering, at a time when there is a big company's competition for market, these productive characteristics are very well applicable. At each stage of construction, a careful analysis of the working methods, the materials used and management operation among other factors should be performed to maintain the quality of service with less expenses.

In this context this work aims to analyze and compare the different materials used for filling ribbed slabs with the aim of optimize their use in buildings. In this research the following fillers were analyzed: EPS' blocks, ceramic's blocks and reusable polypropylene formworks. Basing on the NBR 6118/2014 of Brazilian Association of Technical Standards the data were grouped and organized in EXCEL's spreadsheets, then were analyzed with the goal of obtain the following data: shear's efforts, bending moments, displacements, consumption formwork, concrete's consumption, steel ratio, Arrow and details of total costs associated with each analyzed model.

Key words: Reinforced Concrete, Ribbed Slabs, Cost.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espessura da laje, peso próprio e flecha total	40
Tabela 2 - momentos e cortantes máximos e consumo de concreto e taxa de aço por m ²	42
Tabela 3 - Custo dos materiais	48
Tabela 4 - Quantitativo total de materiais.....	48
Tabela 5 - Custo total da laje para cada sistema construtivo.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento das Lajes (Silva, 2005)	17
Figura 2 - Vãos de lajes armadas em uma direção (Bastos, 2005)	18
Figura 3 - Vãos de lajes armadas em duas direções (Bastos, 2005)	19
Figura 4 - Comprimento efetivo do vão.....	20
Figura 5 - Laje maciça apoiada sobre vigas (Oliveira, 2012)	25
Figura 6 - Corte transversal de uma laje nervurada com armadura.....	26
Figura 7 - Laje nervurada normal.....	27
Figura 8 - Laje Nervurada Invertida.....	28
Figura 9 - Laje nervurada de mesa dupla.....	28
Figura 10 - Laje moldada no local (do autor, 2015)	29
Figura 11 - Blocos cerâmicos como material de enchimento.....	30
Figura 12 - Laje nervurada moldada no local com uso de forma de polipropileno (do autor, 2015)	31
Figura 13 - Laje treliçada com uso de bloco de EPS (do autor, 2014)	32
Figura 14 - Corte da laje nervurada.....	38
Figura 15 - Peso próprio da laje do pavimento tipo para os diferentes modelos	41
Figura 16 - Flecha máxima da laje mais solicitada nos três sistemas construtivos.....	42
Figura 17 - Momento fletor máximo negativo para a laje mais solicitada do pavimento	43
Figura 18 - Momento fletor máximo positivo na laje mais solicitada do pavimento tipo	44
Figura 19 - Cortantes na laje mais solicitada do pavimento tipo	45
Figura 20 - Consumo de aço para cada modelo de laje	46
Figura 21 - Consumo de concreto de cada modelo de laje.....	47
Figura 22 - Custo total de cada modelo de laje nervurada.....	49

SUMÁRIO

1. Introdução	13
1.1 Relevância do Tema	14
1.2. Objetivos Gerais e Específicos	15
1.2.1 Objetivos Gerais	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
2. Referencial Teórico	16
2.1 Definição de Placas	16
2.2 Lajes de Concreto Armado	16
2.3 Tipos de Lajes de Concreto Armado	17
2.4 Classificação das Lajes de Concreto Armado	17
2.4.1 Quanto à direção da armadura principal	17
2.4.2 Quanto à Vinculação nas Bordas	19
2.5 Vão Efetivo	20
2.6 Ações a Considerar no Dimensionamento de Lajes de Concreto Armado	20
2.6.1 Ações Permanentes	21
2.6.2 Ações Variáveis	22
2.6.3 Ações Excepcionais	22
2.7 Estados Limites Para Projeto de Estruturas	22
2.8 Combinações de Ações	23
2.8.1 Combinações Últimas	23
2.8.1.1 Combinações Últimas Normais	23
2.8.1.2 Combinações Últimas Especiais ou de Construção	24
2.8.1.3 Combinações Últimas Excepcionais	24
2.9 Lajes Maciças	24
2.10 Lajes Nervuradas	25
2.10.1 Tipos de Lajes Nervuradas	26
2.10.2 Lajes nervuradas com nervuras pré-moldadas	26
2.10.3 Lajes nervuradas moldadas no local	27
2.10.3.1 Tipos de laje nervuradas moldadas no local	27
2.10.3.2 Vantagens das Lajes Nervuradas	29

2.11 Materiais de Enchimento	30
2.11.1 Blocos Cerâmicos	30
2.11.2 Fôrmas de Polipropileno.....	31
2.12 Uso de Capiteis e vigas-faixa em Lajes Nervuradas.....	33
2.13 Prescrições Normativas para Lajes Nervuradas	33
2.14 Normas Técnicas para Dimensionamento de Lajes.....	35
2.15 Sequência de projeto Para Lajes Nervuradas	35
3. Metodologia.....	37
3.1 Desenvolvimento da Pesquisa.....	37
4. Resultados e Discussão	40
4.1 Análise Estrutural.....	40
4.2 Análise de custo	47
5. Conclusões.....	50
Referências	52
Anexos A.....	I
Anexos B	XVII

1. INTRODUÇÃO

Diante da grande competitividade na indústria da construção civil, é inevitável a busca por métodos e materiais que reduzam custos e racionalizem melhor o tempo de execução dos projetos de engenharia. Com a evolução dos projetos arquitetônicos, vãos cada vez maiores aparecem e precisam ser vencidos de maneira técnica e economicamente viável. As lajes nervuradas surgem como alternativa. Segundo a NBR 6118/2014, lajes nervuradas são “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração é constituída por nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

Dependendo da finalidade da edificação projetada, há um grau de exigência da funcionalidade, dimensões mínimas e ações a serem atendidas. Deste modo, a escolha estrutural do sistema mais adequado para um determinado pavimento de um edifício, a definição do processo construtivo a ser utilizado, tratando sempre do ponto de vista de que o sistema estrutural e a execução deve obedecer às indicações normativas, sendo feita levando-se em consideração os fatores econômicos, os de funcionamento e os relacionados à interação com os subsistemas da edificação.

1.1. Relevância do tema

Caruaru vem demonstrando nos últimos anos um crescimento populacional associado a um maior crescimento econômico. Analisando a produção econômica, o ramo industrial e o de comércio e serviços compõem quase todo o PIB; isso mostra a tendência à urbanização da população. Assim, como em todas as grandes cidades, esse aumento populacional leva a uma tendência à verticalização das habitações, o que traz maior importância ao ramo imobiliário e de construção civil.

Com todo esse avanço, e com a alta competitividade no mercado da construção civil, os engenheiros buscam a cada dia soluções eficientes para otimizar a utilização das matérias-primas, com boa relação custo benefício. As lajes nervuradas proporcionam essas vantagens e, com a possibilidade de termos uma ausência de concreto na região tracionada, permite-se uma redução considerável no consumo desse material e um melhor aproveitamento do aço (o concreto é mais resistente à compressão, não tendo resistência suficiente à tração). Quanto ao seu dimensionamento, com uso das tecnologias existentes é rápido e simples.

Conforme citado há uma necessidade de construções de grandes vãos que, por sua vez, trazem flexibilidade nos ambientes e na arquitetura dos projetos, sejam eles residenciais, comerciais ou industriais. As lajes nervuradas de concreto armado são capazes de alcançar vãos consideráveis e suportarem cargas elevadas. Essas lajes são executadas com alguns tipos de material de enchimento como o EPS (isopor), blocos cerâmicos e a fôrma de polipropileno. Como esses materiais são industrializados, o processo torna-se mais rápido e competitivo.

Quando se trata de grandes vãos, as lajes nervuradas são uma alternativa muito eficiente, pois apresentam pequenos deslocamentos transversais, além de permitirem uma construção racionalizada, com a mesma tecnologia empregada no processo tradicional de lajes maciças.

A escolha do material de enchimento da laje nervurada varia de acordo com o projeto, devendo ser feita uma análise cuidadosa dos aspectos técnicos e econômicos de cada um deles para assim obter uma melhor eficiência no sistema construtivo. Isto demonstra a importância de o aluno de engenharia civil ter bom conhecimento dos vários modelos de lajes nervuradas, para ter condições de um bom desempenho na sua vida profissional.

1.2. Objetivos gerais e específicos

1.2.1 Objetivos gerais

Definir parâmetros para escolha do tipo de laje nervurada a ser utilizada em uma estrutura de concreto armado, levando em consideração os esforços solicitantes e resistentes do sistema, o volume de concreto, a taxa de armadura e os diferentes tipos de materiais de enchimento.

1.2.2 Objetivos específicos

1 - Estudar as características técnicas estruturais de cada tipo de laje nervurada moldada in loco.

2 - Avaliar o processo executivo de cada tipo de laje nervurada.

3 - Estudar os critérios técnicos e econômicos para escolha do sistema construtivo mais viável.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Definição de placas

A NBR 6118/2014 no item 14.4.2.1 define as placas como sendo “elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes.”

2.2 Lajes de concreto armado

Segundo Souza e Cunha (1998), as lajes são elementos estruturais planos, geralmente retangulares e monolíticos, onde a espessura h é muito menor que as outras dimensões. As lajes são projetadas para suportar cargas principalmente transversais ao seu plano.

As lajes distribuem-se por grande parte da extensão dos pavimentos, sobre elas os carregamentos geram ações verticais perpendiculares à sua superfície. Receber e transmitir os esforços aos apoios é sua principal função, além de contraventar a estrutura de concreto armado dos edifícios.

As lajes destinam-se a receber a maior parte das ações aplicadas numa construção, normalmente de pessoas, móveis e paredes, dependendo do empreendimento. Assim, varia muito o tipo de carregamento na edificação. As ações geralmente são perpendiculares ao plano da laje como mostra a figura 1, podendo ser distribuída linearmente na área ou de forças concentradas.

As ações são transmitidas para as vigas ou diretamente aos pilares, essas últimas no caso das chamadas lajes lisas.

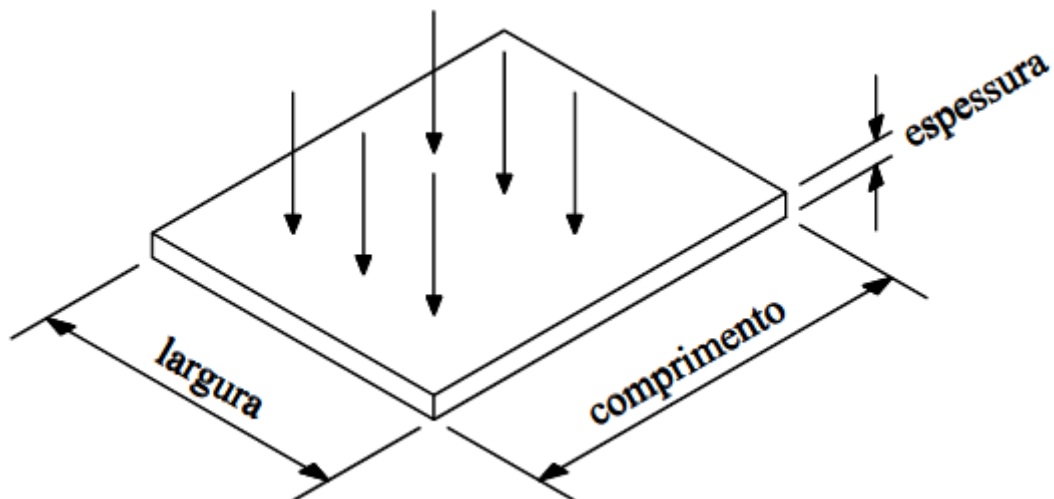


Figura 1 - Comportamento das Lajes (Silva, 2005)

2.3 Tipos de lajes de concreto armado

As lajes podem ser classificadas em dois grandes grupos: as lajes moldadas no local e as lajes pré-fabricadas (essa pré-fabricação pode ser total ou parcial).

As lajes moldadas no local (“in loco”) recebem essa denominação por serem construídas totalmente na própria obra, é montada no local em que serão utilizadas estruturalmente.

As lajes pré-moldadas recebem elementos pré-fabricados para a sua construção, geralmente produzidos fora do canteiro de obras, mas podem apresentar exceções, sendo produzidas nas instalações do próprio canteiro. Tais elementos pré-fabricados podem ser de concreto armado ou de concreto protendido, independentemente se confeccionados no canteiro de obras ou em alguma indústria fora das instalações da obra.

2.4 Classificação das lajes de concreto armado

2.4.1 Quanto à direção da armadura principal

As lajes de concreto armado podem ser armadas em uma única direção (unidirecional) ou em duas direções (bidirecionais);

a) Lajes armadas em uma direção: As lajes armadas em uma direção possuem uma relação entre o lado maior e o lado menor maior que dois, desse modo são lajes bem retangulares como mostra a figura 2.

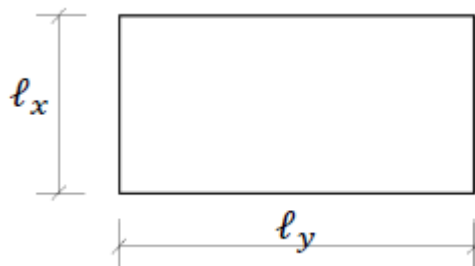


Figura 2 - Vãos de lajes armadas em uma direção (Bastos, 2005)

L_x = menor vão $L_y/L_x > 2$

L_y = maior vão

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

Na direção secundária é colocada uma armadura mínima de distribuição prevista pela NBR 6118/2014.

b) Lajes armadas em duas direções: Nas lajes armadas em duas direções, 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 3.

L_x = menor vão

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

L_y = maior vão

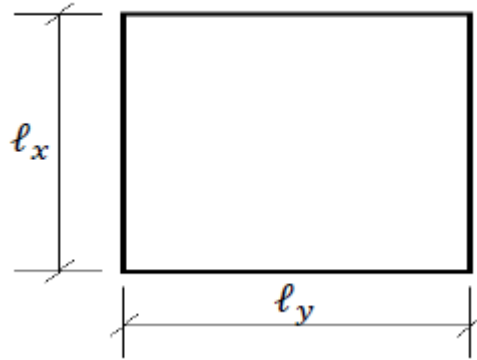


Figura 3 - Vãos de lajes armadas em duas direções (Bastos, 2005)

2.4.2 Quanto à vinculação nas bordas

Para o cálculo dos esforços solicitantes e das deformações nas lajes, torna-se necessário a definição dos vínculos da laje com os apoios, sejam eles pontuais como os pilares, ou lineares como as vigas de borda. A vinculação nas bordas da laje pode ser simplesmente apoiada ou engaste perfeito.

- A) Bordas simplesmente apoiadas:** O apoio simples surge nas bordas onde não existe ou não se admite a continuidade da laje com outras lajes adjacentes.
- B) Bordas engastadas:** O engaste perfeito ocorre nas bordas onde há continuidade entre duas lajes vizinhas e no caso de laje em balanço, varandas, etc.

2.5 Vão Efetivo

De acordo com a NBR 6118/2014, item 14.6.2.4, os vãos efetivos das lajes nas direções principais, considerando que os apoios são suficientemente rígidos na direção vertical, devem ser calculados pela seguinte expressão:

$$L_{ef} = L_0 + a_1 + a_2$$

$$a_1 = t_1/2 \text{ e } a_2 = t_2/2$$

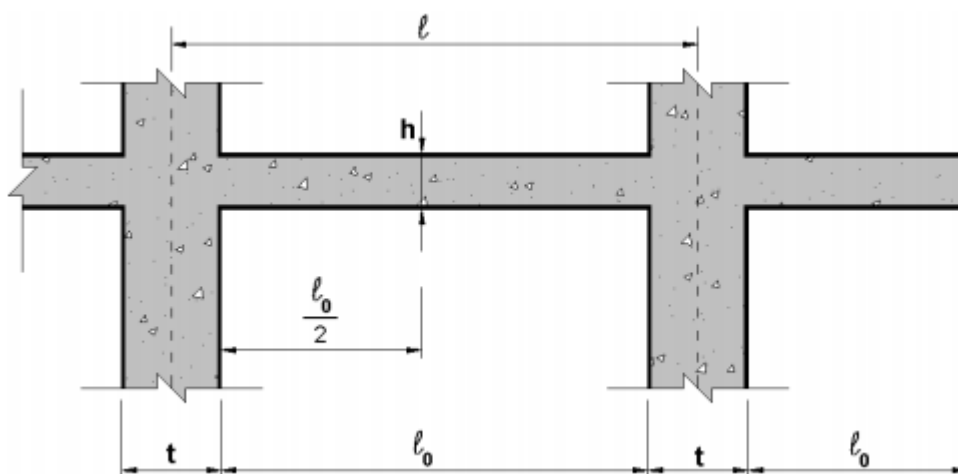


Figura 4 - Comprimento efetivo do vão (Bastos, 2005)

2.6 Ações a considerar no dimensionamento de lajes de concreto armado

As ações ou carregamentos a considerar nas lajes são os mais variados, desde pessoas até móveis, equipamentos fixos ou moveis, divisórias, paredes, água, solo, etc. As lajes atuam recebendo as cargas de utilização e transmitindo-as para os apoios, geralmente vigas nas bordas.(Bastos, 2005).

