UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

TIAGO CRUZ MORENO SOARES

APLICAÇÃO DA ECO LAJE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

SÃO LUÍS - MA
2016

TIAGO CRUZ MORENO SOARES

APLICAÇÃO DA ECO LAJE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Monografia apresentada ao curso de engenharia civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito para obtenção da nota do Trabalho de Conclusão de Curso.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho

SÃO LUÍS - MA
2016

Soares, Tiago Cruz Moreno.
Aplicação de eco laje na construção civil / Tiago Cruz Moreno Soares. – São Luís, 2016.
66 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho.

1. Lajes solares. 2. Bloco de vidro. 3. Intensidade luminosa.
4. Retorno financeiro de investimento. I. Título.

CDU 69:502.131.1

TIAGO CRUZ MORENO SOARES

APLICAÇÃO DA ECO LAJE NA CONTRUÇÃO CIVIL

Monografia apresentada ao curso de engenharia civil da Universidade Estadual do Maranhão pelo aluno Tiago Cruz Moreno Soares como requisito para obtenção da nota do Trabalho de Conclusão de Curso.

Aprovado em: 13 / 12 / 2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Esp. Clayton Carvalhedo Silva
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. M.Sc. Célio Gitahy Vaz Sardinha
Universidade Estadual do Maranhão

A Deus por todos os bens e dons que recebi junto com o incentivo e compreensão de familiares e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a chance de realizar esse trabalho e concretizar mais uma etapa da minha vida com a oportunidade de me formar e ter uma vida profissional como Engenheiro Civil.

Aos meus pais que puderam me criar dando uma educação de qualidade e me ajudando sempre nas horas de necessidade dando o incentivo necessário, com a grande colaboração deles pude realizar esse trabalho.

Aos colegas de turma da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), que contribuíram de modo significativo, durante toda essa jornada, sempre me apoiando nos momentos difíceis do estudo dessa monografia.

Aos professores que puderam me ajudar com materiais e referências bibliográficas necessárias para concretização desse trabalho, muito obrigado.

"*Assim como a planta é o projeto de uma construção civil, o sonho é um projeto de construção de vida.*"

Wendel Henrique Ferreira

RESUMO

Com a finalidade de avaliar a aplicação da eco laje na construção civil, várias análises foram feitas nos diversos tipos de lajes com os possíveis empregos do sistema de blocos de vidro, que compõe a laje solar, em seu aproveitamento energético. Nesse estudo avaliou-se a laje nervurada como melhor tipo de laje para essa aplicação devido a simples alternativa da substituição do material inerte pelo tijolo de vidro.

Observando tais características e avaliando os dados das normas, obtiveram-se resultados nos ensaios feitos nesse estudo e concluiu-se que os dados calculados e fornecidos pelos fabricantes das marcas dos blocos de vidro atenderam as expectativas da norma no que diz respeito a resistência, luminosidade, isolamento térmico e acústico.

Após concluir esses testes, deu-se seguimento para análise comparativa de estudos já realizados com vidro de dupla camada similares ao bloco de vidro. Com os dados desta análise pode-se propor uma situação de uma eco laje num ambiente de escritório visando a viabilidade e o tempo de retorno do custo desse investimento. Portanto concluiu-se que na situação exposta o investimento apresentou seu tempo de retorno de 5 anos e 2 meses na cidade de São Luís do Maranhão.

ABSTRACT

Aiming to evaluate the application of Eco Slab in civil construction, many analysis have been made with the types of Slabs and its possibilities of use in the glass block system, which are a part of the Solar Slab, in its energetic efficiency. In this current study, we evaluate the Ribbed Slabs as the best type of Slab for this application due to the simple alternative of substitution of the inert material for the glass brick.

Knowing the features and studying the norms data, we achieved the assay's results in the study and concluded that the calculated data and the data given by the manufacturers complied the norm's expectations in regard to resistance, luminosity and thermic and acoustic isolation.

After finishing these assays, we went to the comparative analysis of already done studies with double layered glass similar to the glass block. With this data we set forth an example of a bureau with eco slabs aiming for viability and payback time, and deduced that, in the present time and in São Luis – Maranhão, the mean payback time would be of 5 years and 2 months.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Lajes quanto ao tipo de ligação 13
Figura 2: Direção da armação das lajes 14
Figura 3: Fôrma de madeira serrada 15
Figura 4: Disposição das ferragens na laje maciça 15
Figura 5: Instalação dos eletrodutos na laje 16
Figura 6: Etapas da concretagem 16
Figura 7: Laje lisa (esquerda) e laje cogumelo (direita) 17
Figura 8: Vigotas pré-moldadas 19
Figura 9: Colocação das escoras e fôrmas das vigas 21
Figura 10: Detalhe esquemático da colocação das cubetas 21
Figura 11: Aplicação de desmoldante 22
Figura 12: Colocando armação nas lajes nervuradas 22
Figura 13: Lançamento do concreto na laje 23
Figura 14: Retirada das cubetas 23
Figura 15: Dimensões consideradas no cálculo do vão efetivo das lajes 25
Figura 16: Viga de borda como apoio simples para a laje 26
Figura 17: Laje em balanço engastada na viga de apoio 26
Figura 18: Lajes adjacentes com espessuras muito diferentes 27
Figura 19: Lajes parcialmente contínuas 27
Figura 20: Engastamento elástico na continuidade das lajes devido aos momentos fletores negativos 28
Figura 21: Convenção de estilo de linha para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre 28
Figura 22: Tipos de lajes em função dos seus vínculos nas bordas 29
Figura 23: Peso próprio da laje calculado por metro quadrado 30
Figura 24: Parede paralela à direção principal da laje armada em uma direção 32
Figura 25: Parede perpendicular à direção principal da laje armada em uma direção 33
Figura 26: Momentos fletores em lajes isoladas 35
Figura 27: Momentos fletores nas lajes contínuas 35
Figura 28: Placa esquemática da teoria de Kirchhoff 36
Figura 29: Situações de momentos nas lajes 37
Figura 30: Situação para compatibilização dos momentos 37

Figura 31: Exemplos de linhas de ruptura nas lajes 40
Figura 32: Laje Nervurada Armada em uma direção 41
Figura 33: Laje Nervurada Armada em duas direções 42
Figura 34: a) pavimento a ser executado b) solução de laje nervurada uma direção 43
Figura 35: Laje com nervuras bidirecionais ortogonais entre si 43
Figura 36: Seção de laje nervurada 44
Figura 37: Diagrama do momento para lajes nervuradas contínuas 46
Figura 38: Blocos de EPS com vigotas treliçadas 47
Figura 39: Laje com vigotas pré-moldadas 48
Figura 40: Adequação do bloco cerâmico com o bloco de vidro 48
Figura 41: Bloco de vidro (imagem à direita) e seu suporte para laje solar (imagem à esquerda) 49
Figura 42: Imagens da prensa com a colocação do suporte de apoio do corpo de prova 50
Figura 43: Colocação do bloco de vidro na prensa (imagem à esquerda) e seu rompimento (imagem à esquerda) 51
Figura 44: Interface dos aplicativos: Luxímetro (à esquerda) e Physics Toolbox Sensor Suite (à direita) 54
Figura 45: Teste dos sensores a luz intensa do abajur, com o sensor do Luxímetro à esquerda e o sensor do Physics Toolbox Sensor Suite à direita 55
Figura 46: Leitura do sensor no ambiente interno com luz artificial numa escrivaninha a noite 56
Figura 47: Exemplos da luminosidade natural nas eco lajes 56
Figura 48: Propagação luminosa do bloco de vidro 57
Figura 49: Ensaio de luminosidade feito com os sensores (à esquerda) junto com o melhor resultado (à direita) 57
Figura 50: Adaptação do suporte da eco laje e seu prolongador com relação ao tipo de bloco cerâmico 59
Figura 51: Etapas de limpeza (à esquerda) e abertura do sulco (à direita) 59
Figura 52: Aplicação carbolástico nº2 massa asfáltica 60
Figura 53: Duas plantas da mesma laje que destacam: os pontos luminosos (figura à esquerda) e os blocos com suas nervuras (figura à direita) 61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2. LAJES 13

3. DEFINIÇÃO DA ECO LAJE 14

4. LAJES MACIÇAS 15

4.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Maciça 17

5. LAJES LISAS 17

5.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Lisa 18

6. LAJES PRÉ-MOLDADAS 18

6.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Pré-Moldada 19

7. LAJES NERVURADAS 20

7.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Nervurada 24

8. PREMISSAS NECESSÁRIAS PARA A ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE SOLAR 24

9. VÃOS EFETIVOS DAS LAJES 24

10. CONDIÇÕES DE VINCULAÇÃO NAS BORDAS DA LAJE 25

11. AÇÕES NAS LAJES 29

11.1. Ações permanentes nas lajes 30

11.2. Ações variáveis nas lajes 34

12. MOMENTOS FLETORES EM LAJES 34

12.1. Compatibilização dos Momentos 37

13. CÁLCULO DAS ARMADURAS DAS LAJES 38

14. DISPOSIÇÕES GERAIS PARA O DETALHAMENTO 38

15. REAÇÕES NAS LAJES DE CONCRETO ARMADO 39

16. ESPECIFICAÇÕES DA ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE LISA 40

17. ANÁLISE ESTRUTURAL DAS LAJES NERVURADAS COM BLOCOS DE VIDRO 41

17.1. Modelos de cálculos 45

17.2. Aplicação do material inerte na laje nervurada 46

18. ESPECIFICAÇÕES DO BLOCO DE VIDRO 48

19. ENSAIOS DE LABORATÓRIO FEITOS COM O BLOCO DE VIDRO 50

19.1. Ensaio de resistência a compressão 50

19.2. Ensaio de luminosidade 54

20. ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO DO BLOCO DE VIDRO 58

21. PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE SOLAR 58

22. VIABILIDADE E ECONOMIA DA APLICAÇÃO DA LAJE SOLAR 60

23. CONCLUSÃO 64

24. REFERÊNCIAS 65

1. INTRODUÇÃO

Na construção civil temos diversos gastos com mão de obra, materiais, equipamentos, custos de água, energia e outros. Pensando nesses gastos, diversas metodologias tem sido criadas para diminuir esses custos, uma delas é o uso das eco lajes ou laje solares que garantem uma sustentabilidade no empreendimento.

Devido as constantes variações no custo de energia que vem aumentando com os anos, a população vem buscando novas alternativas de economia. A indústria da construção pensando nesse assunto desenvolveu a eco laje que permite a iluminação dos ambientes aproveitando-se da luz solar.