Nos edifícios, as lajes ainda têm a função de atuarem como diafragmas (elementos de rigidez infinita no seu próprio plano), distribuindo os esforços horizontais do vento para as estruturas de contraventamento, responsáveis pela estabilidade global dos edifícios.

No cálculo das ações atuantes nas lajes de concreto armado, deve-se recorrer às normas NBR 6118/2014, NBR 8681/2003 e NBR 6120/1980. Dependendo da obra, se as normas brasileiras não forem suficientes, pode-se recorrer às de outros países.

Segundo a NBR 8681/2003, no item 4.3, as ações são causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações.

Nas construções de edifícios correntes, geralmente as ações principais a serem consideradas são as ações permanentes (g) e as ações variáveis (q).

2.6.1 Ações permanentes

A NBR 8681/2003, no item 3.5, define ações permanentes como aquelas que ocorrem com valores constantes ou de pequenas variações em torno de sua vida média, durante praticamente toda a vida da construção.

A NBR 8681/2003, no item 4.2.1.1, classifica as ações permanentes em ações permanentes diretas e ações permanentes indiretas.

- a) Ações Permanentes diretas:** As ações permanentes diretas são constituídas pelos pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas.
- b) Ações permanentes indiretas:** As ações permanentes indiretas são constituídas por deformações impostas por retração dos materiais, fluência, recalques de apoio e protensão.

2.6.2 Ações variáveis

A NBR 8681/2003, no item 4.2.1.2, considera como ações variáveis as cargas acidentais das construções e efeitos, tais como forças de frenação, de impacto e centrífugas, os efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e, em geral, as pressões hidrodinâmicas. Em função de sua probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, as ações variáveis são classificadas em normais ou especiais;

- a) Ações variáveis normais:** Ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;
- b) Ações variáveis especiais:** Nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

2.6.3 Ações excepcionais

O item 4.2.1.3 NBR 8681/2003 considera como excepcionais as ações decorrentes de causas como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais. Os incêndios, além de serem tratados como causas de ações excepcionais, podem ser levados em conta por causa de uma redução da resistência dos materiais constitutivos da estrutura que eles causam.

2.7 Estados limites para projeto de estruturas

A NBR 8681/2003 no item 4.1 define que os estados limites podem ser estados limites últimos ou estados limites de serviço. Os estados limites considerados nos projetos de estruturas dependem dos tipos de materiais de

construção empregados e devem ser especificados pelas normas referentes ao projeto de estruturas com eles construídas.

O estado limite último é empregado no dimensionamento de estruturas de concreto armado e o estado de serviço é utilizado para verificar danos, deformações excessivas ou vibrações que comprometam o aspecto estético ou a durabilidade das estruturas em serviço.

2.8 Combinações de ações

No item 11.8.1 da NBR 6118/2014, um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido.

A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A verificação da segurança em relação aos estados limites últimos e aos estados limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

As ações permanentes são consideradas em sua totalidade, enquanto que para as ações variáveis são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança.

2.8.1 Combinações últimas

Segundo a NBR 6118/2014, no item 11.8.2, uma combinação última pode ser classificada em normal, especial ou de construção e excepcional.

2.8.1.1 Combinações últimas normais

A NBR 6118/2014, no item 11.8.2.1, prescreve que em cada combinação devem estar incluídas as ações permanentes e a ação variável principal, com seus valores característicos e as demais ações variáveis, consideradas como secundárias, com seus valores reduzidos de combinação conforme a NBR8681/03.

2.8.1.2 Combinações últimas especiais ou de construção

Segundo a NBR 6118/2014, no item 11.8.2.2, em cada combinação devem estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, quando existir, com seus valores característicos, e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme a NBR 8681/2014.

2.8.1.3 Combinações últimas excepcionais

No item 11.8.2.2 da NBR 6118/2014 prescreve que em cada combinação devem figurar as ações permanentes e a ação variável excepcional, quando existir, com seus valores representativos, e as demais ações variáveis com probabilidade não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores reduzidos de combinação, conforme a NBR 6118/2014. Nesse caso se enquadram sismos, incêndio e colapso progressivo, entre outros.

2.9 Lajes maciças

Lajes maciças são aquelas onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiadas em vigas ou paredes ao longo das bordas, conforme mostra a figura 5.

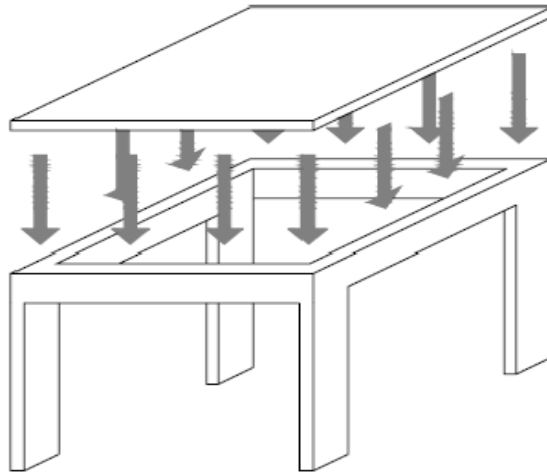


Figura 5 - Laje maciça apoiada sobre vigas (Oliveira, 2012)

2.10 Lajes nervuradas

Definição:

Segundo a NBR 6118/2014, item 14.7.7, “lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré- moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos está localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”.

Segundo levantamentos históricos, a primeira laje nervurada foi executada por Wilinon,(1854), que patenteou um sistema em concreto armado composto de pequenas vigas espaçadas regularmente, dispondo barras de aço nas regiões tracionadas e preenchendo os vazios entre as lajes com moldes de gesso (KAEFER,1998 apud ARAÚJO 2008).

As lajes nervuradas são constituídas por uma série de vigas solidarizadas entre si pela mesa, possuem seção transversal em forma de “T” e comportam-se, estaticamente, de maneira intermediária entre placas e grelhas (BOCCHI e GIONGO,1993).

Desta forma, combatem com muita eficiência os esforços de tração, que são absorvidos pela nervura com a devida armadura, e os esforços de compressão, que são suportados, em sua maior parte, pela mesa de concreto.

Essa estrutura está ilustrada na figura 6. Com a linha neutra situada próxima à região da mesa, a parte inferior pouco contribui para a resistência de compressão, servindo apenas para garantir a aderência entre o aço e o concreto. Tal região é considerada inerte e poderá ser preenchida com material leve, sem função estrutural, como placas de isopor, elementos cerâmicos, entre outros (ARAÚJO, 2008).

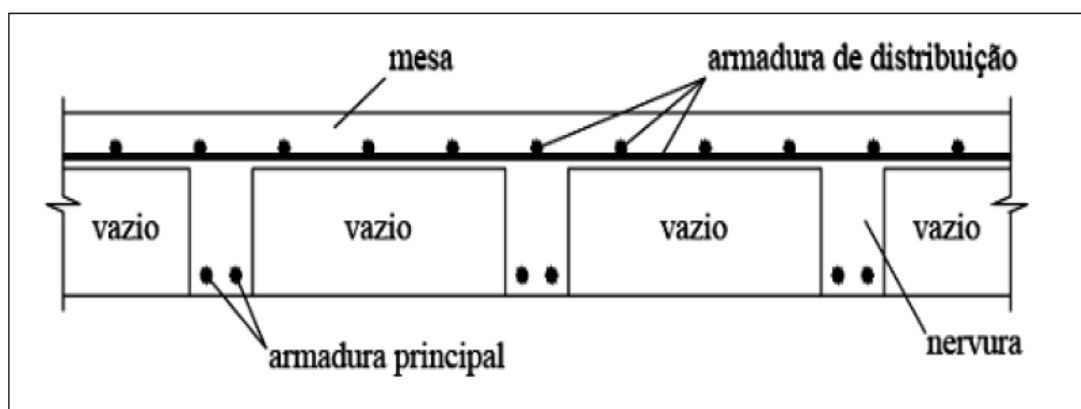


Figura 6 - Corte transversal de uma laje nervurada com armadura (Bastos, 2005)

2.10.1 Tipos de lajes nervuradas

Nesse trabalho, vamos dar ênfase em dois tipos de lajes nervuradas: moldadas no local e de nervuras pré-moldadas.

2.10.2 Lajes nervuradas com nervuras pré-moldadas

Nesse tipo de laje, as nervuras chegam à obra já confeccionadas, apenas são posicionadas e entre essas nervuras é colocado o material inerte, bloco de EPS ou lajotas cerâmicas.

Segundo Borges (1997 apud ALBUQUERQUE, 1999), a pré-fabricação é um método industrial de construção no qual os elementos fabricados em série por sistema de produção em massa são posteriormente montados em obra, tendo como principais vantagens as reduções do tempo de construção, do peso da estrutura e, conseqüentemente, do custo final da obra.

2.10.3 Lajes nervuradas moldadas no local

Esse tipo de laje é construído totalmente no local, todo o processo é desenvolvido de maneira convencional na obra. É preciso uso de fôrmas, escoramento e material de enchimento de acordo com o projeto e as tecnologias de construção. Neste trabalho, foi esse o modelo de laje estudado.

2.10.3.1 Tipos de laje nervuradas moldadas no local

As lajes nervuradas moldadas no local geralmente são classificadas de acordo com a posição das nervuras na seção, podendo ser de três tipos: normal, invertida ou dupla. Está representada na figura 10.

1- Normal: As nervuras ficam na parte inferior e a mesa na parte superior da seção transversal da peça estrutural. O espaço entre as nervuras é ocupado por material inerte sem função estrutural. Na figura 7 podemos observar uma ilustração desta estrutura.

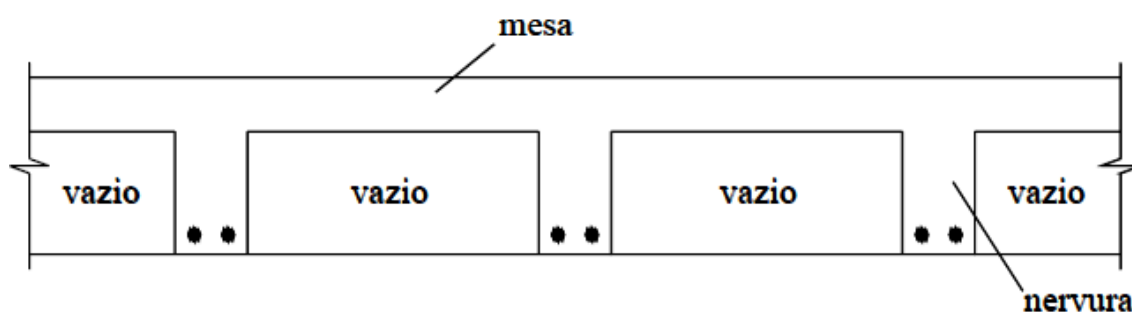


Figura 7 - Laje nervurada normal (Bastos, 2005)

2- Invertida: Representada na figura 8, possui nervuras superiores e uma mesa inferior, geralmente usada em balanços, onde existe momento fletor negativo. Essa alternativa de construção é de maior uso em lajes de cobertas.

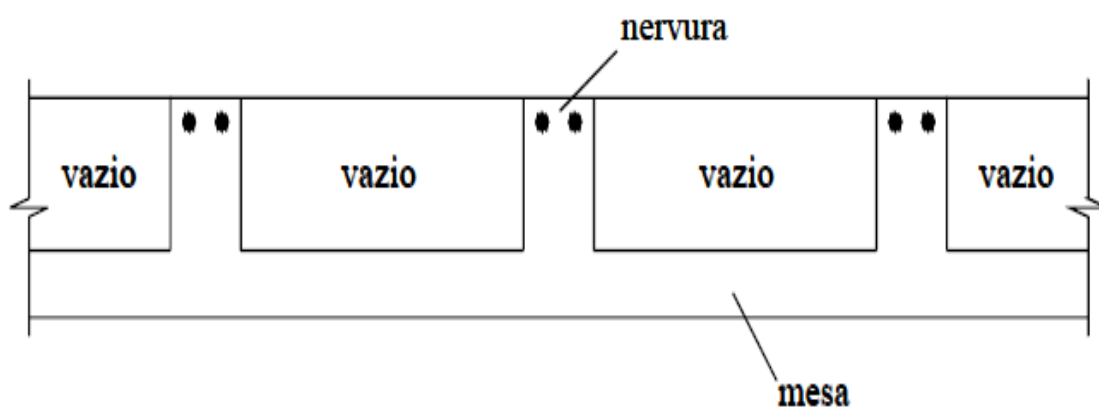


Figura 8 - Laje nervurada invertida (Bastos,2005)

3- Dupla: Representada na figura 9, suas nervuras ficam confinadas entre duas mesas de concreto, uma superior e outra inferior, e os espaços vazios podem ficar vazios ou preenchidos com algum material de enchimento.

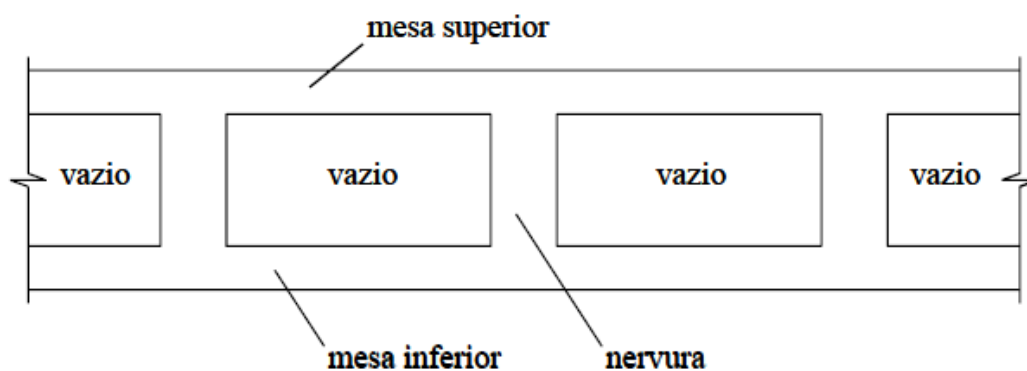


Figura 9 - Laje nervurada de mesa dupla (Bastos, 2005)



Figura 10 - Laje moldada no local (do Autor, 2014)

2.10.3.2 Vantagens das lajes nervuradas

Bastos (2005) apresenta as seguintes vantagens das lajes nervuradas em relação às lajes maciças de concreto armado:

- Menor peso próprio;
- Menor consumo de concreto;
- Redução de fôrmas;
- Maior capacidade de vencer grandes vãos;
- Maiores planos lisos (sem vigas).

2.11 Materiais de enchimento

Os blocos de enchimentos exercem a função de dar forma ao concreto, dando forma às nervuras e ao capeamento, além de proporcionar superfícies inferiores lisas. Esse material deve ser preferencialmente leve para não carregar a estrutura. (Bastos, 2005).

O material de enchimento é também responsável pelo isolamento acústico da edificação e de grande importância estética em projetos que deixam sem revestimento o teto do pavimento. Entre os materiais usados como enchimento nas lajes nervuradas de concreto armado destacam-se o bloco cerâmico, EPS e as formas reutilizáveis de polipropileno. Esses são muito usados na construção civil na região do agreste de Pernambuco.

2.11.1 Blocos cerâmicos

Blocos cerâmicos, representados na figura 11, são usados principalmente no modelo de laje com nervuras pré-moldadas, tratam-se de blocos vazados que dão um melhor isolamento térmico em comparação com as lajes maciças. Este modelo de enchimento proporciona facilidade e rapidez na execução do serviço, mas possui algumas desvantagens, como seu peso elevado e absorção de água.