Com esse novo método que utiliza de um suporte junto a um tijolo vidro, temos a incidência da luz solar com esse tijolo que é refletida no ambiente interno proporcionando uma luz natural sustentável ao meio podendo-se utiliza-la também servindo de opção decorativa.

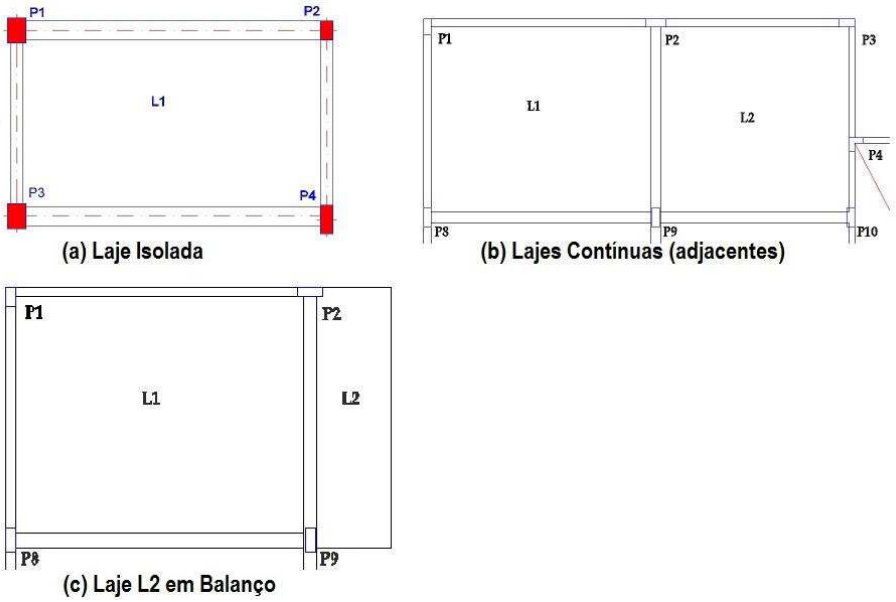
2. LAJES

São elementos estruturais responsáveis por receber os carregamentos, comumente perpendiculares ao plano da laje, divididos em: ações distribuídas na área (peso próprio, revestimento do piso), ações lineares (paredes), forças concretadas (pilar apoiado sobre a laje) e cargas provenientes do uso da construção (equipamentos, móveis e pessoas) atuantes no andar e transmiti-las para as vigas ou diretamente para os pilares que as sustentam nas edificações.

As lajes também são elementos considerados planos bidimensionais devido a sua espessura apresentar-se muito menor que as outras dimensões, é usualmente executada após levantar as paredes, sendo capaz suportar as cargas atuantes acima dela. Como elemento estrutural, as lajes possuem classificações quanto ao tipo de ligação, podendo ser:

a) Isoladas: quando a estrutura a ser construída apresenta um único painel de laje.
b) Contínua: quando divide-se os apoios de suas bordas com outras lajes, desde que estejam no mesmo nível e com continuidade do mesmo material.
c) Em balanço: no caso de um único apoio na condição de engaste estar ligado a uma viga ou outra laje.

Figura 1: Lajes quanto ao tipo de ligação

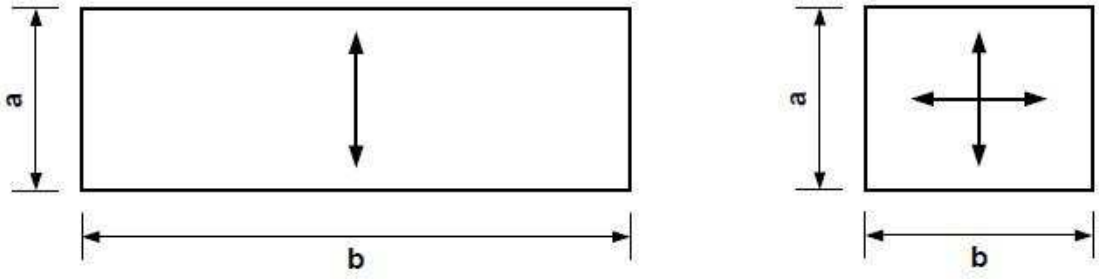


Fonte: Página do Mais Egenharia[1]

[1] Disponível em: <https://maisengenharia.wordpress.com/2014/10/06/tipos-de-laje/> Acesso em out. 2016.

Quanto a direção de sua armadura, temos lajes armadas em uma direção, onde está apresenta a sua armação paralela a menor dimensão com armaduras secundárias para distribuição na outra direção, e lajes armadas em duas direções com barras de ferro normalmente ortogonais entre si.

Figura 2: Direção da armação das lajes



Fonte: Página do Mais Engenharia[2]

O cálculo da laje varia de acordo seu tipo específico, os principais e mais usados são as lajes pré-moldadas, nervuradas, maciças e lisas que podem apresentar outras subdivisões como mostraremos a seguir, dando foco as possíveis aplicações das lajes solares.

3. DEFINIÇÃO DA ECO LAJE

A eco laje também chamada de “laje solar” ou “laje ecológica” é todo tipo de laje que apresenta um sistema de empregos de blocos de vidro em sua estrutura, podendo captar a luz solar e refleti-la no ambiente interno. Sua aplicação começou em 2000 junto ao telhado verde em Chicago chegando ao Brasil em 2010; diferentemente das telhas solares, as lajes solares além de aproveitarem a luminosidade do sol também cumprem a função de elemento estrutural na medida em que o bloco de vidro não faz perder a área útil da laje já que se pode transitar sobre eles, o que não ocorre nos domos e claraboias.

Veremos a seguir os tipos de lajes com suas definições, aplicações com vantagens e desvantagens focando para o estudo do emprego dos blocos de vidro nessas estruturas tornando-as lajes solares, lembrando que a melhor aplicação desse sistema é nos tipos de lajes que não tenham tanta interferência no cálculo estrutural da armação e disposição das ferragens.

[2] Disponível em: <https://maisengenharia.wordpress.com/2014/10/06/tipos-de-laje/> Acesso em out. 2016.

4. LAJES MACIÇAS

É um tipo de laje que apresenta seção homogênea, executada sobre fôrmas, normalmente de madeira, que as moldam no local da obra podendo ser armadas em telas soldadas ou aço solto, suas espessuras normalmente variam de 7 a 15cm. Geralmente é empregado esse tipo de laje em pequenas construções, em reformas residenciais ou projetos menores devido as vantagens nos aspectos de custos e no modo de construção, mas a sua economia fica limitada ao tamanho do vão que fica em torno de 4 a 7m, resultando em áreas de 15 à 20m², vãos maiores tornariam essa laje inviável devido ao peso do concreto e consumo elevado de madeira para as formas.

Etapas de construção:

1. Confecção de fôrma de madeira sobre escoramento;

Figura 3: Fôrma de madeira serrada

Fonte: CARMO, 2007

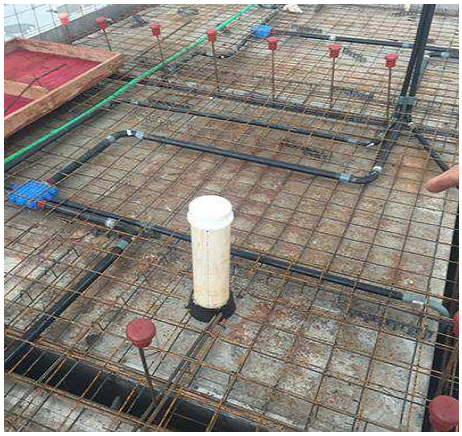
2. Execução de armadura (disposição das barras de aço) conforme projeto;

Figura 4: Disposição das ferragens na laje maciça

Fonte: GONÇALVES, 2009

3. Instalação de caixas e eletrodutos entre as barras;

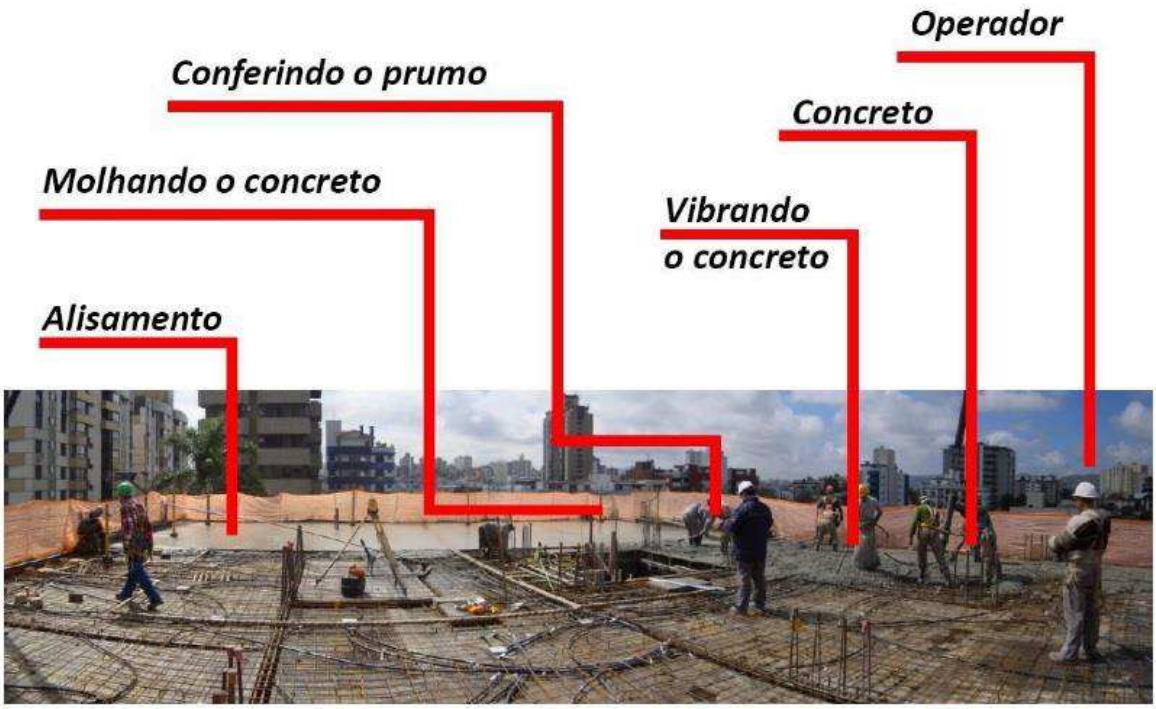
Figura 5: Instalação dos eletrodutos na laje



Fonte: GONÇALVES, 2009

4. Concretagem e nivelamento da superfície.

Figura 6: Etapas da concretagem



Fonte: Página do ESO – Concretagem[3]

5. Espera da cura completa do concreto para retirada das fôrmas e conclusão da laje.

As lajes maciças também podem ser protendidas e se diferenciam das tradicionais por suas armações. Ao invés da utilização de gaiolas ou vergalhões comuns de aço, as lajes

[3] Disponível em: <http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=concretagem> Acesso em out. 2016.

protendidas apresentam armações executadas com tenções iniciais pré-estabelecidas com cordoalhas, essa protenção ajuda a reduzir problemas de deformação.

4.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Maciça

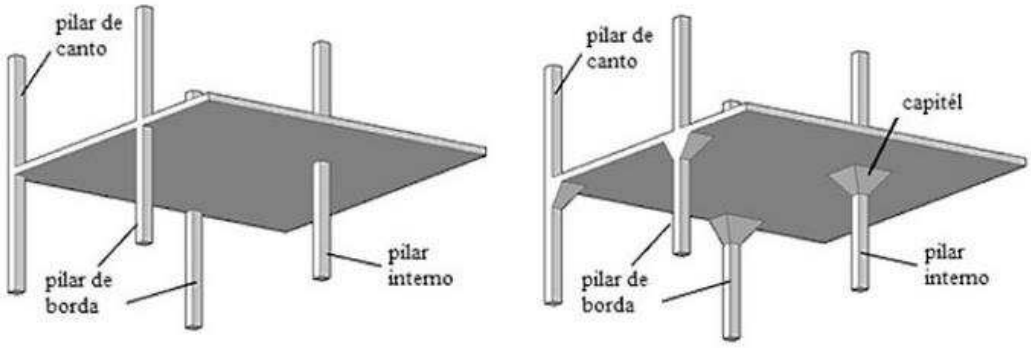
Nesse tipo de laje encontra-se a dificuldade estrutural para colocação dos blocos de vidro devido à disposição das armações que devem ser espaçadas e inseridas na laje no contorno de cada bloco disposto no projeto de maneira a considera-los como vãos livres. Essa consideração é feita na medida que o suporte junto ao bloco de vidro não apresentam resistência suficiente para suportar a mesma carga que o concreto armado.

Em virtude da viabilidade energética que o bloco de vidro dará, teremos a análise estrutural se adequando ao modelo pré-determinado da melhor distribuição de luminosidade no ambiente, isso poderá dificultar na execução dessa laje, e para melhor precisão nos cálculos recomenda-se usar o método dos elementos finitos, junto a programas computacionais.

5. LAJES LISAS

São lajes que estão diretamente apoiadas nos pilares da estrutura, ou seja, sem vigas. Também temos as lajes em cogumelo que também não são apoiadas nas vigas, pois ficam apoiadas apenas sobre capiteis. Esses tipos de lajes podem ser do tipo maciças ou nervuradas, seus cálculos são realizados conforme os esforços desenvolvidos elasticamente. Os procedimentos empíricos das análises dessas estruturas são baseados no comportamento real das mesmas para se descobrir as influências das condições de suporte (capitéis ou engrossamento das lajes).

Figura 7: Laje lisa (esquerda) e laje cogumelo (direita)



Fonte: Sacramento et al. (2012)

Para tais regras e critérios se pressupõem alguns limites no campo de aplicação. Em casos de estruturas que saem do padrão retangular ou quadrado deve-se realizar uma análise mais detalhada com a devida recomendação do uso de programas computacionais para melhor precisão.

Na análise dos suportes destes tipos de lajes temos o capitel que serve como alargamento da cabeça do pilar na região de contato com a laje, existem vários tipos de capiteis que foram usados desde a antiguidade (Grécia, Roma, etc) com fins mais estéticos até os dias atuais com formatos simplificados para melhor resistência da estrutura aos efeitos de punção. Outra solução para esses efeitos são os engrossamentos das lajes nas zonas de suporte.

Sua etapa de execução chega a ser similar ao da laje maciça, dando destaque a armação concentrada próxima aos pilares e aos cuidados que deve-se ter com flexão no meio do vão quando estiver na etapa de concretagem.

5.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Lisa

Essa aplicação gerará uma dificuldade similar à vista na laje maciça, pois também haverá mudança nos cálculos e disposições das armações, mas diferente da laje maciça, caberá ao projetista ter o bom senso na distribuição dos blocos de vidro, pois nesse tipo de laje a maior concentração das ferragens deverá ser dada no entorno dos pilares para evitar os efeitos de punção. Se houver muitos blocos de vidro na laje, deverá ser repensado o estudo de viabilidade e retorno do investimento feito, pois o mesmo pode se tornar muito caro se necessitar de muitas barras de ferro.

Assim como na laje maciça, cada tijolo de vidro colocado na laje irá ocupar um determinado lugar das ferragens, como esse material não apresenta uma resistência adequada no cálculo estrutural, deve-se considera-lo como vão livre para efeitos de segurança, logo recomenda-se o uso de programas computacionais usando o método dos elementos finitos para melhor precisão.

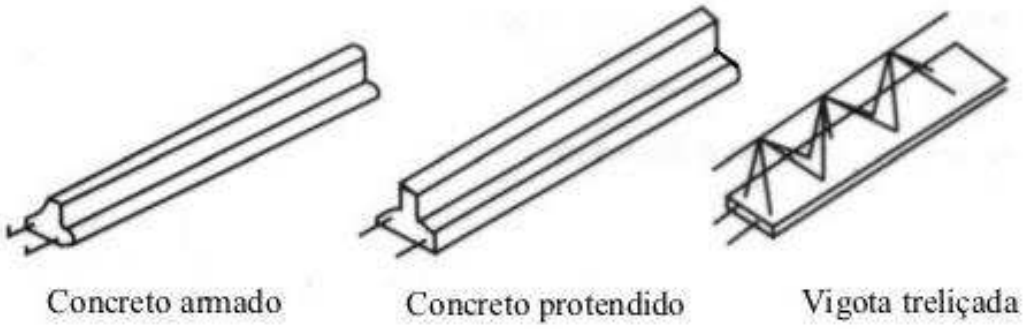
6. LAJES PRÉ-MOLDADAS

Esse tipo de laje é constituída por vigas ou vigotas de concreto junto a blocos que normalmente são lajotas ou tavelas. A fabricação prévia das vigotas em grande escala pode acelerar a execução dessa laje no momento em que o fabricante tem em mãos o projeto para

confecção das peças junto com as instruções de montagem e outros detalhes como a espessura da capa de concreto que devem ser levados à risca.

As vigotas podem ser de concreto armado com seção usualmente em formato de "T" invertido, com armadura passiva envolvida totalmente pelo concreto da vigota. Já as vigotas treliçadas são constituídas por uma armadura em forma de treliça parcialmente englobada pelo concreto da vigota onde o banzo inferior é envolto por uma placa de concreto estrutural, formando um conjunto pré-moldado de boa resistência e fácil manuseio, posteriormente, em conjunto com o concreto, formarão as nervuras longitudinais na laje.

Figura 8: Vigotas pré-moldadas



Fonte: FRANCA & FUSCO, 1997

Nas lajes pré-moldadas comuns pode-se vencer vãos de até 5m entre os apoios. Nos casos em que se utilizam de vigotas treliçadas com vergalhões soldados entre si, pode-se vencer vão de até 12m entre apoios. Também podemos melhorar esse tipo de laje incorporando Lãs de Vidro no interior dos elementos construtivos (enchendo os furos dos blocos) contribuindo para alcançar índices de isolamento acústicos elevados graças à sua elevada elasticidade, funcionando como uma mola.

6.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Pré-Moldada

Para essa aplicação é necessário a análise das peças com os encaixes nos suportes dos blocos de vidro, nesse caso deve-se enviar um projeto previamente a fábrica para que possa confeccionar as peças. A maneira de encaixe pode variar com o projeto, mas deve-se ter o cuidado na junção das vigotas com o suporte do bloco para não gerar trincas na laje.

7. LAJES NERVURADAS

A NBR 6118 (item 14.7.7) define laje nervurada como as “lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.”. O material de enchimento (material inerte) tem uma resistência que não é considerada, ou seja, não contribui para aumento da resistência da laje nervurada. O preenchimento de concreto aplicado as nesse material que dará as nervuras unidas e solidarizadas pela mesa (capa) a devida resistência e rigidez sendo que as armações ficam concentradas nelas.

Uma vantagem das nervuras nas lajes é a diminuição do consumo de concreto se comparado com a laje maciça já que a concentração das armações nas nervuras atendem às solicitações dos esforços permitindo um espaçamento entre elas que pode ser preenchido com um material mais leve. A facilidade de execução com formas e armação atendendo grandes vãos junto com a redução do pé direito e fácil acessibilidade a passagem de tubulações (elétrica, hidráulica, ar condicionado, etc.) são pontos favoráveis para o uso de lajes nervuradas.

As lajes nervuradas moldadas “in loco” são executadas com o uso de escoramentos e fôrmas além do material de enchimento. Alguns tipos de fôrmas podem vir a substituir o material inerte como o caso de fôrmas de polipropileno ou de metal, com imensões moduladas, sendo necessário a utilização de desmoldantes iguais aos usados nas lajes maciças. Também podemos utilizar lajes nervuradas pré-moldadas com vigotas pré-moldadas que dispensam o uso do tabuleiro de forma tradicional, e elementos pré-moldados servindo de apoio para o material de enchimento.

Como foi visto, a principal característica das lajes nervuradas é a redução da quantidade de concreto, na região tracionada, possibilitando o uso de um material de enchimento, além disso, há um alívio do peso próprio, logo a escolha desse material é limitado ao seu peso, devendo ser de preferência bem leve, mas com resistência suficiente para suportar as operações de execução. Deve-se ressaltar que a resistência desse material de enchimento não é considerado no cálculo da laje. Podem ser utilizados vários tipos de materiais de enchimento, entre os quais: blocos de EPS (poliestireno expandido) também conhecido como isopor, blocos cerâmicos, blocos vazados de concreto e blocos de vidro. Esses blocos podem ser substituídos por vazios, obtidos com fôrmas constituídas por caixotes reaproveitáveis.