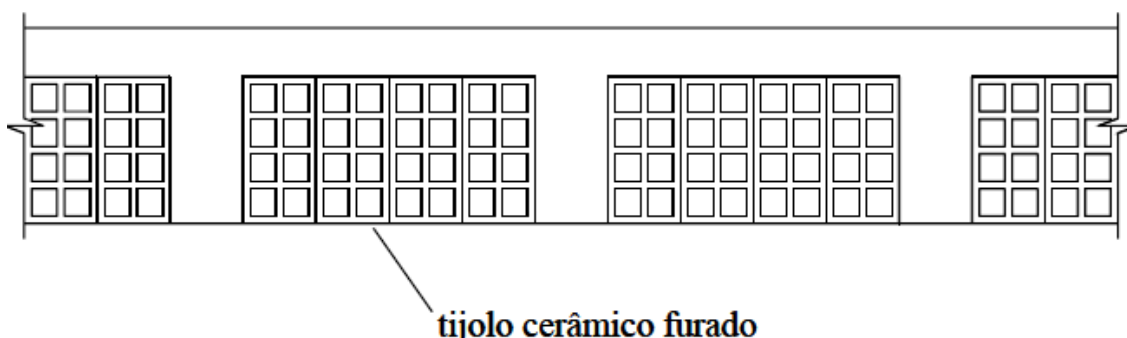


Figura 11 - Blocos cerâmicos como material de enchimento (Bastos,2005)

2.11.2 Fôrmas de polipropileno

A cubeta plástica, em polipropileno, usada como forma para lajes nervuradas moldadas no local (figura 12), é reutilizável, leve e, se usada sob as recomendações do fabricante, possui vida útil elevada. Alguns fabricantes indicam até 100 usos .

Com o uso das cubetas plásticas, pode ser dispensado o tablado de escoramento inferior, sendo colocado apenas longarinas na região das nervuras. Além da economia de concreto que essa modalidade estrutural proporciona, ainda há benefícios ao meio ambiente, visto que esses tablados usados em sistemas tradicionais são fabricados de madeira.

Com a reutilização das formas, o sistema fica muito econômico, principalmente em obras verticais com grande número de pavimentos.



Figura 12 - Laje nervurada moldada no local com uso de forma de polipropileno (do Autor,2014)

Principais vantagens no uso de formas de polipropileno:

- Por ser um material leve, facilita o manuseio na obra;

- Indicado para até 100 usos, deixando o sistema muito econômico;
- Fácil montagem e desforma;
- Bom acabamento final, estética agradável;
- Pode ser usado em vários tipos de obras;
- Eliminação do assoalho;
- Economia de concreto e aço

2.11.3 Blocos de EPS (poliestireno expandido)

O EPS é um derivado do petróleo que recebe uma adição de gás pentano, que é inofensivo à natureza, sendo uma matéria-prima inovadora na área da construção civil. No Brasil, é conhecido como isopor, sendo uma marca registrada de uma empresa. O EPS é industrializado e capaz de expandir-se até 50 vezes quando exposto ao vapor d'água. O resultado é uma espuma rígida formada em sua maioria por ar, que impede a passagem de líquidos como, por exemplo, a água (VITALLI, 2010).

Os blocos de poliestireno expandido podem ser usados como material de enchimento na construção de lajes nervuradas armadas em uma ou duas direções. Podemos observar isso na figura 13.



Figura 13 - Laje treliçada com uso de bloco de EPS (do Autor, 2014)

Silva (2005) apresenta as seguintes vantagens no uso do bloco de EPS em lajes nervuradas:

- Por apresentar baixo peso específico, proporciona uma redução do peso próprio da estrutura e, conseqüentemente, se economiza em aço, concreto e fundação;
- Permite recorte nas dimensões desejadas e é produzido em grandes blocos;
- Não prejudica a cura do concreto, pois não absorve água com facilidade;
- Utilizando o bloco de EPS tem-se mais conforto acústico;
- Em caso de incêndio, é um material seguro, pois não propaga chamas;
- Não apodrece e não mofa;
- Pode ser feito estoque desse material naturalmente ao tempo.

2.12 Uso de capiteis e vigas-faixa em lajes nervuradas

Nas regiões de apoio concentram-se esforços transversais, podendo ocorrer ruína por punção ou cisalhamento. Esses tipos de ruína devem ser evitados, caso ocorra alguma que seja por flexão.

Dependendo do arranjo estrutural do projeto, pode ocorrer esforços solicitantes elevados e acabar sendo necessária uma estrutura mais firme nessa região. Isso acontecendo pode-se adotar:

- Regiões em laje maciça em volta dos pilares;
- Faixas maciças formando as vigas-faixa nas laterais das vigas de apoio das nervuras.

2.13 Prescrições normativas para lajes nervuradas

A NBR 6118/2014, item 13.2.4.1, prescreve uma série de recomendações destinadas a projeto e execução de lajes nervuradas.

Quanto à mesa:

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

Quanto à largura das nervuras:

A espessura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm; nervuras com espessura inferior a 8 cm não devem conter armadura de compressão.

Quanto ao espaçamento entre as nervuras:

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 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 até 90cm e a largura média das nervuras for maior que 12cm;

Para lajes com espaçamento entre eixo de nervura maior que 110cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os limites mínimos de espessura.

Quando as hipóteses citadas anteriormente não forem atendidas, deve-se analisar a laje nervurada considerando a capa como laje maciça apoiada em grelha de vigas.

As lajes nervuradas armadas em uma direção, unidirecionais, devem ser calculadas segundo a direção das nervuras desprezadas a rigidez transversal e a rigidez da torção, enquanto que as lajes nervuradas bidirecionais, segundo NRB 618/2014, podem ser calculadas, para efeito de esforços solicitantes, como lajes maciças.

Todos os elementos lineares submetidos à força cortante devem conter armadura transversal mínima constituída por estribos, com exceção:

- As nervuras das lajes, quando espaçadas de menos de 60cm, também podem ser verificadas como lajes. Nesse caso deve ser tomada como base a soma das larguras das nervuras no trecho considerado, podendo ser dispensado a armadura transversal, quando atendido o disposto na NBR 6118/2014 em seu item 19.4.1;
- A armadura de distribuição das lajes nervuradas por metro de largura da laje deve ter seção transversal de área igual ou superior a $1/5$ da área da armadura principal, com um mínimo de $0,9 \text{ cm}^2$, e se composta de pelo menos três barras;
- Os estribos nas lajes nervuradas, sempre que necessário, não devem ter espaçamento maior que 20 cm.

2.14 Normas técnicas para dimensionamento de lajes

Para se fazer o dimensionamento das lajes, é necessário utilizar as seguintes normas técnicas:

NBR – 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto;

NBR – 6120:1980 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações;

NBR – 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas;

NBR – 14931:2003 – Execução de estruturas de concreto;

NBR – 7480:2008 – Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado.

2.15 Sequência de projeto para lajes nervuradas

De maneira geral, um projeto de laje nervurada segue a seqüência abaixo:

1. Determinação do tipo de vinculação de cada laje;
2. Pré-dimensionamento da seção transversal;
3. Determinar as ações (carregamentos) atuantes;

4. Efetuar o cálculo dos esforços solicitantes;
5. Calcular os deslocamentos e as reações de apoio;
6. Calcular e detalhar as armaduras necessárias;
7. Verificações de deformações.

3. METODOLOGIA

Esse trabalho teve como finalidade fazer um estudo técnico comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local com diferentes tipos de materiais de enchimento.

Para o desenvolvimento desse trabalho, foram realizadas pesquisas em livros relacionados a concreto armado, consultas a engenheiros estruturais, dissertações, normas técnicas e site especializados, além de consultas a empresas fornecedoras de insumos para laje de concreto armado .

Primeiramente, foi escolhido o modelo estrutural; para isso, foi definida a edificação usada como modelo de pesquisa. Foi usado o pavimento tipo de um colégio destinado a salas de aulas. Vale salientar que essa edificação foi criada exclusivamente como exemplo prático presente na pesquisa, não sendo uma edificação real existente na cidade de Caruaru.

Para comparação dos custos dos modelos estruturais estudados na pesquisa, foi analisado somente o valor de cada insumo utilizado em cada modelo estrutural de laje, ou seja, foi estudado quantidade e preço de concreto, aço e materiais de enchimento . O custo total levando em consideração mão de obra e processo executivo, mobilização de pessoas e equipamentos não foi considerado no trabalho, pois a análise do custo global é de grande complexidade .

3.1 Desenvolvimento da pesquisa

Nessa pesquisa, foi dimensionada a laje do pavimento tipo de uma escola, com 353,5m² de área (vide plantas em anexo). Nesse dimensionamento, não foram utilizados programas computacionais, ele foi desenvolvido de acordo com a NBR 6118/2014, com uso de tabelas e cálculos feitos com auxílio de planilhas do Excel. Todas as planilhas de cálculo encontram-se no anexo A.

No pré-dimensionamento, foram definidas as dimensões geométricas das lajes e o material de enchimento. Em seguida, foi lançado o carregamento em cada modelo estrutural).

A espessura adotada para a laje do pavimento foi de 20 cm, sendo 4 cm de capeamento e 16 cm a altura do enchimento, como visto na figura 14.

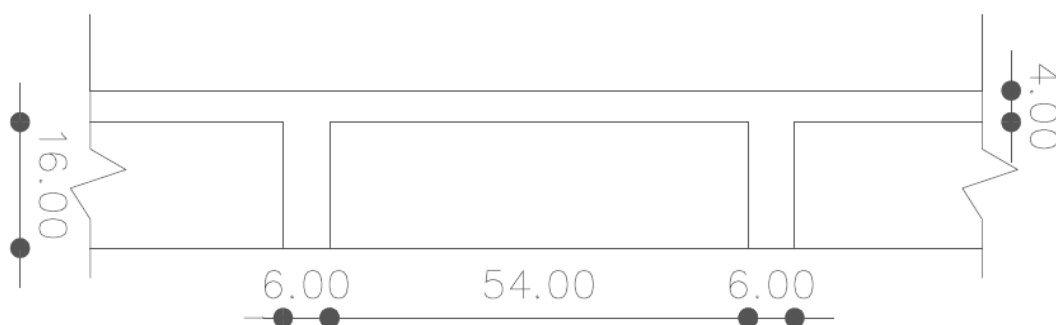


Figura 14 - Corte da laje nervurada (do Autor, 2015)

Sobre a laje, foram aplicadas as cargas permanentes e variáveis. Esta laje foi analisada como bidirecional e seus elementos de enchimentos são:

- Bloco de EPS, com dimensões de 16x54x54 cm;
- Fôrma plástica, com dimensões de 16x60x60 cm (levando em consideração as bordas laterais da cubeta);
- Bloco cerâmico, com dimensões de 16x 54x54 cm. Serão utilizados para formar o bloco de enchimento 18 tijolos furados de dimensões 16x9x18 cm.

De acordo com a NBR 6118/14 item 13.2.4.2, lajes nervuradas com espaçamento entre eixo de nervuras até 65 cm podem ser calculadas no modelo simplificado como lajes maciças.

Para identificação dos modelos de enchimento, foi adotada a nomenclatura seguinte:

LN 1: Lajes com blocos cerâmicos.

LN 2: Lajes com blocos de EPS.

LN 3: Lajes com fôrma de polipropileno.

Na sequência, foram calculados as reações de apoio e os momentos fletores de cada laje. Com esses valores definidos, e com os coeficientes de segurança específicos aplicados, em seguida foi encontrada a área de aço por nervura.

Os esforços seccionais em termos de momentos fletores e esforços cortantes foram calculados com o uso das tabelas de PINHEIRO (1994) conforme a NBR 6118/2014.

Após o cálculo da armadura, foram feitas as verificações das flechas com as devidas combinações de carregamento, conforme indicadas pela norma NBR 6118/2014 (item 11.8.3.2 e tabela 11.4 – combinações de serviço).

Considerações de projeto:

- Concreto C30 ($f_{ck} = 30 \text{ MPa}$), aços CA50 ($E_s = 210 \text{ GPa}$).
- Cobrimento nominal das armaduras: $C=25 \text{ mm}$;
- Classe de agressividade ambiental: II (conforme NBR 6118/14 tabela 7.2).

Cargas atuantes:

- Cargas permanentes modelo LN1: 445 Kg/m^2
- Cargas permanentes modelo LN2: 280 Kg/m^2
- Cargas permanentes modelo LN3: 277 Kg/m^2
- Carga acidental 300 Kg/m^2 (salas de aula, de acordo com a NBR 6120);
- Peso específico de cada tipo de material de enchimento:
Blocos de EPS ($\gamma = 2,49 \text{ kg/m}^3$);
Blocos cerâmicos ($\gamma = 117,04 \text{ kg/m}^3$);
Fôrma plástica de polipropileno ($\gamma = 0,00 \text{ kg/m}^3$, molde recuperável)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o dimensionamento da estrutura com os três modelos de laje nervurada, serão apresentados os resultados da análise estrutural e os custos de cada modelo.

Na comparação entre os custos, foram levados em conta os valores dos insumos de cada modelo estrutural

. Conforme anteriormente citado, o custo global de cada tipo de laje nervurada, envolvendo mobilização, mão de obra e equipamentos, não foi avaliado neste trabalho pelo fato de envolver um estudo muito complexo que carece de maiores conhecimentos na área de tecnologia da construção e varia muito de obra para obra.

4.1 Análise estrutural e de consumo de concreto e aço

A tabela 4.1 mostra os valores de espessura, peso próprio e flecha total para a laje L3 (plantas no anexo B), a mais solicitada do pavimento tipo.

Tabela 1 - Espessura da laje, peso próprio e flecha total

SISTEMA CONSTRUTIVO	ESPESSURA DA LAJE (cm)	PESO TOTAL EM (KN/m ²)	FLECHA TOTAL EM (mm)
LN 1	20	7,45	15,80
LN2	20	5,80	12,39
LN3	20	5,77	12,33

A figura 15 mostra um gráfico com os valores dos pesos totais de todas as lajes do pavimento tipo para os diferentes modelos de materiais de enchimento em KN/m².

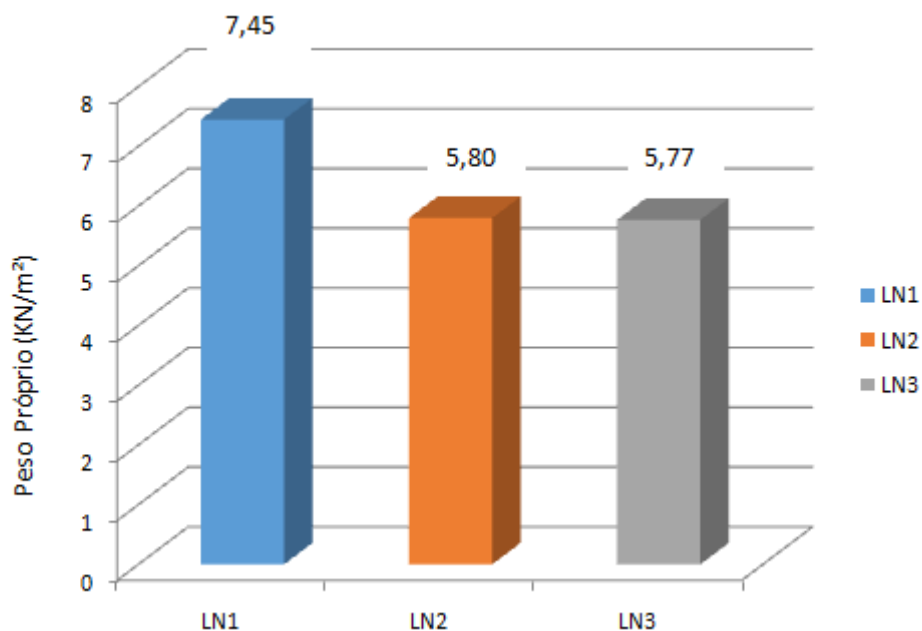


Figura 15 - Peso próprio da laje do pavimento tipo para os diferentes modelos

Entre os tipos de lajes nervuradas, aquelas que apresentaram os menores valores de pesos próprios foram as que utilizam materiais de enchimento de menor peso específico. Neste caso, o modelo com menor peso próprio foi o que utiliza as formas de polipropileno reaproveitáveis seguido do modelo de blocos de EPS com valores de peso próprio quase idêntico. A laje nervurada com o uso de blocos cerâmicos como material de enchimento apresentou o maior peso próprio.

Do ponto de vista estrutural, o peso da laje é muito importante, visto que quanto mais leve é a estrutura, menores esforços são transmitidos para os elementos de apoio, e consequentemente, mais econômico fica o sistema construtivo, pois há uma redução no uso de materiais como concreto, aço e escoramento na execução.

Na figura 16, estão apresentados no gráfico os valores das devidas flechas da laje L3, para os modelos de laje LN1, LN2 e LN3. E percebe-se que lajes nervuradas com uso de materiais de enchimento com menor peso específico possuem flechas menores. O melhor resultado, em termos de

menor flecha, foi obtido com o uso de formas reutilizáveis de polipropileno, seguida do uso de blocos de EPS e por ultimo blocos cerâmicos.