Etapas de construção da laje nervurada com fôrmas plásticas:

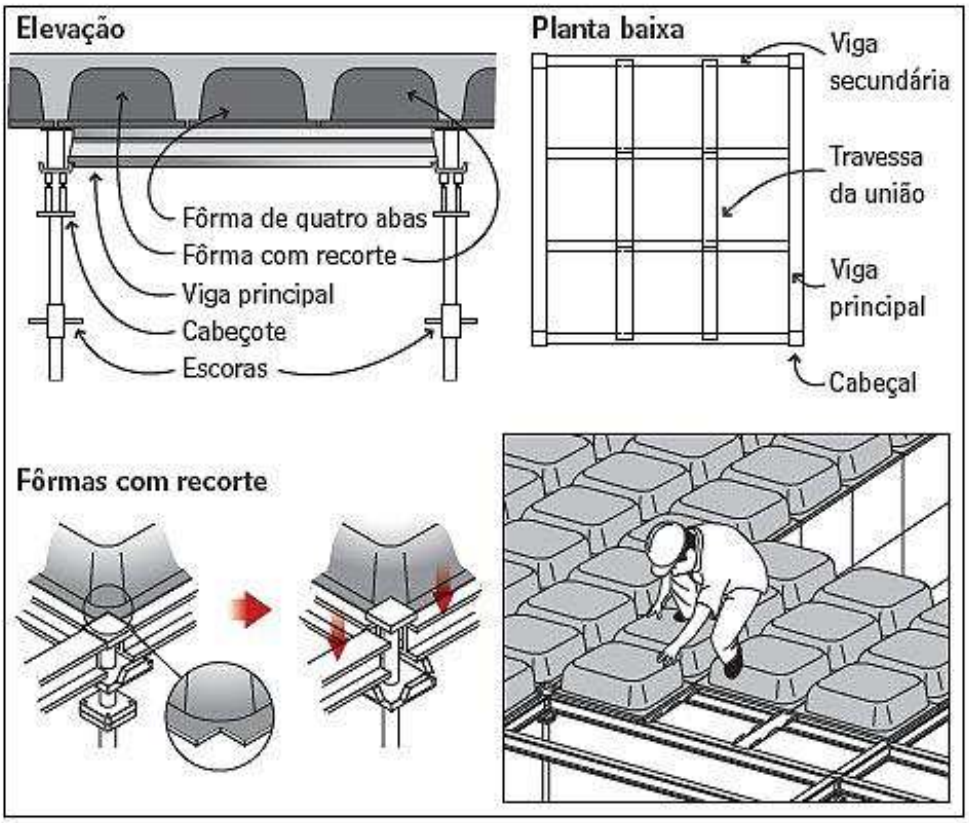
1. Montagem dos escoramentos e do vigamento;

Figura 9: Colocação das escoras e fôrmas das vigas

Fonte: Página do ESO – Laje Nervurada[4]

2. Colocação das cubetas plásticas (material que serve como fôrma para as nervuras);

Figura 10: Detalhe esquemático da colocação das cubetas



Fonte: Página do ESO – Laje Nervurada[5]

[4] Disponível em: <http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=laje-nervurada> Acesso em out. 2016.
[5] Disponível em: <http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=laje-nervurada> Acesso em out. 2016.

3. Montagem da chapa de apoio das cubetas (tablado de madeira) sobre as escoras;
4. Distribuição das fôrmas alinhadas sobre os painéis e aplicação de desmoldante para facilitar a retirada das fôrmas após a concretagem;

Figura 11: Aplicação de desmoldante

Fonte: Página da Téchne[6]

5. Colocação das armaduras fixando vergalhões e estribos já instalando os eletrodutos no meio;

Figura 12: Colocando armação nas lajes nervuradas

Fonte: GONÇALVES, 2009

[6] Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/lajes-nervuradas-286555-1.aspx> Acesso em out. 2016.

6. Lançamento do concreto na laje sendo devidamente sarrafeada e nivelada;

Figura 13: Lançamento do concreto na laje

Fonte: Página da Téchne[7]

7. Após alguns dias, retira-se os escoramentos e tablados de apoio das cubetas, deixando o reescoramento a cada 1,5m²;
8. Retirada das cubetas com a espera da cura completa do concreto em aproximadamente 28 dias para retida do reescoramento e conclusão da laje.

Figura 14: Retirada das cubetas

Fonte: Página da Téchne[8]

[7] Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/lajes-nervuradas-286555-1.aspx> Acesso em out. 2016.
[8] Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/lajes-nervuradas-286555-1.aspx> Acesso em out. 2016.

7.1. Aplicação dos Blocos de vidro na Laje Nervurada

Nas lajes nervuradas temos a possibilidade da aplicação dos suportes de plástico (polipropileno) com os blocos de vidro na perfeita adequação destes como matérias inertes nessa laje, tornando-a uma laje solar. Sem a interferência direta nos cálculos de resistência da laje, conforme visto anteriormente, temos a alternativa de concordância do suporte com o concreto sem alteração nas armações, o que ajuda na disposição uniforme e ideal para uma melhor eficiência da luz solar no ambiente interno.

8. PREMISSAS NECESSÁRIAS PARA A ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE SOLAR

Nesse estudo veremos uma introdução estrutural ampla da norma para todos os tipos de lajes com o cálculo dos momentos e reações, assim como a análise das seções. Após esse estudo, verificaremos as composições e especificações da norma para cada tipo de laje, mas com enfoque para o estudo da laje solar.

A composição dos elementos estruturais básicos para esse estudo levará em conta modelos estruturais para cada situação com a possibilidade de diferentes tipos de métodos executivos com enfoque para eco laje. No caso de modelos baseados no método dos elementos finitos, diferenças finitas ou analogia de grelha, deverá ter a discretização da estrutura suficiente para não ocorrer erros significativos para análise.

Cada modelo irá representar a geometria dos elementos estruturais, as condições de contorno e características com a função e o objetivo específico da análise. No caso de estruturas protendidas, será considerada a migração da proteção para elementos adjacentes, já as análises locais complementares serão feitas nos casos em que a hipótese da seção plana não se aplica.

9. VÃOS EFETIVOS DAS LAJES

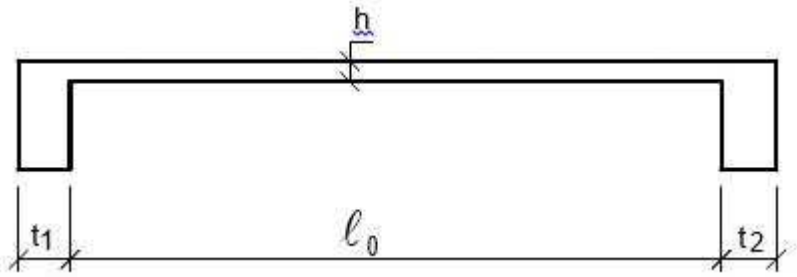
Os vãos efetivos (l_{ef}) das lajes nas direções principais segundo NBR 6118 em seu item 14.6.2.4, considerados que os apoios são suficientemente rígidos na direção vertical, devem ser calculados pela expressão:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2$$

Com as seguintes condições para os coeficientes a_1 e a_2:

$$a_1 \leq \begin{cases} t_1/2 \\ 0{,}3h \end{cases} \qquad \text{e} \qquad a_2 \leq \begin{cases} t_2/2 \\ 0{,}3h \end{cases}$$

Figura 15: Dimensões consideradas no cálculo do vão efetivo das lajes



Fonte: BASTOS, 2015

10.CONDIÇÕES DE VINCULAÇÃO NAS BORDAS DA LAJE

Para analisar essas condições temos de modo geral três os tipos de apoio para as lajes que são: paredes de alvenaria ou de concreto, pilares de concreto e vigas dependendo do tipo de laje. Os caso mais comuns nas construções são as vigas de apoio localizadas nas bordas das lajes.

Faz-se necessário estabelecer os vínculos da laje com os apoios para o cálculo dos esforços solicitantes e das deformações, sejam esses apoios pontuais como os pilares, ou lineares como as vigas de borda. Algumas simplificações podem ser feitas para possibilitar o cálculo manual que poderá ser desenvolvido isolando-se cada laje, esse recurso é oferecido pela norma devido à complexidade das estruturas que apresentem muitas lajes.

Os três tipos comuns de vínculo das lajes para essa análise são: o apoio simples, o engaste perfeito e o engaste elástico.

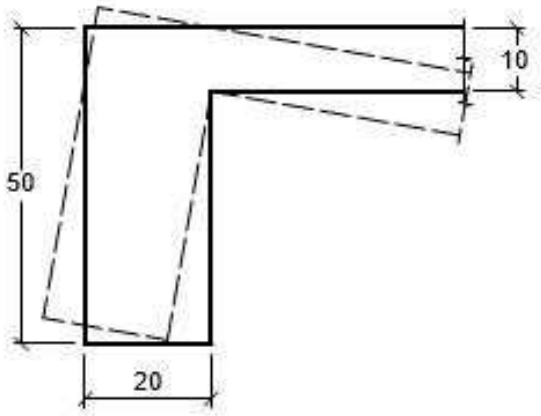
Nas tabelas usuais são admitidos apenas os apoios simples, o engaste perfeito e os apoios pontuais, logo para efeitos de cálculo a vinculação nas bordas deverá resumir apenas a esses três tipos, ressaltando que com a utilização de programas computacionais seria possível admitir também o engaste elástico.

a) Bordas simplesmente apoiadas

Esse apoio acontece nas situações de bordas que não se admite a continuidade da laje com outras lajes vizinhas ou porque simplesmente não existe essa continuidade. O apoio simples pode ser uma viga de concreto ou uma parede de alvenaria.

No caso de vigas de concreto de dimensões correspondentes, a viga gira e deforma-se acompanhando as rotações pequenas da laje devido a rigidez da viga à torção ser pequena, isso acaba garantindo a concepção teórica do apoio simples conforme a figura 16.

Figura 16: Viga de borda como apoio simples para a laje



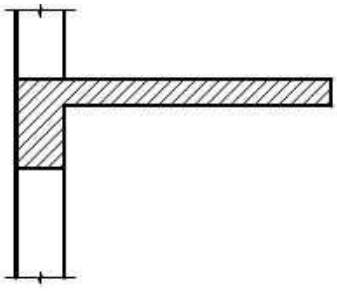
Fonte: BASTOS, 2015

Com o cuidado especial em casos que a viga tenha alta rigidez à torção, pode ser mais adequado engastar perfeitamente a laje na viga, colocando uma armadura, geralmente negativa, na ligação com a viga para evitar esses efeitos dos esforços de torção.

b) Engaste perfeito

Este tipo de engaste normalmente surge no caso de lajes em balanço, como varandas, marquises, etc. Também é considerado nas bordas onde há continuidade entre duas lajes vizinhas.

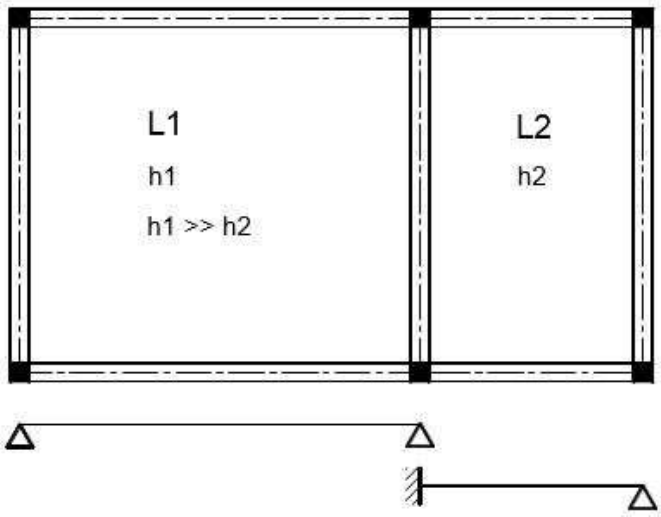
Figura 17: Laje em balanço engastada na viga de apoio



Fonte: BASTOS, 2015

Quando temos duas lajes contínuas de espessuras muito diferentes, conforme a figura abaixo, recomenda-se considerar a laje de menor espessura (L2) engastada na de maior espessura (L1), mas pode ocorrer da laje com maior espessura ser considerada apenas apoiada na borda comum as duas lajes.

Figura 18: Lajes adjacentes com espessuras muito diferentes



Fonte: BASTOS, 2015

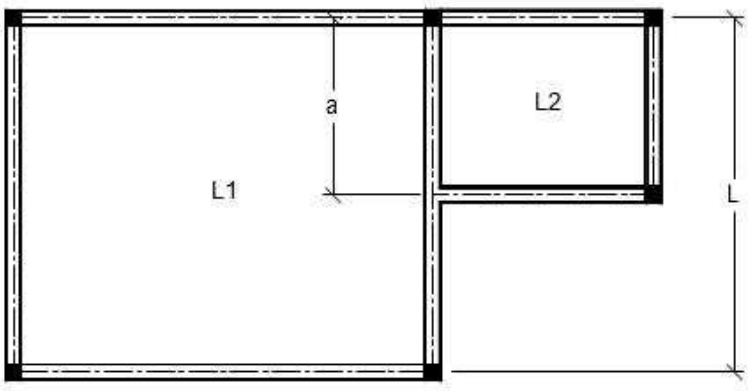
Na situação de lajes sem continuidade ao longo de toda a borda comum, tem-se o critério simplificado para se considerar a vinculação com a seguinte condição:

Se $a \geq \frac{2}{3}L \rightarrow$ a laje L1 pode ser considerada com a borda engastada na laje L2;

Se $a < \frac{2}{3}L \rightarrow$ a laje L1 fica com a borda simplesmente apoiada (apoio simples).

Em ambos os casos a laje L2 tem a borda engastada na laje L1.

Figura 19: Lajes parcialmente contínuas

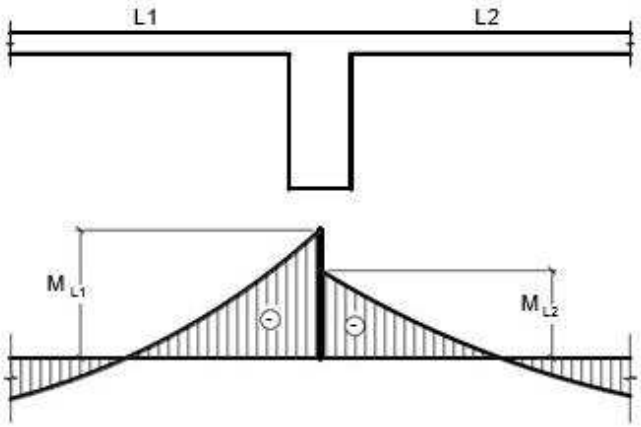


Fonte: BASTOS, 2015

c) Esngaste elástico

Os apoios intermediários nas lajes contínuas tem-se momentos fletores negativos devido a essa continuidade, logo deve-se ponderar os diferentes valores dos momentos fletores que surgem nos apoios conduzidos ao engastamento elástico, conforme a figura abaixo. No entanto, para efeito do cálculo inicial dos momentos fletores M_{L1} e M_{L2}, as lajes que apresentarem continuidade devem ser consideradas perfeitamente engastadas nos apoios intermediários.

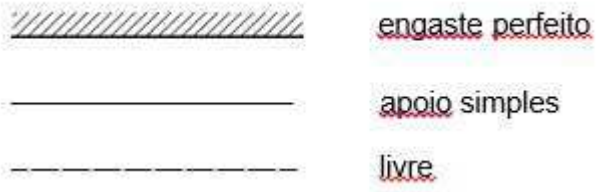
Figura 20: Engastamento elástico na continuidade das lajes devido aos momentos fletores negativos



Fonte: BASTOS, 2015

Segundo as tabelas de BARÉS temos a representação dos possíveis tipos de vinculação nas lajes com a convenção de diferentes estilos de linhas para auxiliar no cálculo da estrutura.

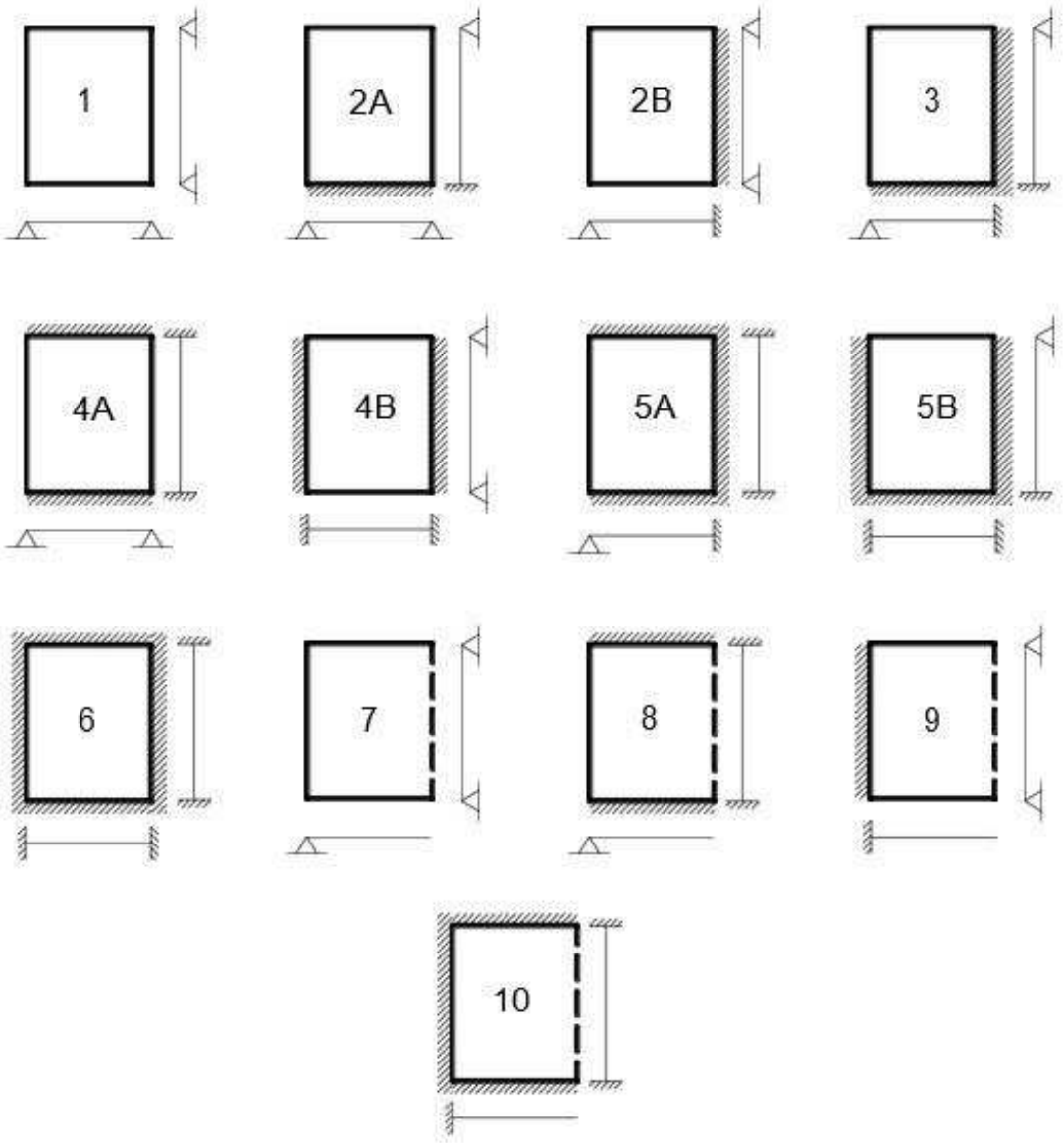
Figura 21: Convenção de estilo de linha para os vínculos engaste perfeito, apoio simples e borda livre



Fonte: BARÉS, 1972

Com várias combinações possíveis de vínculos nas quatro bordas das lajes retangulares, ordenaram-se em números as diferentes combinações dos vínculos nas bordas, como indicado na figura 22.

Figura 22: Tipos de lajes em função dos seus vínculos nas bordas



Fonte: BARÉS, 1972

11. AÇÕES NAS LAJES

A estrutura das lajes deve ser dimensionada levando-se em consideração as ações ou carregamentos sendo dos mais variados, desde pessoas, móveis, equipamentos, divisórias, tubulações, etc. Essa estrutura tem como principal função receber essas cargas de utilização e transmiti-las para os apoios, geralmente vigas nas bordas, e ainda nos edifícios, as lajes podem funcionar atuando como diafragmas rígidos (elemento de rigidez infinita no seu próprio plano), distribuindo os esforços horizontais do vento para as estruturas de contraventamento (pórticos, paredes, núcleos de rigidez, etc.), responsáveis pela estabilidade global dos edifícios.

Para determinação dos carregamentos atuantes nas lajes deve-se recorrer às normas NBR 6118, NBR 8681 e NBR 6120, entre outras pertinentes. Cada ação nas lajes deve ser cuidadosamente avaliada, se no caso as normas brasileiras não tratarem de cargas específicas, pode-se recorrer a normas estrangeiras, em bibliografias especializadas e com a devida informação dos fabricantes dos materiais que poderão dar ações de sobrecarga nas lajes que serão executadas nas obras.

Nas construções de edifícios comuns, as principais ações a serem consideradas são as ações permanentes (g) e as ações variáveis (q), chamadas pela norma de carga acidental, termo esse inadequado.