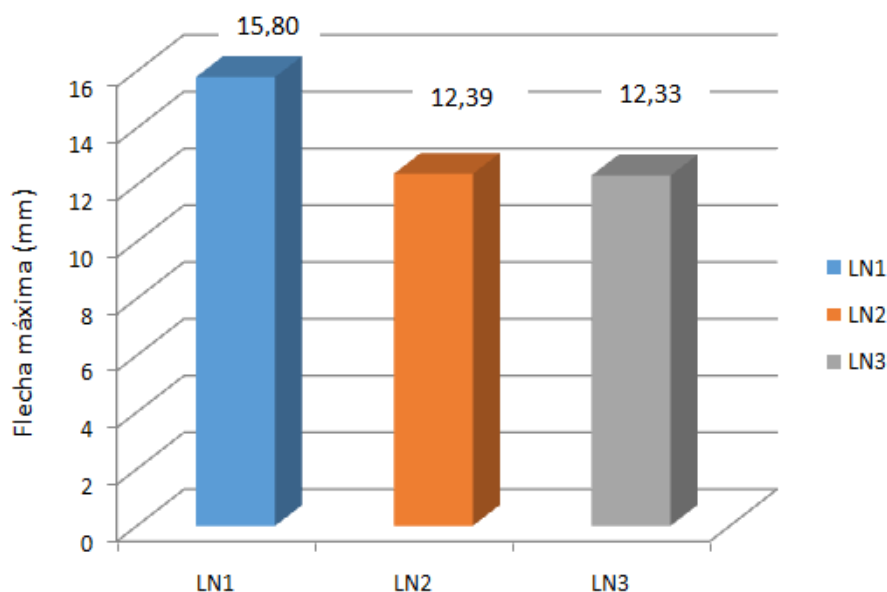


Figura 16 - Flecha máxima da laje mais solicitada L3 nos três sistemas construtivos

Na tabela 4.2 constam os valores máximos dos esforços seccionais: momento fletor negativo, momento fletor positivo e força cortante. Nesta tabela também são apresentados o consumo de concreto e a taxa de aço de todos os modelos de materiais de enchimento estudado (LN1, LN2, LN3). O consumo de concreto e taxa de aço se refere apenas à estrutura da laje, não levando em consideração os pilares e as vigas.

Tabela 2 - Momentos máximos, cortantes máximos, consumo de concreto e taxa de aço.

MODELO DE ENCHIMENTO	MOMENTO MAXIMO NEGATIVO (KN.m/m)	MOMENTO MAXIMO POSITIVO (KN.m/m)	FORÇA CORTANTE MAXIMA (KN/m)	CONSUMO DE CONCRETO (M³/m²)	TAXA DE AÇO (Kg/m²)
LN1	11,40	5,22	9,40	0,103	4,38
LN2	8,87	4,06	7,32	0,103	3,24
LN3	8,83	4,04	7,28	0,11	3,22

Os valores apresentados na tabela 2 estão ilustrados nos gráficos das figuras 17,18, 19, 20 e 21. Nelas, percebe-se a influência direta do material de enchimento da laje nervurada, nos resultados dos esforços e dos consumos de aço e concreto.

Na figura 17 estão contidos os valores dos momentos máximos negativos para os diferentes modelos de enchimento (LN1, LN2 e LN3) referente à laje L3, a mais solicitada do pavimento tipo. Os valores de momentos negativos são utilizados para o cálculo das armaduras negativas nas regiões de engaste das lajes. Entre os modelos de materiais de enchimento estudados, a laje L3 com fôrma plástica apresentou o menor momento negativo (8,83 KN.m/m), enquanto que a laje L3 com bloco cerâmico apresentou o maior momento negativo (11,40 KN.m/m).

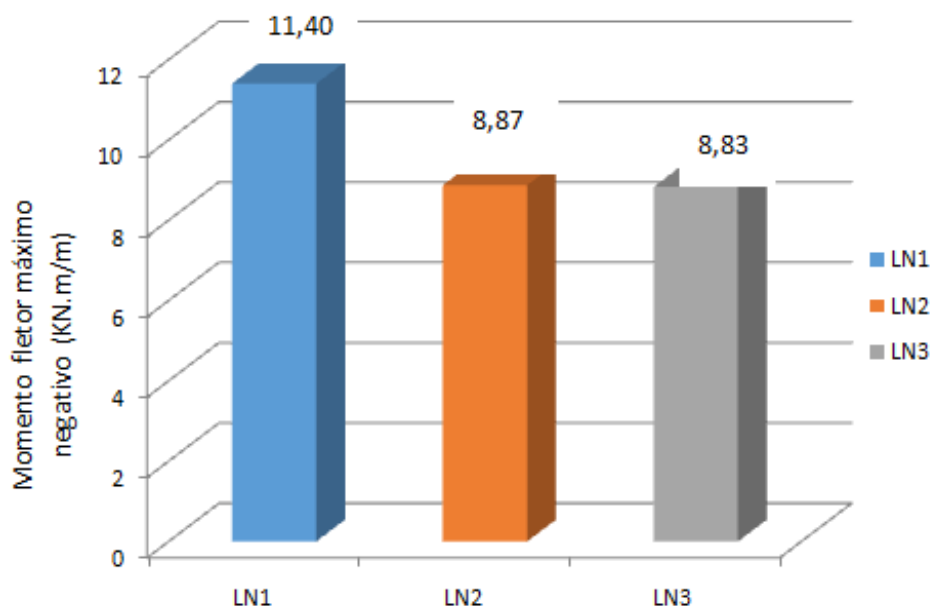


Figura 17 - Momento fletor máximo negativo para a laje mais solicitada do pavimento

Na figura 18 está apresentado o comportamento dos valores de momentos positivos da laje L3 para os três modelos de lajes nervuradas. Os momentos fletores positivos são usados nos cálculos do dimensionamento

das armaduras de flexão positiva. Os menores momentos obtidos foram do modelo de laje com enchimento de fôrmas de polipropileno reutilizáveis, cujo valor foi de 4,04 KN.m/m. Para a laje nervurada L3 de blocos de EPS, o valor obtido foi 4,06KN.m/m. Enquanto que os maiores momentos foram apresentados para a laje nervurada L3 de blocos cerâmicos (material de maior peso específico) com 5,22 KN.m/m.

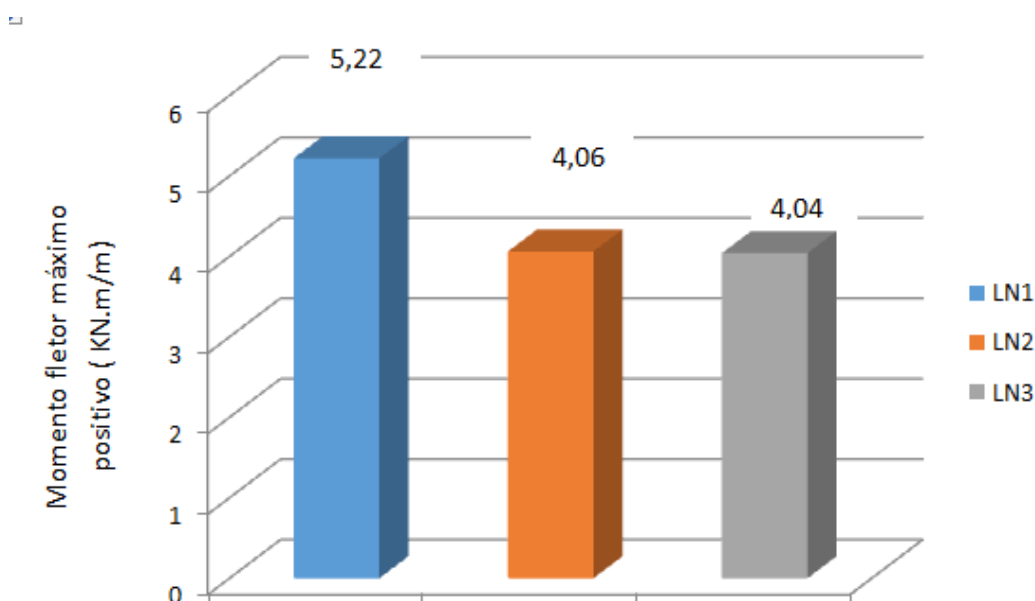


Figura 18 - Momento fletor máximo positivo na laje L3 mais solicitada do pavimento tipo

A figura 19 mostra o gráfico com os valores dos cortantes máximos para a laje L3, a mais solicitada do pavimento, considerando os três modelos (LN1, LN2 e LN3). A laje nervurada de concreto armado com o uso de fôrmas de polipropileno (LN3) apresenta o melhor desempenho em termos do menor esforço cortante (7,28KN/m) quando se faz a comparação com os outros modelos (LN1 e LN2). O modelo usando lajes com blocos cerâmicos apresentou o maior valor de cortante 9,40 KN/m.

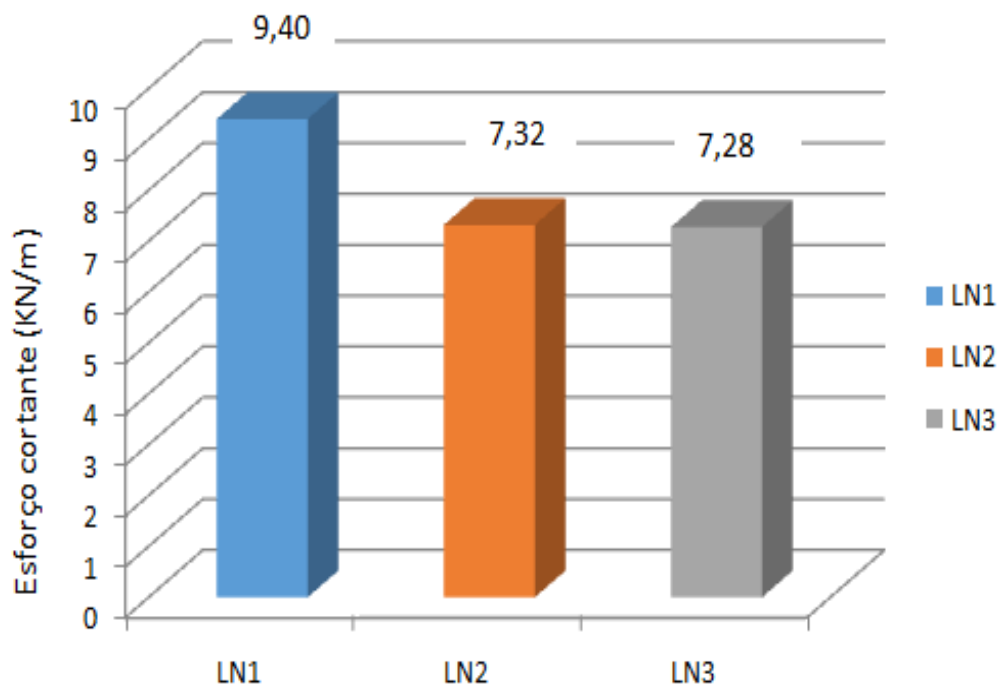


Figura 19 - Cortantes na laje L3 mais solicitada do pavimento tipo

A figura 20 mostra o gráfico com os valores o consumo de aço por m^2 da laje L3 para cada modelo de laje nervurada (LN1, LN2 e LN3). Percebe-se que a fôrma reutilizável foi mais eficiente em termos de menor consumo de aço, cujo valor foi de 3,22 Kg/m^2 . Em seguida a laje com bloco de EPS com o consumo de 3,24 Kg/m^2 . O modelo com bloco cerâmico apresentou o maior consumo (4,38 Kg/m^2), isso se explica pelo maior peso específico do material.

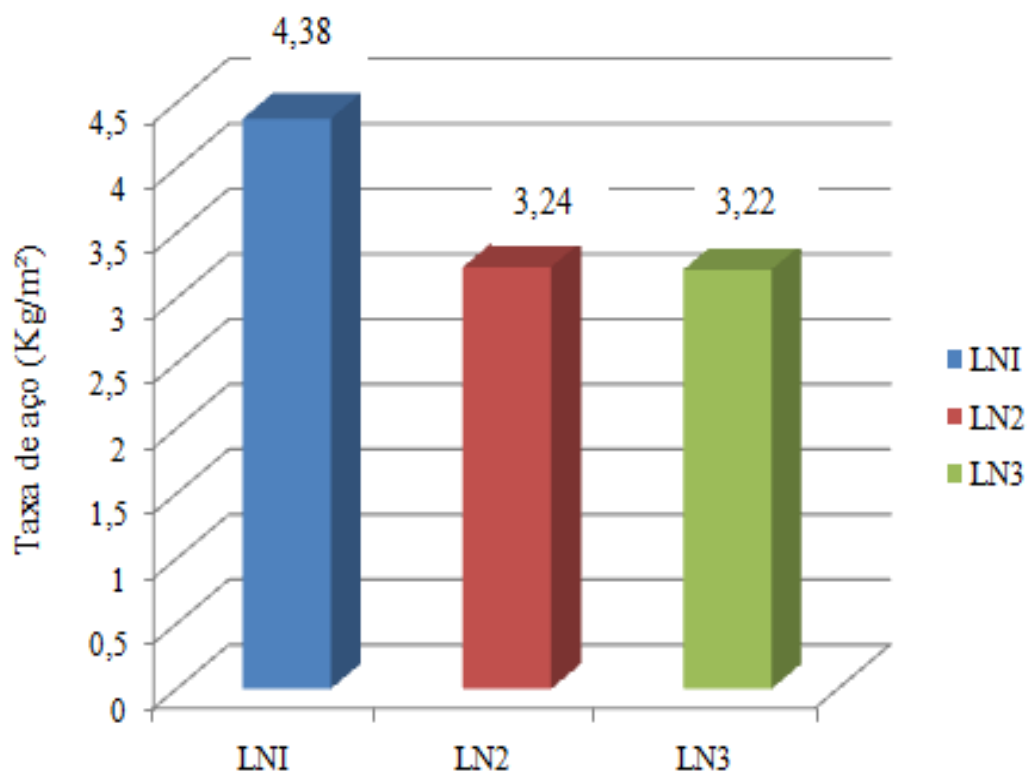


Figura 20 - Consumo de aço para cada modelo de laje L3

A figura 21 mostra através do gráfico o consumo de concreto para cada modelo de laje (LN1, LN2 e LN3). Esse consumo é somente referente ao concreto da estrutura da laje L3, assim, não está incluso o concreto das vigas e dos pilares da edificação.

O modelo usando lajes com fôrmas de polipropileno mostrou um maior consumo de concreto, isso se explica pela forma geométrica das cubetas, pois as nervuras começam com 6 cm e terminam com 10 cm. Os modelos de lajes com enchimento de blocos cerâmicos e com blocos de EPS mostraram o mesmo consumo de concreto para a laje, devido ao fato de possuírem a mesma forma geométrica (mesmas dimensões).

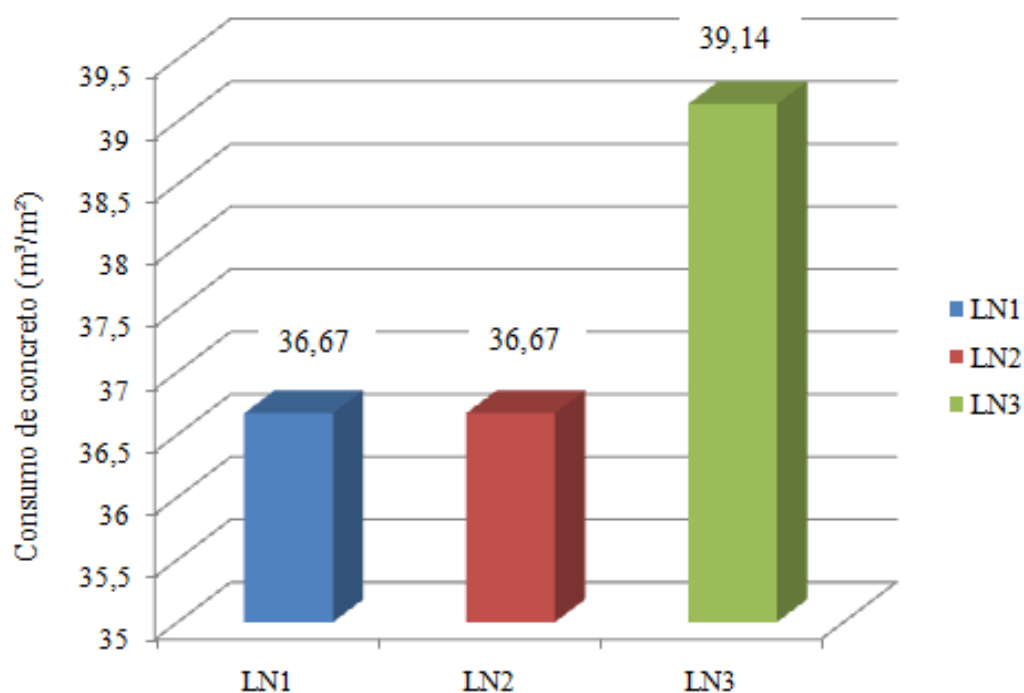


Figura 21 - Consumo de concreto de cada modelo de laje L3

4.2 Análise de custo

Os custos dos materiais foram pesquisados na região do agreste de Pernambuco junto as empresas fornecedoras. Para o valor final de cada insumo (aço, materiais de enchimento, concreto) foi feito uma média entre os preços pesquisados (maio de 2015). A fôrma de polipropileno reutilizável foi considerada para ser usada 5 vezes, o preço do concreto está baseado nas três empresas concreteiras instaladas na cidade de Caruaru PE.