11.1. Ações permanentes nas lajes

As principais ações permanentes diretas que devem ser verificadas e determinadas são: peso próprio, contrapiso, revestimento do teto, piso, paredes.

- Peso Próprio

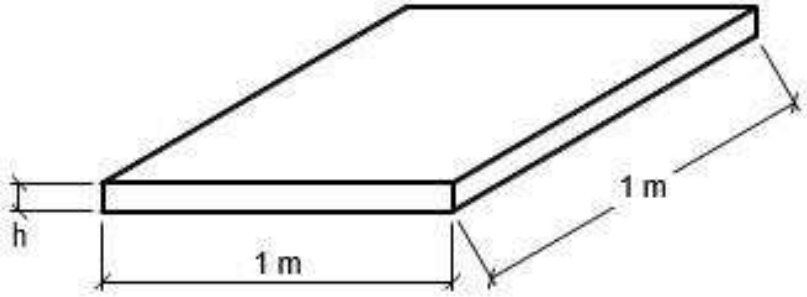
O peso próprio da laje é calculado como o peso do concreto armado que forma a laje, na simplificação e segurança dos cálculos pode-se trabalhar como a laje maciça onde o peso específico do concreto armado (γ_{conc}) indicado pela NBR 6118 é 25kN/m³. Logo o peso próprio da laje (g_{pp}) é:

$$g_{pp} = \gamma_{conc} \cdot h = 25 \cdot h$$

Com: g_{pp}= peso próprio da laje (kN/m²);

h = altura da laje (m).

Figura 23: Peso próprio da laje calculado por metro quadrado



Fonte: BASTOS, 2015

- Contrapiso

É a camada de argamassa colocada na superfície superior logo acima do concreto da laje, também recebe o nome de camada de regularização ou de argamassa. Segue-se o mesmo princípio do cálculo do peso próprio da laje, só que a espessura mínima que se deve considerar é de 3cm com um traço comumente de 1:3 (em volume), sendo considerado o peso específico dessa camada (γ_{contr}) de 21kN/m³, conforme a NBR 6120. Essa ação permanente é calculada em função da espessura (e) do contrapiso.

$$g_{contr} = \gamma_{contr} \cdot e = 21 \cdot e$$

Com: g_{contr} = carga permanente do contrapiso (kN/m²);
e = espessura do contrapiso (m).

- Revestimento do teto

Camada localizada na face inferior da laje (teto do pavimento inferior) com um padrão de revestimento com camada de argamassa e chapisco seguindo o modelo de cálculo anterior, mas com recomendação de espessura superior a 1,5 ou 2cm no cálculo. Usando-se de argamassa pouco rica em cimento, pode-se considerar o peso específico ($\gamma_{rev\ teto}$) de 19KN/m³, logo sua carga permanente é:

$$g_{rev\ teto} = \gamma_{rev} \cdot e = 19 \cdot e$$

Com: $g_{rev\ teto}$ = carga permanente do revestimento do teto (kN/m²);
e = espessura do revestimento (m).

- Piso

É o revestimento final da superfície superior da laje já assentado sobre a argamassa de regularização. Para esse cálculo é necessário definir o tipo de material do qual o piso é composto, o que normalmente é feito com o auxílio do projeto arquitetônico. Na Tabela 1 da NBR 6120 fornece o peso específico de diversos materiais, esses valores podem auxiliar no cálculo seguindo os mesmos raciocínios anteriores.

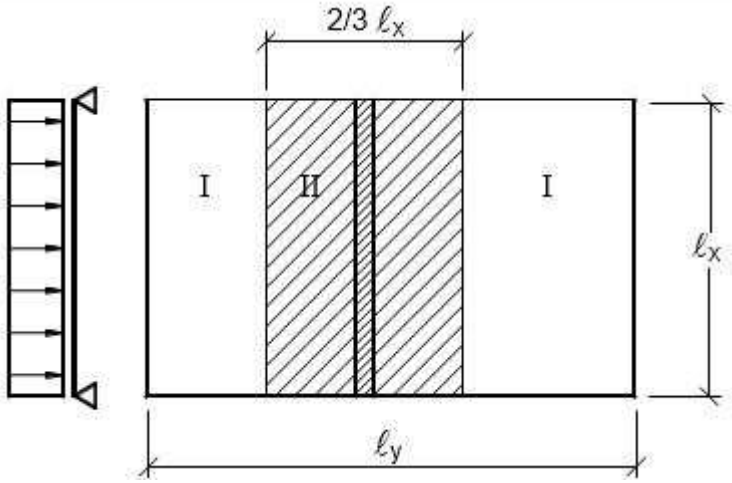
- Paredes

Esse tipo de cálculo é apresentado conforme suas dimensões, disposição e extensão da parede sobre a laje, assim como peso específico sendo dado em função do peso total da parede, sabendo-se das unidades de alvenaria, argamassa e revestimento ou pelos pesos

específicos de cada material que a compõe visto individualmente. Essa carga das paredes também vai variar em função da laje ser armada em uma ou duas direções.

Na armação em uma direção temos dois casos a serem analisados que seguem a disposição da parede sobre a laje. No caso da parede paralela a direção principal da laje (dimensão do menor vão), simplifica-se a carga da parede distribuída uniformemente numa área da laje adjacente a parede, com largura de 2/3 l_x conforme a figura 24.

Figura 24: Parede paralela à direção principal da laje armada em uma direção



Fonte: BASTOS, 2015

Como pode-se ver, a laje fica com duas regiões com carregamentos diferentes, onde na região I não ocorre a carga da parede já que fica limitada apenas à região II. Portanto, os cálculos dos esforços solicitantes serão feitos, para as regiões I e II conforme a fórmula presentada abaixo.

$$g_{par} = \frac{P_{par}}{\frac{2}{3} \cdot l_x \cdot l_x} = \frac{3P_{par}}{2 \cdot {l_x}^2}$$

Com: g_{par} = carga uniforme da parede na laje (kN/m²);

P_{par} = peso da parede (kN);

l_x = menor vão da laje (m).

Já no outro caso onde a parede esta perpendicular a direção principal da laje, teremos a carga como uma força centrada na viga que representa a laje onde o valor da força é representada na fórmula abaixo com a indicação desse caso na figura 25.

$$P = \gamma_{alv} \cdot e \cdot h$$

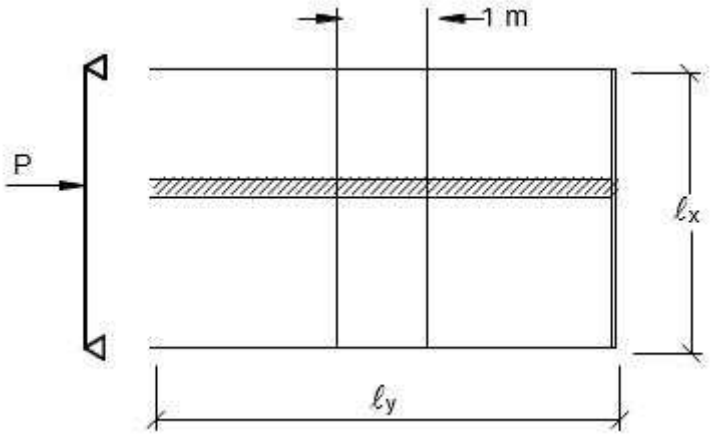
Com: P = força concentrada representativa na parede (kN);

γ_{alv} = peso específico da parede (kN/m³);

e = espessura da parede (m);

h = altura da parede (m).

Figura 25: Parede perpendicular à direção principal da laje armada em uma direção



Fonte: BASTOS, 2015

Na laje armada em duas direções considera-se a simplificação da carga da parede uniformemente distribuída na área da laje (A_{laje}) em metros quadrados, onde seu peso total é dividido por essa área sendo representado pela seguinte equação.

$$g_{par} = \frac{P_{par}}{A_{laje}} = \frac{\gamma_{alv} \cdot e \cdot h \cdot l}{A_{laje}}$$

Com: g_{par} = carga uniforme da parede (kN/m²);

γ_{alv} = peso específico da alvenaria que compões a parede;

e = espessura total da parede (m);

h = altura da parede (m);

l = comprimento da parede sobre a laje (m).

Ainda com a aplicação das cargas permanentes, devemos lembrar que para o estudo da laje solar teremos o bloco de vidro gerando um carregamento que pode ser considerado no cálculo das cargas permanentes dependendo do tipo de laje. Esse tipo de cálculo levará em consideração os mesmos princípios apresentados anteriormente com o peso específico e suas dimensões e disposição dos blocos sobre a lajes que serão mencionados na parte dos ensaios e detalhes dos mesmos posteriormente.

11.2. Ações variáveis nas lajes

Na NBR 6120 (item 2.2) temos a ação variável nas lajes considerada como "carga acidental" que na prática também pode-se chamar "sobrecarga", sendo definida por essa norma como "toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, etc.). As cargas verticais que se consideram atuando nos pisos de edificações, além das que se aplicam em caráter especial, referem-se a carregamentos devidos a pessoas, móveis, utensílios materiais diversos e veículos, e são supostas uniformemente distribuídas, com os valores mínimos indicados na Tabela 2". Essa tabela pode ser resumida da seguinte forma:

Tabela 1: Cargas variáveis nas lajes em ambiente arquitetônico

Corredores	Com acesso ao público	3,0kN/m²
	Sem acesso ao público	2,5kN/m²
Edifícios Residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5kN/m²
	Dispensa, lavanderia, varanda, área de serviço	2,0kN/m²

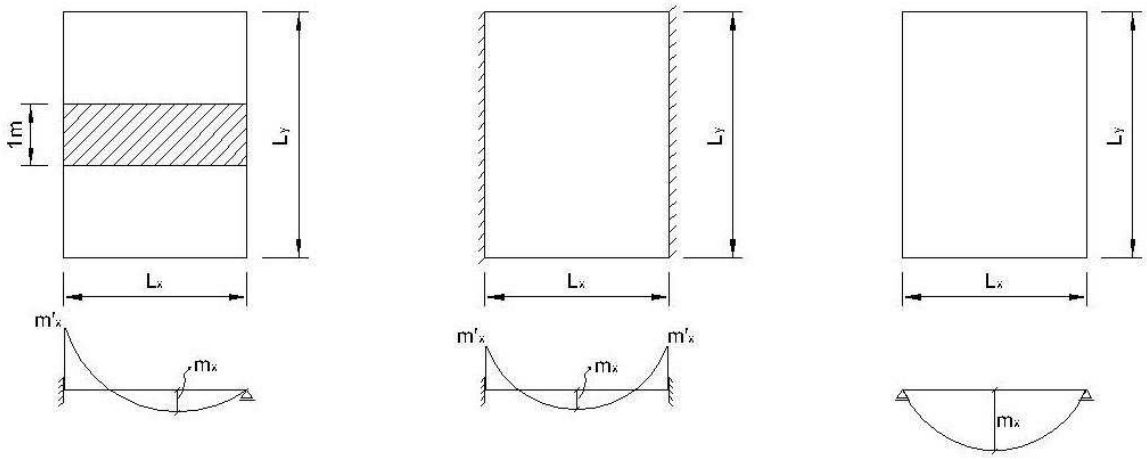
Fonte: NBR 6120

12. MOMENTOS FLETORES EM LAJES

Nesse cálculo iremos utilizar os modelos mais comuns para armação em uma direção com lajes isoladas e contínuas, assim com armadas em duas direções expondo alguns métodos de cálculo.