A tabela 3 mostra o valor do material de enchimento, dos blocos de EPS, da fôrma de polipropileno, dos blocos cerâmicos, do concreto (FCK 30 Mpa) e do aço CA 50.

Tabela 3 - Custo dos materiais

MATERIAL DE ENCHIMENTO	R\$
BLOCOS CERAMICOS (UNIDADE)	0,70
FORMA PLASTICA (UNIDADE)	8,00
BLOCOS DE EPS (M³)	9,00
AÇO CA 50 (kg)	3,10
CONCRETO Fck 30 Mpa (M³)	280,00

O quantitativo de materiais usado na laje L3 do pavimento tipo para cada modelo de enchimento está mostrado na tabela 4.

Tabela 4 - Quantitativo total de materiais

SISTEMA CONSTRUTIVO	Nº ELEMENTOS DE ENCHIMENTO	CONCRETO (m³)	AÇO (kg)
LN1	13140	36,67	1549,41
LN2	730	36,67	1147,69
LN3	730	39,14	1139,44

O custo total da laje para cada modelo construtivo está mostrado na tabela 5. Os valores do custo de cada modelo de enchimento de laje estão ilustrados através do gráfico (Figura 22).

Tabela 5 - Custo total da laje para cada sistema construtivo

MODELO DE ENCHIMENTO	ENCHIMENTO (R\$)	AÇO (R\$)	CONCRETO (R\$)	TOTAL (R\$)
BLOCOS CERAMICOS	9198	4803,17	10267,6	24268,77
BLOCOS DE EPS	6570	3557,9	10267,6	20395,5
FORMAS DE POLIPROPILENO	5840	3532,26	10959,2	20331,46

A figura 22 mostra o valor do custo total da cada modelo de laje, essa composição de custo é referente aos materiais usados na estrutura da laje. Vale lembrar que a mão de obra e outras despesas não foram incluídas nesse estudo.

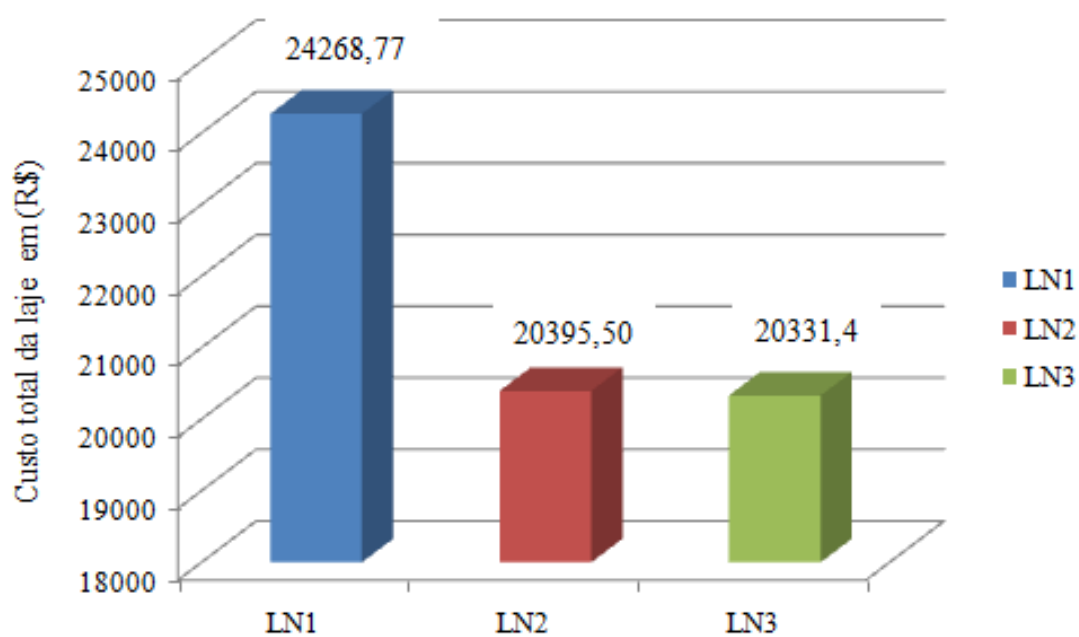


Figura 22 - Custo total de cada modelo de laje nervurada

5. Conclusões

A seguir, serão discutidas a análise estrutural, o consumo de concreto, o consumo de aço, o custo total de cada modelo de laje nervurada usado na pesquisa;

Análise estrutural: Dos três modelos construtivos de laje nervurada, levando em consideração os momentos fletores, esforços cortantes e flechas máximas, o modelo com melhor desempenho é o de fôrmas reutilizáveis de polipropileno (LN3). O uso de EPS como material de enchimento apresentou resultados muito próximos dos resultados com uso de formas plásticas. Uma grande vantagem na forma de polipropileno é a reutilização que em condições normais de conservação pode chegar até 100 usos, o que deixa a construção bastante econômica em obras verticais com muitos pavimentos. O modelo usando blocos cerâmicos obteve o pior desempenho, isso por ser um material de maior peso específico, assim a laje fica com maior peso próprio.

Consumo de concreto: O modelo de laje nervurada usando formas de polipropileno reutilizáveis apresentou um consumo de concreto 6,31% a mais em comparação com os outros modelos estudados no trabalho, isso porque as nervuras nesse modelo variam entre 6 cm e 10 cm. Os modelos de enchimento de blocos de EPS e blocos cerâmicos possuem o mesmo consumo de concreto.

Consumo de aço: O modelo LN3 (com fôrmas reutilizáveis) apresentou o melhor desempenho, por serem retiradas as cubetas da estrutura da laje após a cura do concreto. Seu peso próprio é desprezado nos cálculos para dimensionamento, assim deixa a estrutura da laje mais leve, com isso há uma redução na área de aço do modelo com uso de formas reutilizáveis.

Custo total: O modelo de laje nervurada usando as fôrmas de polipropileno como material de enchimento obteve o melhor resultado, seguido pelo modelo que usa blocos de EPS. Uma diferença muito pequena (0,32% a mais), mas em construções de muitos pavimentos pode aumentar consideravelmente o custo final da obra. O sistema construtivo que usa blocos cerâmicos como material de enchimento apresentou o maior custo

total 19,37% a mais, quando comparado com o modelo de cubetas de polipropileno.

Sendo assim, o modelo de enchimento que obteve o melhor desempenho em todos os itens analisados foi o enchimento de formas reutilizáveis de polipropileno, que apresentou o menor custo total da laje, bem como os menores índices de esforços e deformações.

Conclui-se que, ao projetar-se uma estrutura de laje nervurada, é importante que o engenheiro conheça bem os vários modelos construtivos existentes no mercado e se faça um estudo, para verificar o melhor modelo de laje nervurada a ser utilizada. Isso a fim de que se possa fazer a escolha certa de acordo com as características do projeto, e assim tomar decisões técnicas e economicamente viáveis.

Como sugestões para trabalhos futuros, estão:

- Analisar o custo total dos três modelos pesquisados levando em consideração mão-de-obra e mobilização de pessoas e equipamentos;
- Comparar a laje nervurada moldada in loco com a laje treliçada pré-fabricada. As duas usando o mesmo material de enchimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: Barras e fio de aço destinados a armaduras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: Execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada.** São Carlos. 177p. Dissertação(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

VITALLI, Lizandro. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas com diferentes materiais de enchimento.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). 2010. UNESC. Criciúma/sc, 2010.

BOCCHI JÚNIOR, C.F. **Lajes nervuradas de concreto armado.** São Carlos. 183p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1995.

BOCCHI JR., C. F.; GIONGO, J. S. **Concreto armado: projeto e construção de lajes**

nervuradas. Universidade de São Carlos, São Carlos, 2010.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira .**Projeto e construção de laje nervurada de concreto armado.**Trabalho de conclusão de curso (Mestrado)- Universidade Federal de São Carlos, 2005.

PINHEIRO, Libânio . 2003.

WWW.atex.com.br/

ANEXO A

Planilhas de cálculo das lajes nervuradas do pavimento tipo com os três tipos de materiais de enchimento.

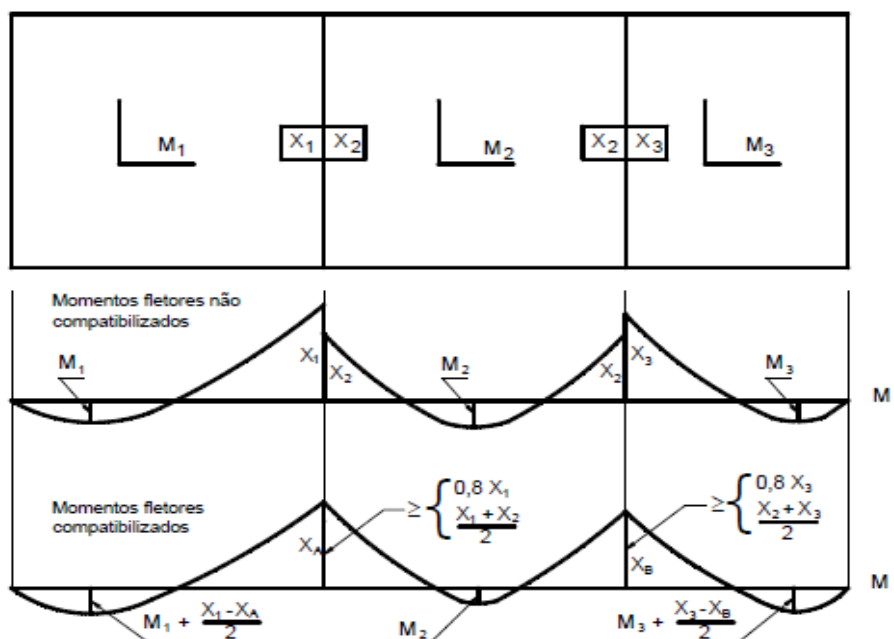
DIMENSÕES GEOMETRICAS DE CADA LAJE					PESO TOTAL DE CADA LAJE EM KN/m ²						
LAJE	Lx (m)	Ly (m)	λ	H (cm)	LAJE	pp	revest.	revest. Teto	permanente	variável	total (kn/m ²)
L2=L10	4,90	7,55	1,54	20,00	L2=L10	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450
L3=L11	4,90	7,65	1,56	20,00	L3=L11	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450
L4=L7	4,90	7,65	1,56	20,00	L4=L7	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450
L5=L8	4,90	7,65	1,56	20,00	L5=L8	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450
L6	2,00	7,50	3,75	20,00	L6	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450
L9	3,30	3,50	1,06	20,00	L9	3,440	0,630	0,380	4,450	3,000	7,450

Esforços de momentos fletores e cortantes calculados com uso das tabelas de pinheiro, 2003.

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/M ²)	vx	v'x	vy	v'y	Vx(kn/m)	V'x	Vy	V'y
L1	3,000	2,000	λ	7,450	4,380	6,250	2,170	3,170	3,916	5,59	1,940	2,834
L2=L10	5B	4,900	1,541	7,450		3,730	1,710	2,500	0,000	8,17	3,745	5,476
L3=L11	3,000	4,900	1,561	7,450	2,930	4,290	2,170	3,170	6,418	9,40	4,753	6,943
L4=L7	6,000	4,900	1,561	7,450		3,390		2,500	0,000	7,43	0,000	5,476
L5=L8	5A	4,900	1,561	7,450	2,560	3,750		3,170	5,607	8,21	0,000	6,943
L6	5A	2,000	3,750	7,450	4,380	6,250		3,170	3,916	5,59	0,000	2,834
L9	5A	3,300	1,061	7,450	1,790	2,630		3,120	2,640	3,88	0,000	4,602

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/M ²)	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	Mx(KN.m)	M'x(KN.m)	My(KN.m)	M'y(KN.m)
L1	3,000	2,000	λ	7,450	7,030	12,500	1,600	8,200	1,26	2,24	0,29	1,47
L2=L10	5B	4,900	1,541	7,450	3,800	8,070	1,290	5,690	4,08	8,66	1,38	6,11
L3=L11	3,000	4,900	1,561	7,450	4,860	10,620	2,160	8,090	5,22	11,40	2,32	8,68
L4=L7	6,000	4,900	1,561	7,450	3,610	7,680	1,430	5,720	3,87	8,24	1,53	6,14
L5=L8	5A	4,900	1,561	7,450	4,390	9,680	2,390	7,980	4,71	10,39	2,57	8,56
L6	5A	2,000	3,750	7,450	7,030	12,500	1,800	8,120	1,26	2,24	0,32	1,45
L9	5A	3,200	1,061	7,450	2,270	5,980	2,560	6,460	1,04	2,74	1,17	2,96

Compatibilização dos momentos;



LAJE	M _{kx} (KN.m)	M _{Ky} (KN.m)	LAJE	M' _{Kx} (KN.m)	LAJE	M' _{Ky} (KN.m)
L1	1,235	0,286	L1-L2	6,928	L2-L4=L7-L10	6,12
L2=L10	4,944	1,384	L1-L4=L6-L7	6,59	L4-L7	6,139
L3=L11	5,900	2,347	L9-L10	6,928	L3-L5=L8-L11	8,624
L4=L7	4,700	1,540	L2-L3=L10-L11	10,029	L5-L8	8,565
L5=L8	5,248	2,565	L4-L5=L7-L8	9,316		
L6	1,257	0,322				
L9	1,039	1,172				

Calculo da área de aço por nervura na direção X;

LAJE	a (cm)	b2 (m)	h (m)	c (m)	d (m)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L2=L10	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L9	240,000	54,000	20,000	2,500	17,500	24,000	27,000	24,000	6,000	54,000

Mdx (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asx/nervura(cm²)	Asmin.(cm²)	As, proj. (cm²)
172,900	0,189	0,151	4,000	ok	0,228	0,36	0,36
692,160	0,457	0,366	4,000	ok	0,919	0,50	0,92
826,000	0,547	0,437	4,000	ok	1,099	0,50	1,10
658,000	0,434	0,348	4,000	ok	0,873	0,50	0,87
734,720	0,486	0,388	4,000	ok	0,976	0,50	0,98
175,980	0,193	0,154	4,000	ok	0,232	0,36	0,36
145,460	0,106	0,085	4,000	ok	0,192	0,47	0,47

LAJE	h (m)	c (m)	d (m)	bw (cm)	M'dx(kn.cm)	X	X/d	A'sx (cm²)	As min(cm²)	A'sx projeto(cm²)
L1-L2	20,000	2,500	17,500	6,000	969,920	7,69	0,440	1,55	0,18	1,55
L1-L4=L6-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	922,600	7,22	0,413	1,45	0,18	1,45
L9-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	969,920	7,69	0,440	1,55	0,18	1,55
L2-L3=L10-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	1404,060	13,10	0,748	2,63	0,18	2,63
L4-L5=L7-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	1304,240	11,60	0,663	2,33	0,18	2,33

Calculo da área de aço na direção Y;

LAJE	ay (cm)	b2y (m)	h (m)	c (m)	d (m)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	490,750	54,000	20,000	2,500	17,500	49,075	27,000	27,000	6,000	60,000
L2=L10	490,750	54,000	20,000	2,500	17,500	49,075	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	459,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,900	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	450,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,000	27,000	27,000	6,000	60,000
L9	210,000	54,000	20,000	2,500	17,500	21,000	27,000	21,000	6,000	48,000

Mdy (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asy/nervura(cm²)	Asmin.(cm²)	As, proj. (cm²)
40,040	0,026	0,021	4,000	ok	0,053	0,50	0,50
193,760	0,127	0,102	4,000	ok	0,255	0,50	0,50
328,580	0,216	0,173	4,000	ok	0,434	0,50	0,50
215,600	0,141	0,113	4,000	ok	0,284	0,50	0,50
359,100	0,236	0,189	4,000	ok	0,475	0,50	0,50
45,080	0,029	0,024	4,000	ok	0,059	0,50	0,50
164,080	0,134	0,108	4,000	ok	0,216	0,43	0,43

LAJE	h (m)	c (m)	d (m)	bw (cm)	M'dy(kn.cm)	X	X/d	A'sy (cm²)	As min(cm²)	A'sy projeto(cm²)
L2-L4=L7-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	856,8	6,59	0,37679	1,33	0,18	1,33
L4-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	859,46	6,62	0,37821	1,33	0,18	1,33
L3-L5=L8-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	1207,36	10,33	0,59032	2,08	0,18	2,08
L5-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	1199,1	10,23	0,5845	2,06	0,18	2,06

- Momento de inércia à flexão:

$$I_g = \frac{(b_f - b_w) \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot h^3}{12} + (b_f - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{cg} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + b_w \cdot h \cdot \left(y_{cg} - \frac{h}{2}\right)^2$$

LAJE	H (cm)	bf	bw	hf	A cm ²	Ycg (cm)	I (cm)
L1	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8064,000
L2=L10	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9289,143
L3=L11	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9289,143
L4=L7	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9289,143
L5=L8	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9289,143
L6	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8064,000
L9	20,000	54,000	6,000	4,000	312,000	5,077	9046,154

Cálculo da flecha deferida;

LAJE	TIPO	Lx (cm)	λ	P (KN/cm ²)	Ma	α	fct (KN/cm ²)	H/2 (cm)
L1	3	200,000	λ	0,000745	125,696	6,5	0,28964682	10
L2=L10	5B	490,000	1,541	0,000745	407,834	2,78	0,28964682	10
L3=L11	3	490,000	1,561	0,000745	521,598	4,61	0,28964682	10
L4=L7	6	490,000	1,561	0,000745	387,442	2,62	0,28964682	10
L5=L8	5A	490,000	1,561	0,000745	471,155	4,14	0,28964682	10
L6	5A	200,000	3,750	0,000745	125,696	6,5	0,28964682	10
L9	5A	320,000	1,061	0,000745	103,904	2,08	0,28964682	10

MR	Ecs x I (KN/cm ²)	ai (mm)	a total (mm)
280,28543	21024133,19	0,0307	0,7125
322,868478	24218275,87	0,4108	9,5312
322,868478	24218275,87	0,6813	15,8054
322,868478	24218275,87	0,3872	8,9827
322,868478	24218275,87	0,6118	14,1940
280,28543	21024133,19	0,0307	0,7125
314,422758	23584764,8	0,0574	1,3320

Planilhas de cálculo para o modelo de laje nervurada com uso de blocos de EPS como material de enchimento (modelo 2 da pesquisa).

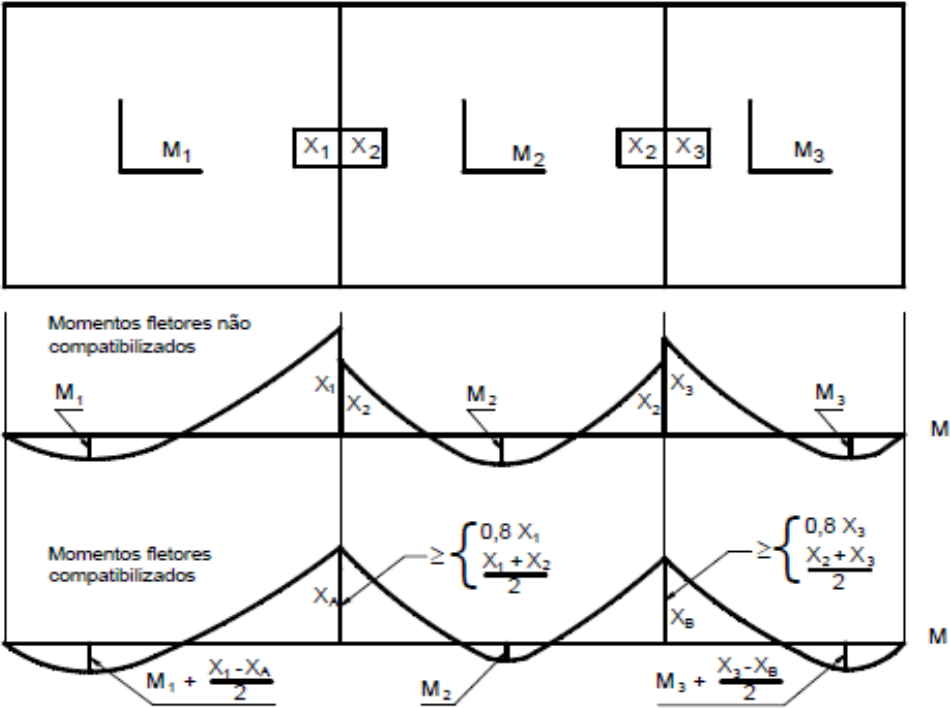
DIMENSOES GEOMETRICAS DE CADA LAJE					PESO TOTAL DE CADA LAJE EM KN/m ²						
LAJE	Lx (m)	Ly (m)	λ	H (cm)	LAJE	pp	revest. Piso	revest. Teto	permanente	variável	total (kn/m ²)
L1	2,00	14,92	7,46	20,00	L1	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L2=L10	4,90	7,55	1,54	20,00	L2=L10	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L3=L11	4,90	7,65	1,56	20,00	L3=L11	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L4=L7	4,90	7,65	1,56	20,00	L4=L7	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L5=L8	4,90	7,65	1,56	20,00	L5=L8	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L6	2,00	7,50	3,75	20,00	L6	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800
L9	3,30	3,50	1,06	20,00	L9	1,790	0,630	0,380	2,800	3,000	5,800

Esforços de momentos fletores e cortantes calculados com uso das tabelas de pinheiro, 2003.

LAJE	TIPO	Lx (m)	λ	P (Kn/m ²)	vx	v'x	vy	v'y	Vx(kn/m)	V'x	Vy	V'y
L1	3,000	2,000	7,460	5,800	4,380	6,250	2,170	3,170	3,048	4,35	1,510	2,206
L2=L10	5B	4,900	1,541	5,800		3,730	1,710	2,500	0,000	6,36	2,916	4,263
L3=L11	3,000	4,900	1,561	5,800	2,930	4,290	2,170	3,170	4,996	7,32	3,700	5,405
L4=L7	6,000	4,900	1,561	5,800		3,390		2,500	0,000	5,78	0,000	4,263
L5=L8	5A	4,900	1,561	5,800	2,560	3,750		3,170	4,365	6,39	0,000	5,405
L6	5A	2,000	3,750	5,800	4,380	6,250		3,170	3,048	4,35	0,000	2,206
L9	5A	3,300	1,061	5,800	1,790	2,630		3,120	2,056	3,02	0,000	3,583

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/M ²)	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	Mx(KN.m)	M'x(KN.m)	My(KN.m)	M'y(KN.m)
L1	3,000	2,000	7,460	5,800	7,030	12,500	1,600	8,200	0,98	1,74	0,22	1,14
L2=L10	5B	4,900	1,541	5,800	3,800	8,070	1,290	5,690	3,18	6,74	1,08	4,75
L3=L11	3,000	4,900	1,561	5,800	4,860	10,620	2,160	8,090	4,06	8,87	1,80	6,76
L4=L7	6,000	4,900	1,561	5,800	3,610	7,680	1,430	5,720	3,02	6,42	1,19	4,78
L5=L8	5A	4,900	1,561	5,800	4,390	9,680	2,390	7,980	3,67	8,09	2,00	6,67
L6	5A	2,000	3,750	5,800	7,030	12,500	1,800	8,120	0,98	1,74	0,25	1,13
L9	5A	3,200	1,061	5,800	2,270	5,980	2,560	6,460	0,81	2,13	0,91	2,30

Compatibilização dos momentos;



LAJE	M _{kx} (KN.m)	M _{Ky} (KN.m)	LAJE	M' _{Kx} (KN.m)	LAJE	M' _{Ky} (KN.m)
L1	0,974	0,231	L1-L2	5,36	L2-L4=L7-L10	4,74
L2=L10	3,317	1,119	L1-L4=L6-L7	5,1	L4-L7	4,755
L3=L11	4,570	1,897	L9-L10	5,36	L3-L5=L8-L11	6,68
L4=L7	3,640	1,246	2-L3=L10-L1	7,77	L5-L8	6,633
L5=L8	4,060	2,073	L4-L5=L7-L8	7,215		
L6	1,016	0,260				
L9	0,840	0,804				

Calculo da área de aço por nervura na direção X;

LAJE	a (cm)	b2 (m)	h (m)	c (m)	d (m)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L2=L10	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L9	240,000	54,000	20,000	2,500	17,500	24,000	27,000	24,000	6,000	54,000

Mdx (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asx/nervura(cm²)	Asmin.(cm²)	As, proj. (cm²)
136,360	0,149	0,119	4,000	ok	0,180	0,36	0,36
464,380	0,306	0,245	4,000	ok	0,615	0,50	0,61
639,800	0,422	0,338	4,000	ok	0,849	0,50	0,85
509,600	0,336	0,269	4,000	ok	0,675	0,50	0,67
568,400	0,375	0,300	4,000	ok	0,753	0,50	0,75
142,240	0,155	0,124	4,000	ok	0,188	0,36	0,36
117,600	0,086	0,068	4,000	ok	0,155	0,47	0,47

LAJE	h (m)	c (m)	d (m)	bw (cm)	M'dx(kn.cm)	X	X/d	A'sx (cm²)	s min(cm)	A'sx projeto(cm²)
L1-L2	20,000	2,500	17,500	6,000	750,400	5,63	0,322	1,13	0,18	1,13
L1-L4=L6-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	714,000	5,31	0,304	1,07	0,18	1,07
L9-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	750,400	5,63	0,322	1,13	0,18	1,13
L2-L3=L10-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	1087,800	8,93	0,511	1,80	0,18	1,80
L4-L5=L7-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	1010,100	8,10	0,463	1,63	0,18	1,63

Calculo da área de aço na direção Y;

LAJE	ay (cm)	b2y (m)	h (m)	c (m)	d (m)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	969,800	54,000	20,000	2,500	17,500	96,980	27,000	27,000	6,000	60,000
L2=L10	490,750	54,000	20,000	2,500	17,500	49,075	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	459,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,900	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	450,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,000	27,000	27,000	6,000	60,000
L9	210,000	54,000	20,000	2,500	17,500	21,000	27,000	21,000	6,000	48,000

Mdy (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asy/nervura(cm²)	Asmin.(cm²)	As, proj. (m²)
32,340	0,021	0,017	4,000	ok	0,043	0,50	0,50
156,660	0,103	0,082	4,000	ok	0,206	0,50	0,50
265,580	0,174	0,139	4,000	ok	0,350	0,50	0,50
174,440	0,114	0,091	4,000	ok	0,230	0,50	0,50
290,220	0,191	0,152	4,000	ok	0,383	0,50	0,50
36,400	0,024	0,019	4,000	ok	0,048	0,50	0,50
112,560	0,092	0,074	4,000	ok	0,148	0,43	0,43

LAJE	h (m)	c (m)	d (m)	bw (cm)	M'dy(kn.cm)	X	X/d	A'sy (cm²)	s min(cm)	A'sy projeto(cm²)
L2-L4=L7-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	663,6	4,88	0,279	0,98	0,18	0,98
L4-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	665,7	4,90	0,28	0,99	0,18	0,99
L3-L5=L8-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	935,2	7,35	0,42	1,48	0,18	1,48
L5-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	928,62	7,28	0,416	1,46	0,18	1,46

- Momento de inércia à flexão:

$$I_g = \frac{(b_f - b_w) \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot h^3}{12} + (b_f - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{cg} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + b_w \cdot h \cdot \left(y_{cg} - \frac{h}{2}\right)^2$$

LAJE	h (cm)	bf (cm)	bw (cm)	hf (cm)	A cm ²	Ycg (cm)	I (cm)
L1	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8000,000
L2=L10	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L3=L11	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L4=L7	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L5=L8	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L6	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8000,000
L9	20,000	54,000	6,000	4,000	312,000	5,077	8982,154

Calculo da flecha deferida;

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/cm ²)	Ma	α	fct (KN/cm ²)	H/2 (cm)
L1	3	200,000	7,460	0,00058	97,858	6,5	0,28964682	10
L2=L10	5B	490,000	1,541	0,00058	317,508	2,78	0,28964682	10
L3=L11	3	490,000	1,561	0,00058	406,076	4,61	0,28964682	10
L4=L7	6	490,000	1,561	0,00058	301,633	2,62	0,28964682	10
L5=L8	5A	490,000	1,561	0,00058	366,806	4,14	0,28964682	10
L6	5A	200,000	3,750	0,00058	97,858	6,5	0,28964682	10
L9	5A	320,000	1,061	0,00058	80,892	2,08	0,28964682	10

MR	Ecs x I (KN/cm ²)	ai (mm)	a total (mm)
278,061	20857274,99	0,0241	0,56
320,644	24051417,67	0,3221	7,47
320,644	24051417,67	0,5341	12,39
320,644	24051417,67	0,3035	7,04
320,644	24051417,67	0,4796	11,13
278,061	20857274,99	0,0241	0,56
312,198	23417906,6	0,0450	1,04

Planilhas de cálculo para o modelo de laje nervurada com uso de formas de polipropileno como material de enchimento (modelo 3 da pesquisa).

DIMENSÕES GEOMÉTRICAS DE CADA LAJE

LAJE	Lx (m)	Ly (m)	λ	H (cm)
L1	2,00	14,92	7,46	20,00
L2=L10	4,90	7,55	1,54	20,00
L3=L11	4,90	7,65	1,56	20,00
L4=L7	4,90	7,65	1,56	20,00
L5=L8	4,90	7,65	1,56	20,00
L6	2,00	7,50	3,75	20,00
L9	3,30	3,50	1,06	20,00

PESO TOTAL DE CADA LAJE EM KN/m²

LAJE	pp	revest. Piso	revest. Teto	permanente	variável	total (kn/m ²)
L1	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L2=L10	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L3=L11	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L4=L7	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L5=L8	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L6	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770
L9	1,760	0,630	0,380	2,770	3,000	5,770

Esforços de momentos fletores e cortantes calculados com uso das tabelas de pinheiro, 2003.

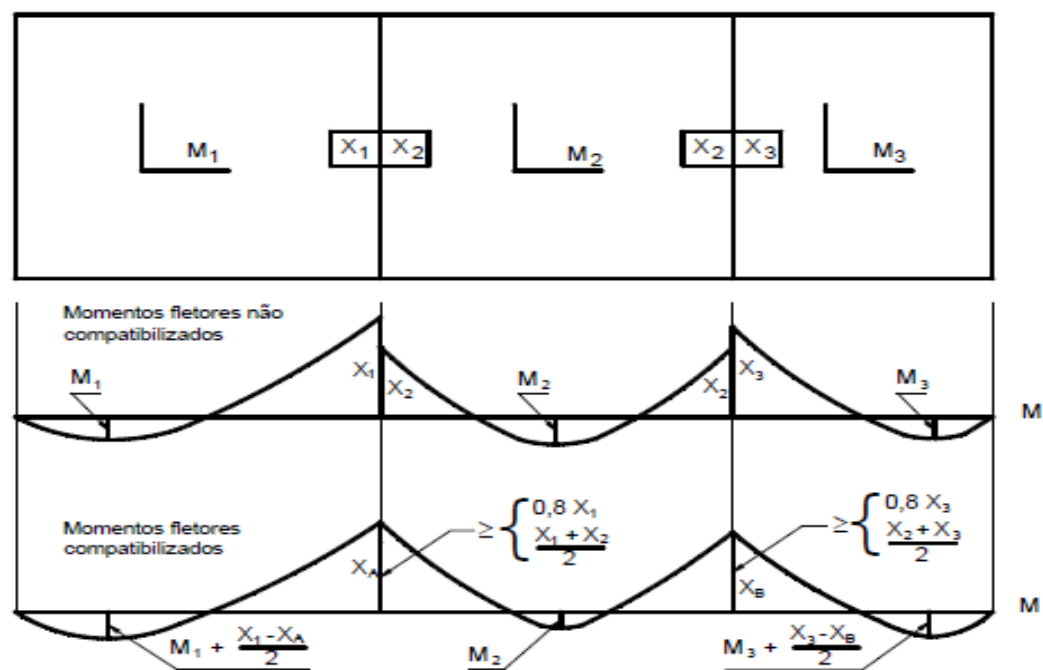
ESFORÇOS CORTANTES POR NERVURA

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/m ²)	v _x	v' _x	v _y	v' _y	V _x (kn/m)	V' _x	V _y	V' _y
L1	3,000	2,000	7,460	5,770	4,380	6,250	2,170	3,170	3,033	4,33	1,503	2,195
L2=L10	5B	4,900	1,541	5,770		3,730	1,710	2,500	0,000	6,33	2,901	4,241
L3=L11	3,000	4,900	1,561	5,770	2,930	4,290	2,170	3,170	4,970	7,28	3,681	5,378
L4=L7	6,000	4,900	1,561	5,770		3,390		2,500	0,000	5,75	0,000	4,241
L5=L8	5A	4,900	1,561	5,770	2,560	3,750		3,170	4,343	6,36	0,000	5,378
L6	5A	2,000	3,750	5,770	4,380	6,250		3,170	3,033	4,33	0,000	2,195
L9	5A	3,300	1,061	5,770	1,790	2,630		3,120	2,045	3,00	0,000	3,564