Para condição da armação em uma direção tem-se a situação da laje isolada onde os esforços são calculados para faixa de largura de 1m como mostra a figura 26.

Figura 26: Momentos fletores em lajes isoladas



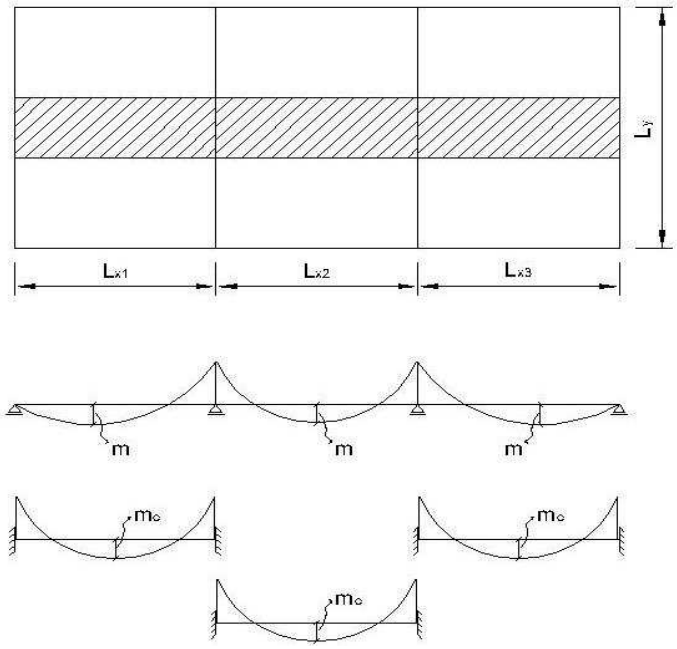
$$m'_x = \frac{p \cdot l^2_x}{8} \qquad m'_x = \frac{p \cdot l^2_x}{12} \qquad m_x = \frac{p \cdot l^2_x}{8}$$

$$m_x = \frac{p \cdot l^2_x}{14{,}22} \qquad m_x = \frac{p \cdot l^2_x}{24}$$

Fonte: Autor (2016)

Na situação com duas bordas livres podemos utilizar o cálculo de laje contínua supondo uma viga contínua com largura de um metro, na direção dos vãos dos apoios considerando a relação dos momentos no meio do vão maiores ou iguais aos momentos gerados na situação dos dois apoios engastados mostrados na figura 27.

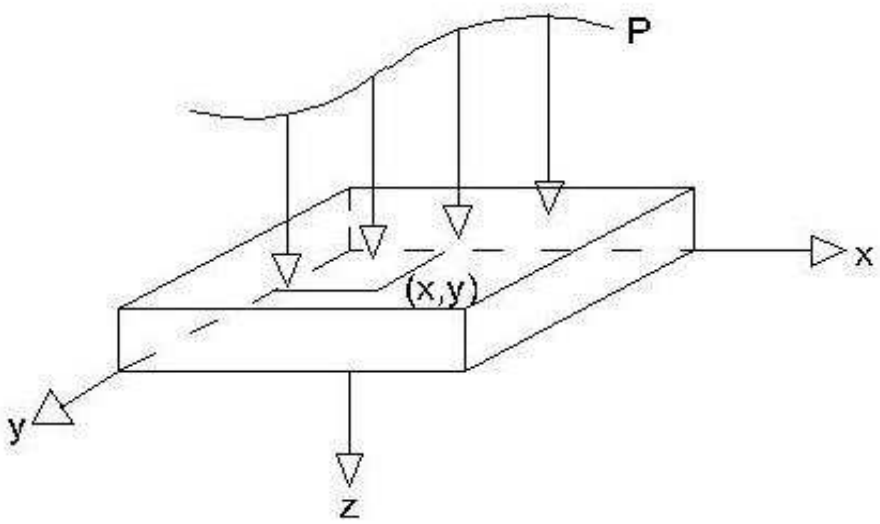
Figura 27: Momentos fletores nas lajes contínuas



Fonte: Autor (2016)

No caso das lajes armadas em duas direções temos os método da ruptura calculando os esforços através da charneiras plásticas. Outro método é o da teoria elástica clássica de lajes ou teoria de Kirchhoff que usa das fórmulas de acordo com a figura 28.

Figura 28: Placa esquemática da teoria de Kirchhoff



Fonte: REDDY, 2007

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = -\frac{p}{D} \qquad D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - p^2)}$$

Com: w = deslocamento vertical da placa;
p = carregamento da placa;
D = rigidez da placa à flexão.

Outros métodos como elementos finitos, elementos de contorno, analogia de grelha (grelha equivalente) e soluções trigonométricas também podem ser aplicados nesse estudo. A norma utiliza-se desse métodos assim como os métodos das diferenças finitas e soluções por séries trigonométricas para confecção das tabelas e casos possíveis de aplicações de lajes como a tabela de Bares já mostrada anteriormente com as seguintes fórmulas:

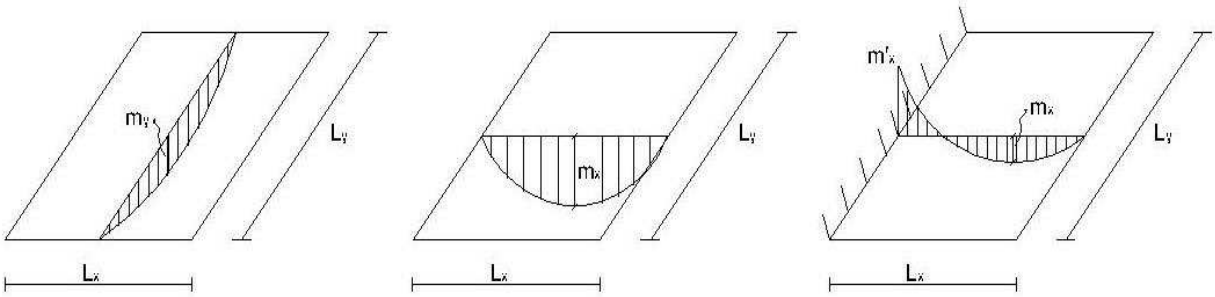
$$m_x = \mu_x \cdot \frac{p \cdot {l^2}_x}{100} \qquad {m'}_x = {\mu'}_x \cdot \frac{p \cdot {l^2}_x}{100}$$

$$m_y = \mu_y \cdot \frac{p \cdot {l^2}_x}{100} \qquad {m'}_y = {\mu'}_y \cdot \frac{p \cdot {l^2}_x}{100}$$

Com: m_x, m_y = momentos máximos no meio da laje;

m'_x, m'_y = momentos máximos no engaste da laje.

Figura 29: Situações de momentos nas lajes



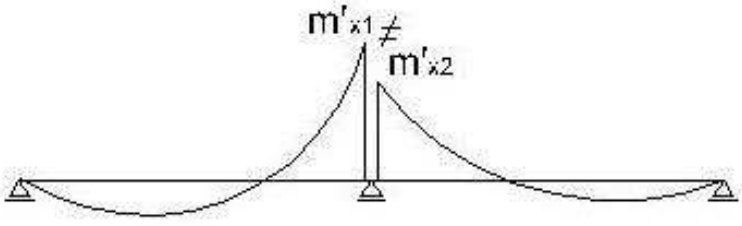
Fonte: Autor (2016)

12.1. Compatibilização dos Momentos

Após o cálculo dos momentos observa-se casos de diferenças nos momentos das lajes para uma mesma viga de apoio, neste tipo de situação a norma estabelece a compatibilização dos momentos fletores para essa correção.

m'_x é o maior valor entre $\begin{cases} \frac{m'_{x1}+m'_{x2}}{2} \\ 80\%\ do\ maior\ momento\ entre\ m'_{x1}\ e\ m'_{x2} \end{cases}$

Figura 30: Situação para compatibilização dos momentos



Fonte: Autor (2016)

13. CÁLCULO DAS ARMADURAS DAS LAJES

Nesse cálculo temos o auxílio da NBR 6118 para a determinação dos coeficientes de cálculos utilizados na área da armação (As) da laje, onde determinando-se o "Kmd" acha-se o valor de "kz" pela tabela da norma e calcula-se o As dados nas fórmulas abaixo:

$$K_{md} = \frac{M_{sd}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2} \qquad A_s = \frac{M_{sd}}{k_z \cdot d \cdot f_{yd}}$$

Onde $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$ $M_{sd} = M_s \cdot 1,4$

Sendo: M_{sd} = momento resistente de cálculo; d = altura da seção útil;

f_{cd} = resistência de cálculo do concreto; f_{ck} = resistência característica do concreto;

f_{yd} = resistência de cálculo do aço; f_{yk} = resistência característica do aço.

14.DISPOSIÇÕES GERAIS PARA O DETALHAMENTO

Nesse tópico do detalhamento das armaduras nas lajes temos as condições estabelecidas em norma para cada aspecto e disposição das barras de ferro com intervalos de máximo e mínimo para diâmetros, espaçamentos e armações.

a) Diâmetro máximo e mínimo:

Diâmetro máximo: $\emptyset_{máx} \leq \frac{h}{8}$ onde h é a altura da laje.

Diâmetro mínimo: na prática o $\emptyset_{min} = 5,0mm$, para diâmetros menores recomenda-se a utilização de telas soldadas.

b) Espaçamento máximo e mínimo:

No espaçamento máximo temos:

- Para lajes armadas em duas direções: $s_{máx} \leq \begin{cases} 20cm \\ 2 \cdot h \end{cases}$
- Para lajes armadas em um direção:

Armadura principal $\leq \begin{cases} 20cm \\ 2 \cdot h \end{cases}$ Armadura secundária $s_{máx} \leq 33cm$

O espaçamento mínimo não é estipulado na norma, mas na prática $s_{min} \geq 8cm$.

c) Armações máximas e mínimas:

A armação mínima pode ser calculada através do momento mínimo dado pela seguinte fórmula:

$$M_{d,min} = 0{,}8 \cdot w_o \cdot f_{ctk,sup}$$

Onde a taxa mínima de flexão ρ_{min} em hipótese nenhuma pode ser menor que 0,15% com a representação do quadro mostrado abaixo para seus respectivos valores conforme o tipo de concreto.