MOMENTOS FLETORES POR NERVURA

LAJE	TIPO	Lx (M)	λ	P (KN/m ²)	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	M _x (KN.m)	M' _x (KN.m)	M _y (KN.m)	M' _y (KN.m)
L1	3,000	2,000	7,460	5,770	7,030	12,500	1,600	8,200	0,97	1,73	0,22	1,14
L2=L10	5B	4,900	1,541	5,770	3,800	8,070	1,290	5,690	3,16	6,71	1,07	4,73
L3=L11	3,000	4,900	1,561	5,770	4,860	10,620	2,160	8,090	4,04	8,83	1,80	6,72
L4=L7	6,000	4,900	1,561	5,770	3,610	7,680	1,430	5,720	3,00	6,38	1,19	4,75
L5=L8	5A	4,900	1,561	5,770	4,390	9,680	2,390	7,980	3,65	8,05	1,99	6,63
L6	5A	2,000	3,750	5,770	7,030	12,500	1,800	8,120	0,97	1,73	0,25	1,12
L9	5A	3,200	1,061	5,770	2,270	5,980	2,560	6,460	0,80	2,12	0,91	2,29

Compatibilização dos momentos;



COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS						
LAJE	M _{kx} (KN.m)	M _{Ky} (KN.m)	LAJE	M' _{Kx} (KN.m)	LAJE	M' _{Ky} (KN.m)
L1	0,974	0,231	L1-L2	5,36	L2-L4=L7-L10	4,74
L2=L10	3,317	1,119	L1-L4=L6-L7	5,1	L4-L7	4,755
L3=L11	4,570	1,897	L9-L10	5,36	L3-L5=L8-L11	6,68
L4=L7	3,640	1,246	2-L3=L10-L1	7,77	L5-L8	6,633
L5=L8	4,060	2,073	L4-L5=L7-L8	7,215		
L6	1,016	0,260				
L9	0,840	0,804				

Calculo da área de aço por nervura na direção X;

LAJE	a (cm)	b2 (cm)	h (cm)	c (cm)	d (cm)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L2=L10	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	294,000	54,000	20,000	2,500	17,500	29,400	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	367,500	54,000	20,000	2,500	17,500	36,750	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	150,000	54,000	20,000	2,500	17,500	15,000	27,000	15,000	6,000	36,000
L9	240,000	54,000	20,000	2,500	17,500	24,000	27,000	24,000	6,000	54,000

Mdx (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asx/nervura(cm ²)	Asmin.(cm ²)	As, proj. (cm ²)
136,360	0,149	0,119	4,000	ok	0,18	0,36	0,36
464,380	0,306	0,245	4,000	ok	0,61	0,50	0,61
639,800	0,422	0,338	4,000	ok	0,85	0,50	0,85
509,600	0,336	0,269	4,000	ok	0,67	0,50	0,67
568,400	0,375	0,300	4,000	ok	0,75	0,50	0,75
142,240	0,155	0,124	4,000	ok	0,19	0,36	0,36
117,600	0,086	0,068	4,000	ok	0,15	0,47	0,47

LAJE	h (cm)	c (cm)	d (cm)	bw (cm)	M'dx(kn.cm)	X	X/d	A'sx (cm ²)	As min(cm ²)	A'sx projeto(cm ²)
L1-L2	20,000	2,500	17,500	6,000	750,400	5,63	0,322	1,132	0,18	1,13
L1-L4=L6-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	714,000	5,31	0,304	1,068	0,18	1,07
L9-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	750,400	5,63	0,322	1,132	0,18	1,13
L2-L3=L10-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	1087,800	8,93	0,511	1,797	0,18	1,80
L4-L5=L7-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	1010,100	8,10	0,463	1,629	0,18	1,63

Calculo da área de aço na direção Y;

LAJE	ay (cm)	b2y (m)	h (m)	c (m)	d (m)	0,1 a	0,5 b2	b1 (cm)	bw (cm)	bf (cm)
L1	969,800	54,000	20,000	2,500	17,500	96,980	27,000	27,000	6,000	60,000
L2=L10	490,750	54,000	20,000	2,500	17,500	49,075	27,000	27,000	6,000	60,000
L3=L11	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L4=L7	497,250	54,000	20,000	2,500	17,500	49,725	27,000	27,000	6,000	60,000
L5=L8	459,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,900	27,000	27,000	6,000	60,000
L6	450,000	54,000	20,000	2,500	17,500	45,000	27,000	27,000	6,000	60,000
L9	210,000	54,000	20,000	2,500	17,500	21,000	27,000	21,000	6,000	48,000

Mdy (KN .cm)	x (cm)	0,8X	hf (cm)	LN corta mesa	Asy/nervura(cm²)	Asmin.(cm²)	As, proj. (cm²)
32,340	0,021	0,017	4,000	ok	0,043	0,50	0,50
156,660	0,103	0,082	4,000	ok	0,206	0,50	0,50
265,580	0,174	0,139	4,000	ok	0,350	0,50	0,50
174,440	0,114	0,091	4,000	ok	0,230	0,50	0,50
290,220	0,191	0,152	4,000	ok	0,383	0,50	0,50
36,400	0,024	0,019	4,000	ok	0,048	0,50	0,50
112,560	0,092	0,074	4,000	ok	0,148	0,43	0,43

LAJE	h (m)	c (m)	d (m)	bw (cm)	M'dy(kn.cm)	X	X/d	A'sy (cm²)	As min(cm²)	A'sy projeto(cm²)
L2-L4=L7-L10	20,000	2,500	17,500	6,000	663,6	4,88	0,278974	0,98	0,18	0,98
L4-L7	20,000	2,500	17,500	6,000	665,7	4,90	0,279984	0,99	0,18	0,99
L3-L5=L8-L11	20,000	2,500	17,500	6,000	935,2	7,35	0,419761	1,48	0,18	1,48
L5-L8	20,000	2,500	17,500	6,000	928,62	7,28	0,416069	1,46	0,18	1,46

- Momento de inércia à flexão:

$$I_g = \frac{(b_f - b_w) \cdot h_f^3}{12} + \frac{b_w \cdot h^3}{12} + (b_f - b_w) \cdot h_f \cdot \left(y_{cg} - \frac{h_f}{2}\right)^2 + b_w \cdot h \cdot \left(y_{cg} - \frac{h}{2}\right)^2$$

LAJE	h (cm)	bf (cm)	bw (cm)	hf (cm)	A cm ²	Ycg (cm)	I (cm)
L1	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8000,000
L2=L10	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L3=L11	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L4=L7	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L5=L8	20,000	60,000	6,000	4,000	336,000	4,857	9225,143
L6	20,000	36,000	6,000	4,000	240,000	6,000	8000,000
L9	20,000	54,000	6,000	4,000	312,000	5,077	8982,154

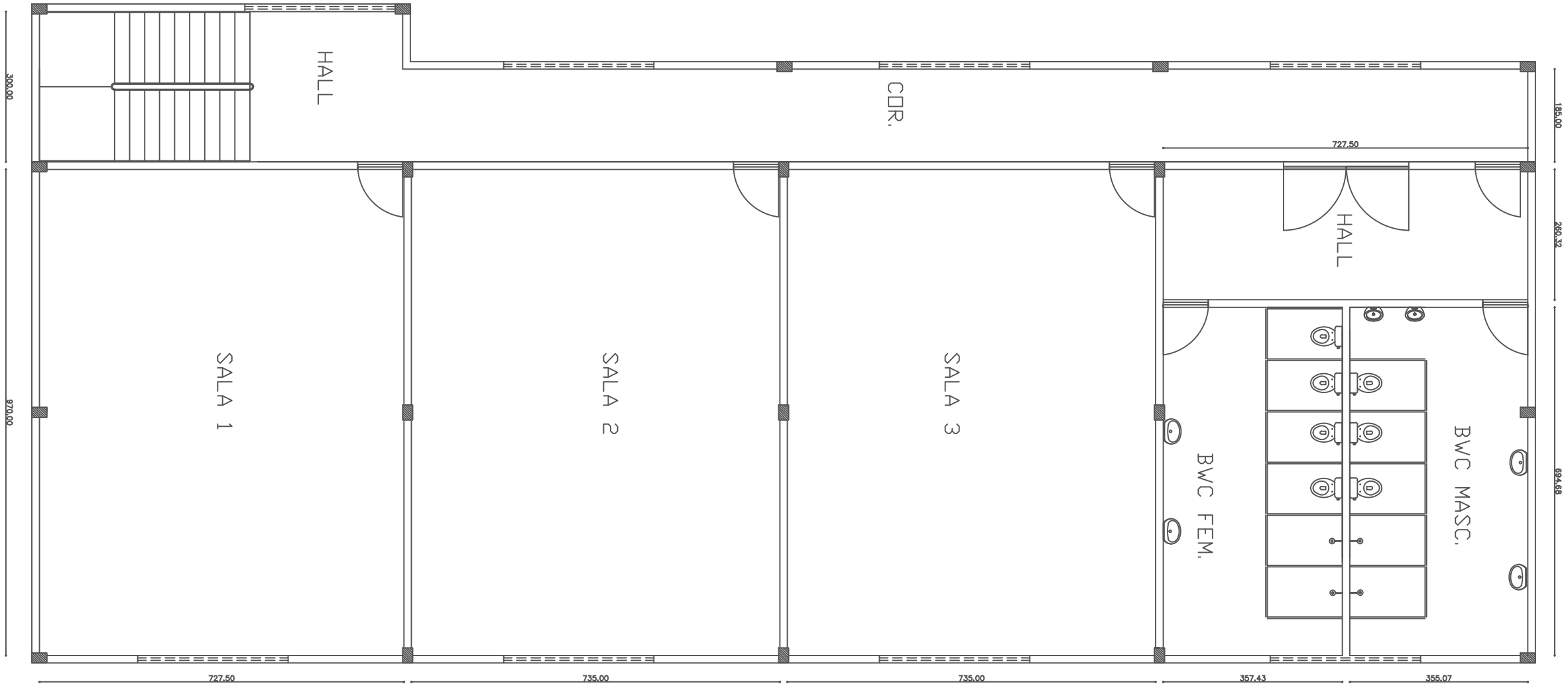
Calculo da flecha deferida;

LAJE	TIPO	Lx (cm)	λ	P (KN/cm ²)	Ma	α	fct (KN/cm ²)	H/2 (cm)
L1	3	200,000	7,460	0,000577	97,351	6,5	0,29	10
L2=L10	5B	490,000	1,541	0,000577	315,866	2,78	0,29	10
L3=L11	3	490,000	1,561	0,000577	403,976	4,61	0,29	10
L4=L7	6	490,000	1,561	0,000577	300,073	2,62	0,29	10
L5=L8	5A	490,000	1,561	0,000577	364,908	4,14	0,29	10
L6	5A	200,000	3,750	0,000577	97,351	6,5	0,29	10
L9	5A	320,000	1,061	0,000577	80,473	2,08	0,29	10

MR	Ecs x I (KN/cm ²)	ai (mm)	a total (mm)
278,060943	20857274,99	0,0240	0,56
320,64399	24051417,67	0,3204	7,43
320,64399	24051417,67	0,5313	12,33
320,64399	24051417,67	0,3020	7,01
320,64399	24051417,67	0,4771	11,07
278,060943	20857274,99	0,0240	0,56
312,198271	23417906,6	0,0448	1,04

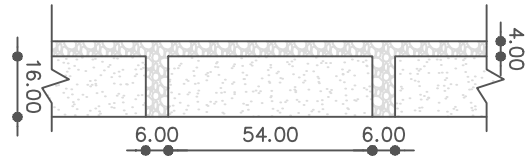
ANEXO B

Plantas de arquitetura, plantas de forma e plantas de armação da laje do pavimento tipo da edificação usada na pesquisa.

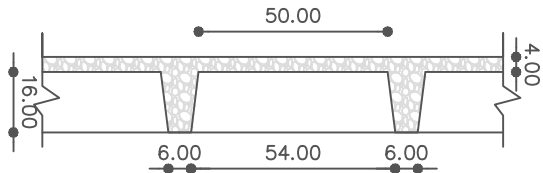


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO			DATA: JUN/2015
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			
PROJETO:EDIFÍCIO MODELO			
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE			
PROJETO ARQUITETÔNICO			
TÍTULO	PLANTA BAIXA		
AUTOR	EMANDEL ARMADO	ESCALA	PRANCHA
		1:100	01:09

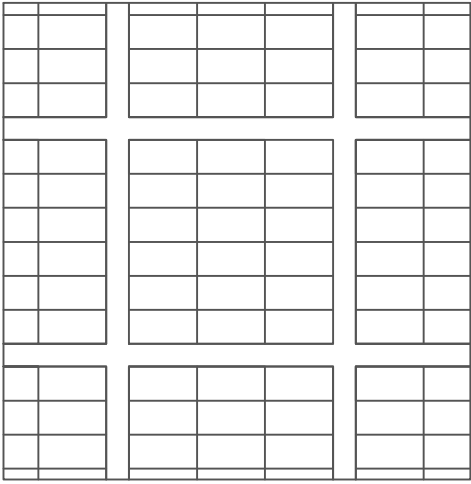
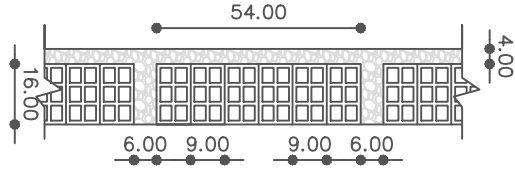
DETALHE DOS BLOCOS DE EPS COMO MATERIAL DE ENCHIMENTO



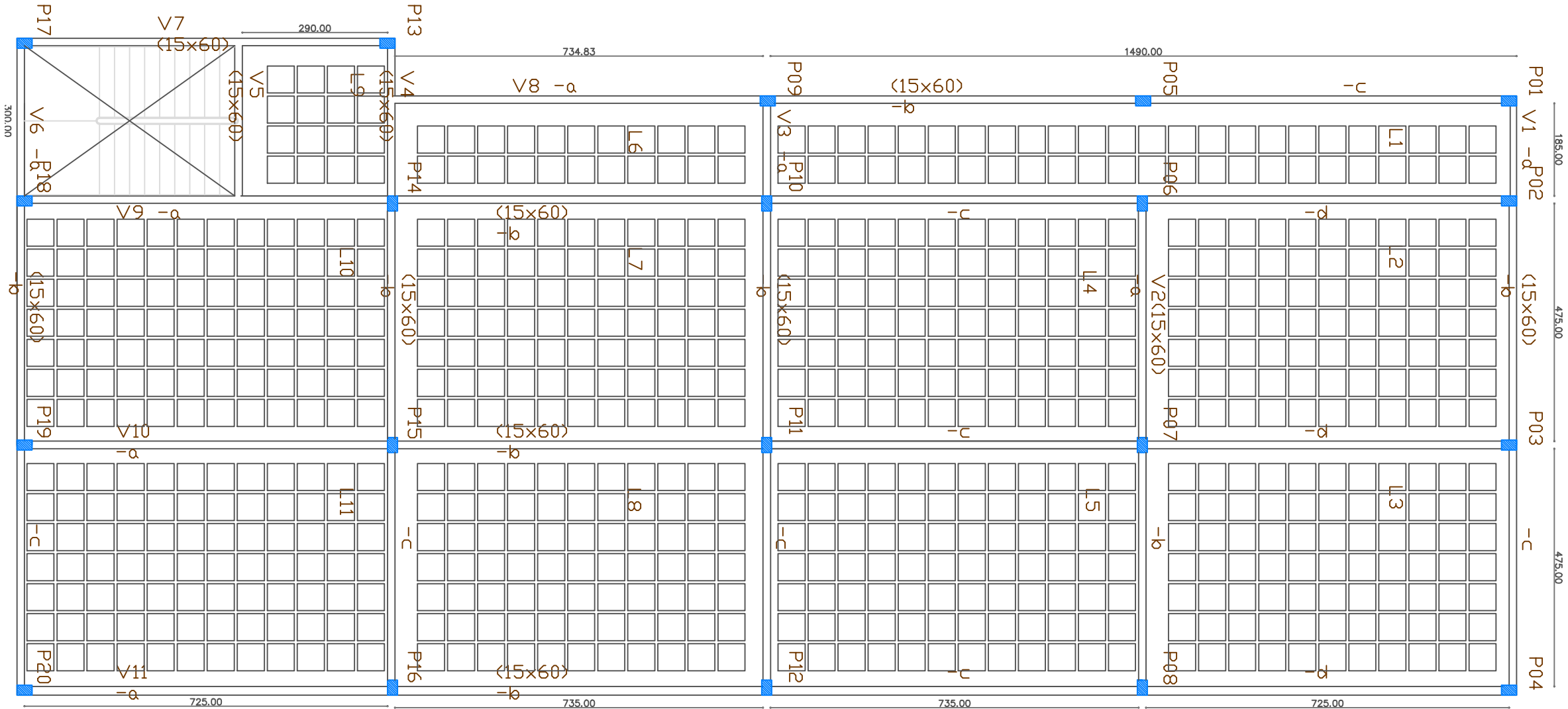
DETALHE DAS CUBETAS DE POLIPROPILENO COMO MATERIAL DE ENCHIMENTO



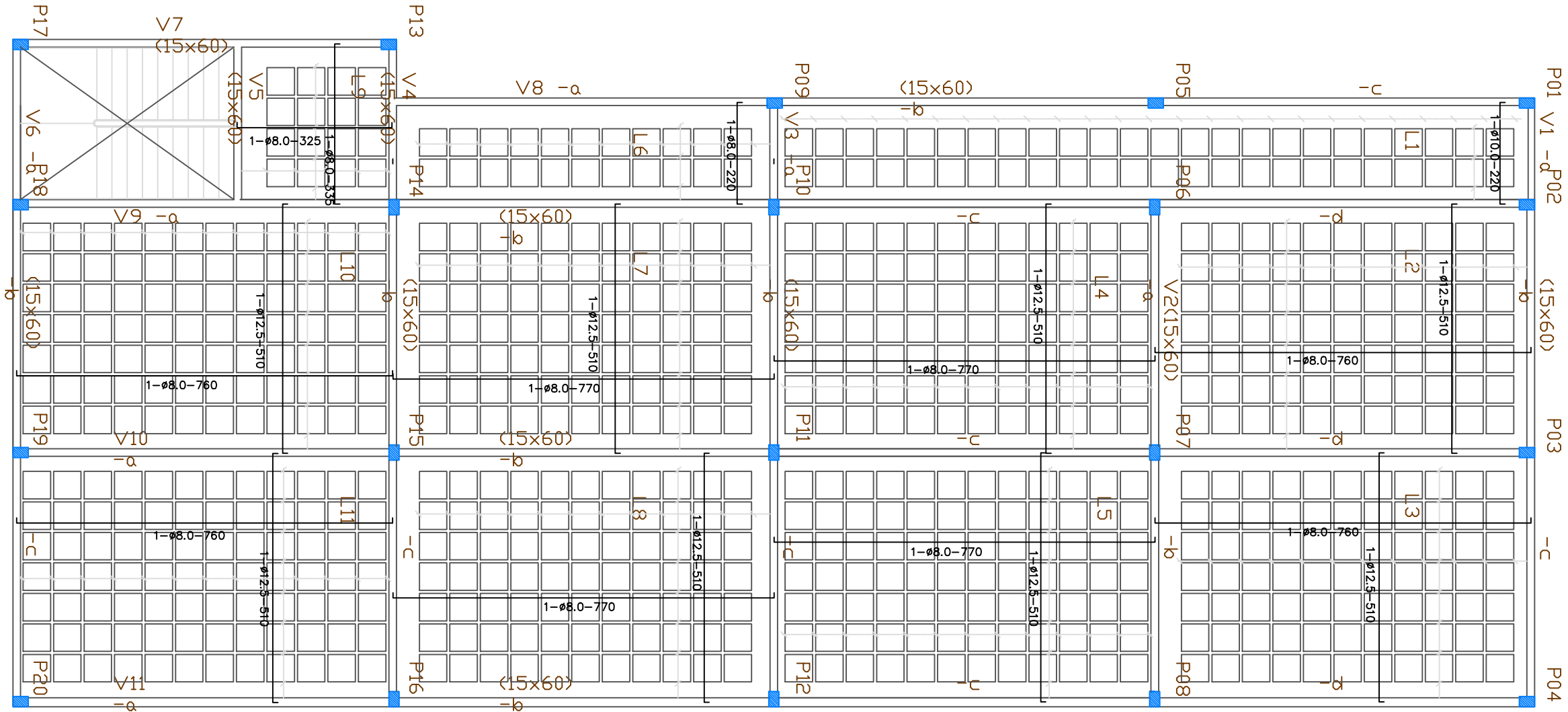
DETALHE DOS BLOCOS CERÂMICOS COMO MATERIAL DE ENCHIMENTO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO			DATA: JUN/2015	
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE				
PROJETO:EDIFÍCIO MODELO				
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE				
PROJETO ESTRUTURAL				
TÍTULO	DETALHES			
AUTOR	EMANUEL ARMADO		ESCALA	PRANCHA
			1:20	03:09

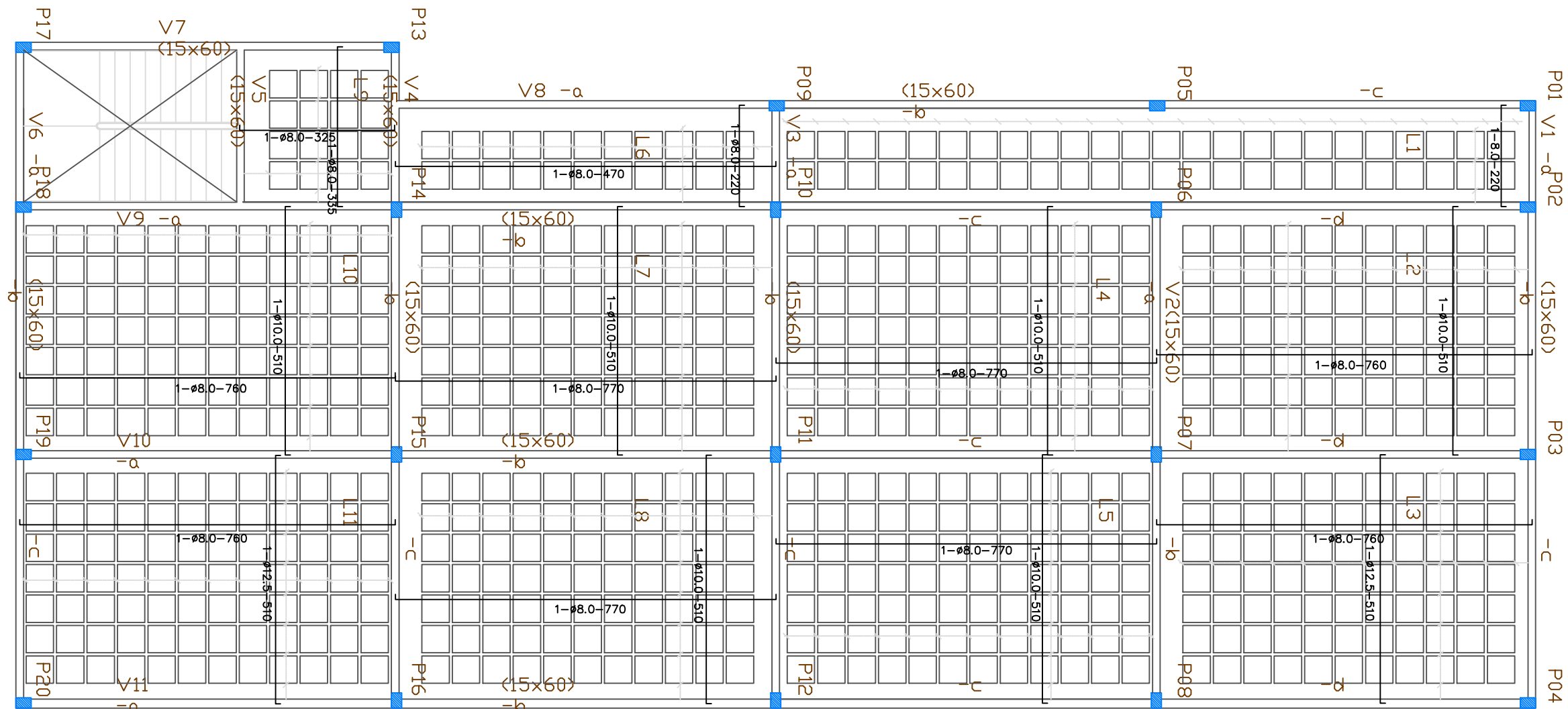


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO			DATA: JUN/2015
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			
PROJETO:EDIFÍCIO MODELO			
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE			
PROJETO ESTRUTURAL			
TÍTULO	FÔRMA TIPO		
AUTOR	EMANUEL ARMADO	ESCALA	PRANCHA
		1:100	02:09

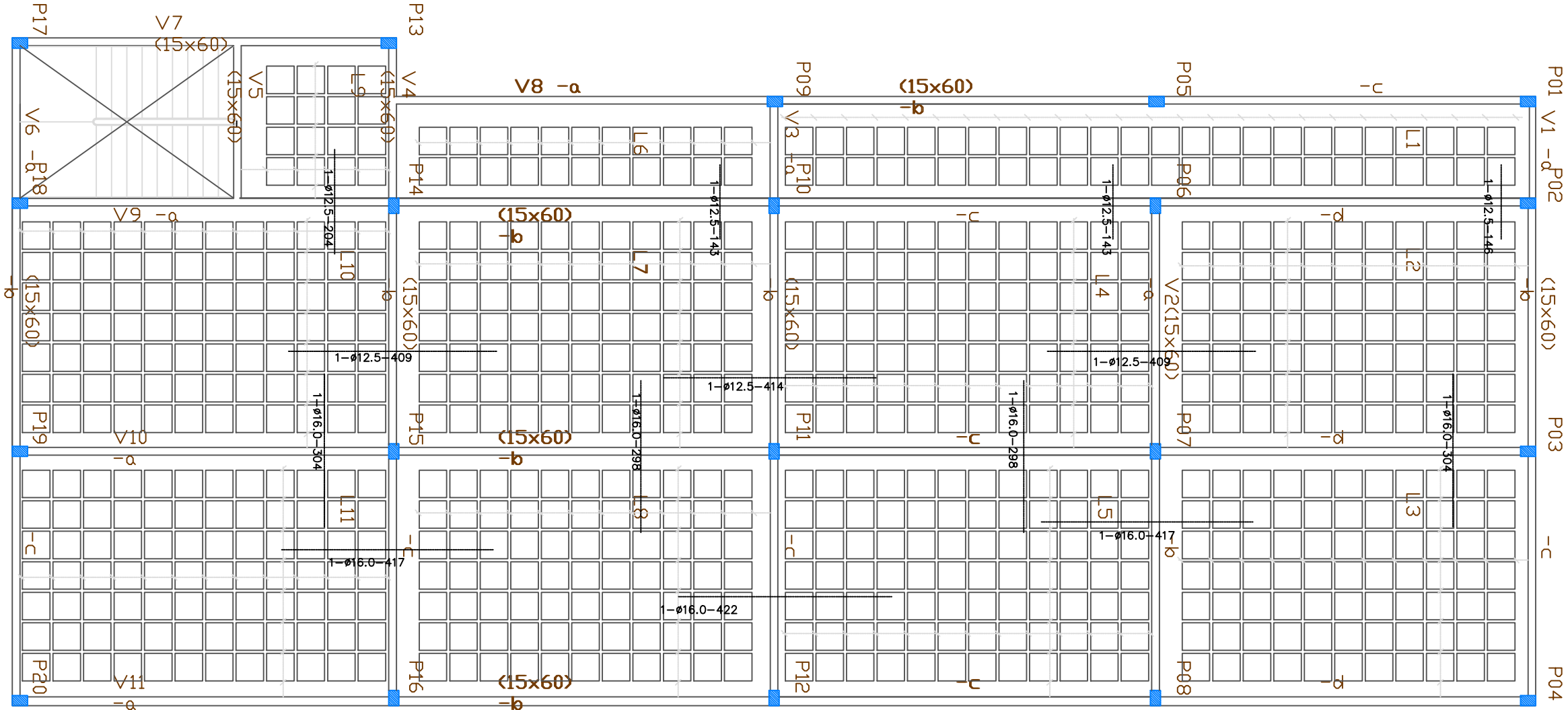


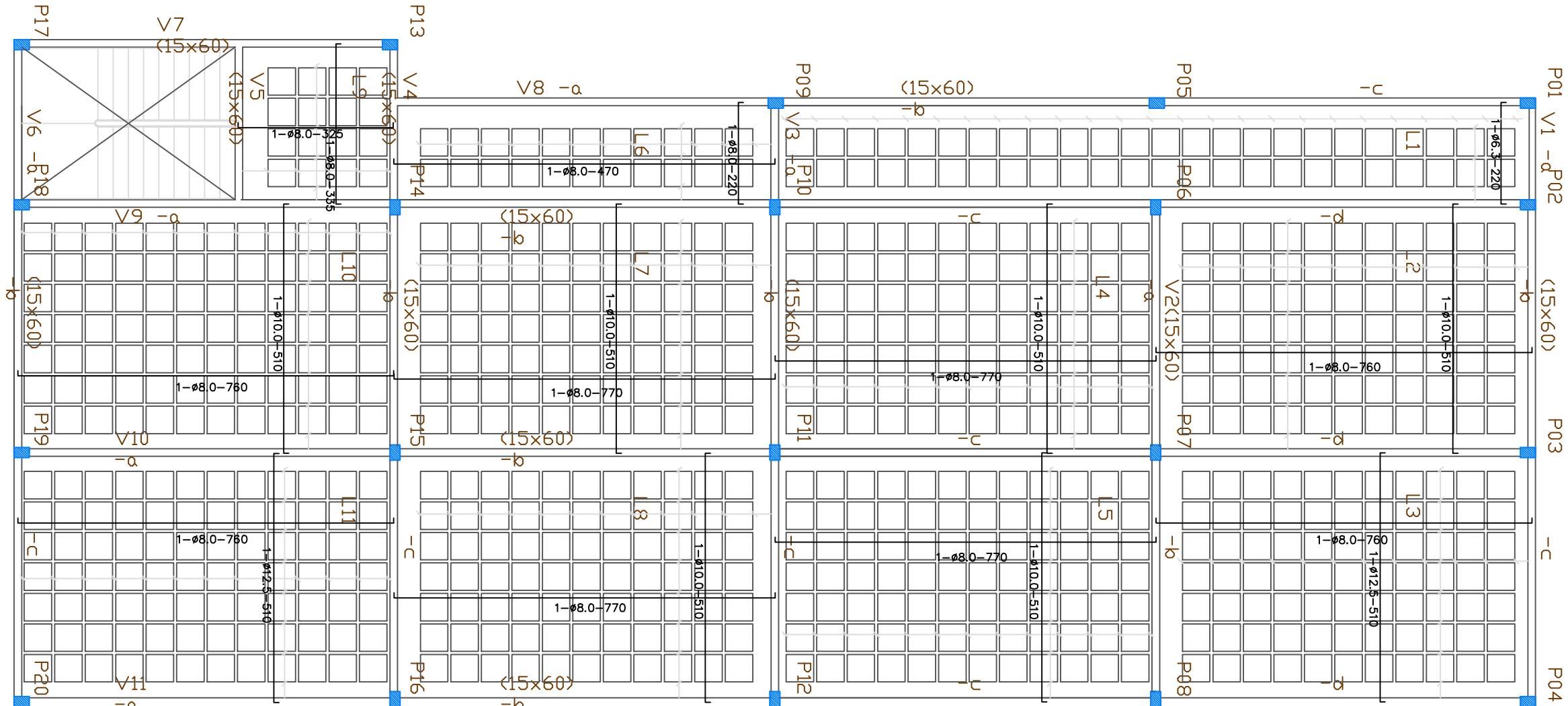
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO			DATA: JUN/2015
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			
PROJETO:EDIFÍCIO MODELO			
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE			
PROJETO ESTRUTURAL			
TÍTULO	ARMAÇÃO POSITIVA LONGITUDINAL E TRANSVERSAL (LN1)		
AUTOR	EMANUEL ARMADO	ESCALA	PRANCHA
		1:100	04:09

[illegible]



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO		DATA: JUN/2015	
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			
PROJETO DE EDIFÍCIO MODELO			
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE			
PROJETO ESTRUTURAL			
TÍTULO	ARMAÇÃO POSITIVA LONGITUDINAL E TRANSVERSAL (LN2)		
AUTOR	EMANUEL ARMADO	ESCALA	PRANCHA
		1:100	06/09





UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO			DATA: JUN/2015
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE			
PROJETO:EDIFÍCIO MODELO			
LOCALIZAÇÃO: CARUARU - PE			
PROJETO ESTRUTURAL			
TÍTULO	ARMAÇÃO POSITIVA LONGITUDINAL E TRANSVERSAL (LN3)		
AUTOR	EMANUEL ARMADO	ESCALA	PRANCHA
		1:100	08:09

[illegible]