Quadro 01: Valores da taxa de armadura mínima de flexão

$\rho_{min} = A_{smin}/A_c \quad (\%)$				
C20	C25	C30	C35	C40
0,150	0,150	0,150	0,164	0,174

Fonte: NBR 6118

Vale lembrar que nessas disposições das armaduras nas lajes pode-se analisar a aplicação dos blocos de vidro em lajes maciças ou lisas com a devida organização dos espaçamentos das armaduras da laje obedecendo os limites máximos e mínimos estabelecidos pela norma.

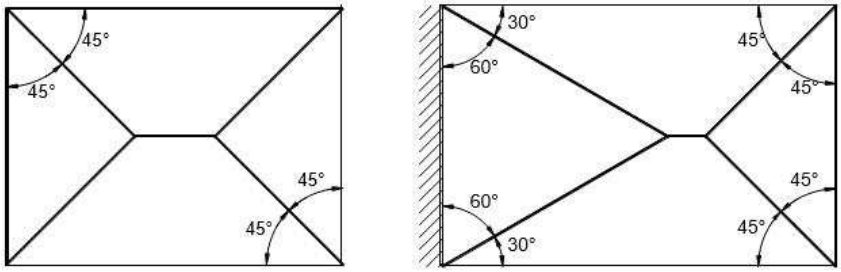
15. REAÇÕES NAS LAJES DE CONCRETO ARMADO

Como a distribuição das reações nas lajes não são uniformes, deve-se verificar as possíveis linhas de ruptura dessa estrutura com suas ações e reações segundo a NBR 6118: 2014 no seu item 14.7.

As reações para os apoios nas lajes correspondem a triângulos e trapézios formando charneiras plásticas provenientes da análise plástica da mesma. Nessa análise temos as linha de ruptura, de maneira aproximada, seguindo os seguintes ângulos a partir dos vértices:

- 45° se os apoios adjacentes forem do mesmo tipo;
- 60° a partir do apoio engastado se o outro for apoiado;
- 90° a partir do apoio se a outra borda for livre.

Figura 31: Exemplos de linhas de ruptura nas lajes



Fonte: BASTOS, 2015

É importante lembrar que para efeito de cálculo, nas lajes solares usa-se esse modelo da norma para as linhas de ruptura. Com essas linhas conseguiremos calcular a área das reações dos apoios das lajes.

16.ESPECIFICAÇÕES DA ANÁLISE ESTRUTURAL DA LAJE LISA

Nessas especificações podemos destacar que seu estudo estrutural é similar ao apresentado anteriormente nas fórmulas do cálculo da laje com destaque que a abertura nesse tipo de laje para a colocação do suporte com tijolo de vidro deve ser evitado nas proximidades com os pilares.

Na maioria das lajes as aberturas são necessárias no caso da passagem das instalações prediais, mas de acordo com a NBR 6118 no item 13.2.5, prescreve que, quando forem previstos furos e aberturas em elementos estruturais, seu efeito na resistência e na deformação deve ser previsto pela norma sem ultrapassar seus limites conforme mostrado abaixo:

- A dimensão das aberturas normais ao plano médio da laje, não deve ultrapassar 1/10 do menor vão, em cada direção da armadura;
- Não deve haver entre duas aberturas com distância inferior a ½ vão;
- Entre uma borda livre e a abertura, a distância não deve ser menor que ¼ do vão na direção considerada.

Essas verificações são obrigatórias em lajes lisas ou lajes-cogumelo, mas podem ser dispensadas para outros tipos de lajes. Também temos no item 21.3.4 da NBR 6118 as seguintes condições que devem ser respeitadas em qualquer situação:

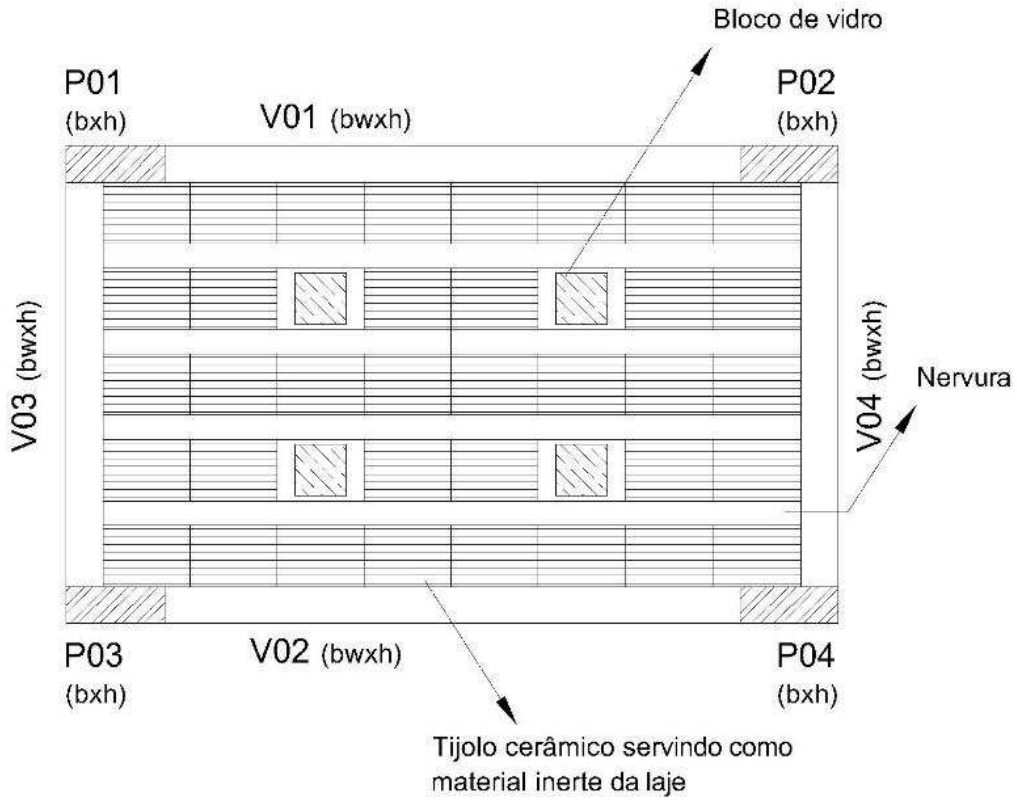
- A seção de concreto remanescente na parte central ou sobre o apoio da laje deve ser capaz de equilibrar os esforços no estado limite último, correspondente a essa seção sem aberturas;

- As seções das armaduras interrompidas devem ser substituídas por seções equivalentes de reforço, devidamente ancoradas;
- Ao caso de aberturas em regiões próximas a pilares, nas lajes lisas ou cogumelo, o modelo de cálculo deve prever o equilíbrio das forças cortantes atuantes nessas regiões.

17. ANÁLISE ESTRUTURAL DAS LAJES NERVURADAS COM BLOCOS DE VIDRO

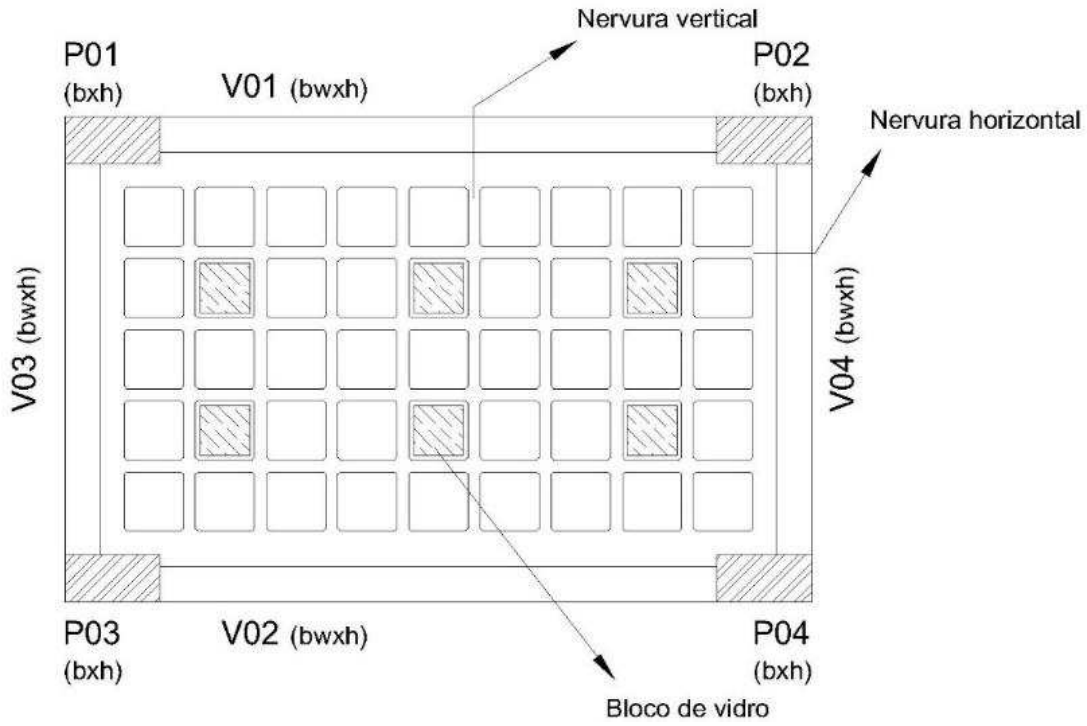
Com relação as lajes nervuradas moldadas no local, tem-se a disposição das nervuras armadas em uma direção ou em duas direções. No primeiro caso acontece normalmente da posição das nervuras estarem dispostas pro vão menor da laje, seu comportamento estrutural são de vigas simplesmente apoiadas e independentes, como indica a NBR 6118:2014, no seu item 14.7.7, quando prescreve que as lajes nervuradas unidirecionais devem ser calculadas segundo a direção das nervuras e desprezadas a rigidez transversal e a rigidez à torção. Já nas lajes armadas em duas direções, suas nervuras formam um malha quase sempre retangular como vistas nas figuras 32 e 33.

Figura 32: Laje Nervurada Armada em uma direção



Fonte: Autor (2016)

Figura 33: Laje Nervurada Armada em duas direções

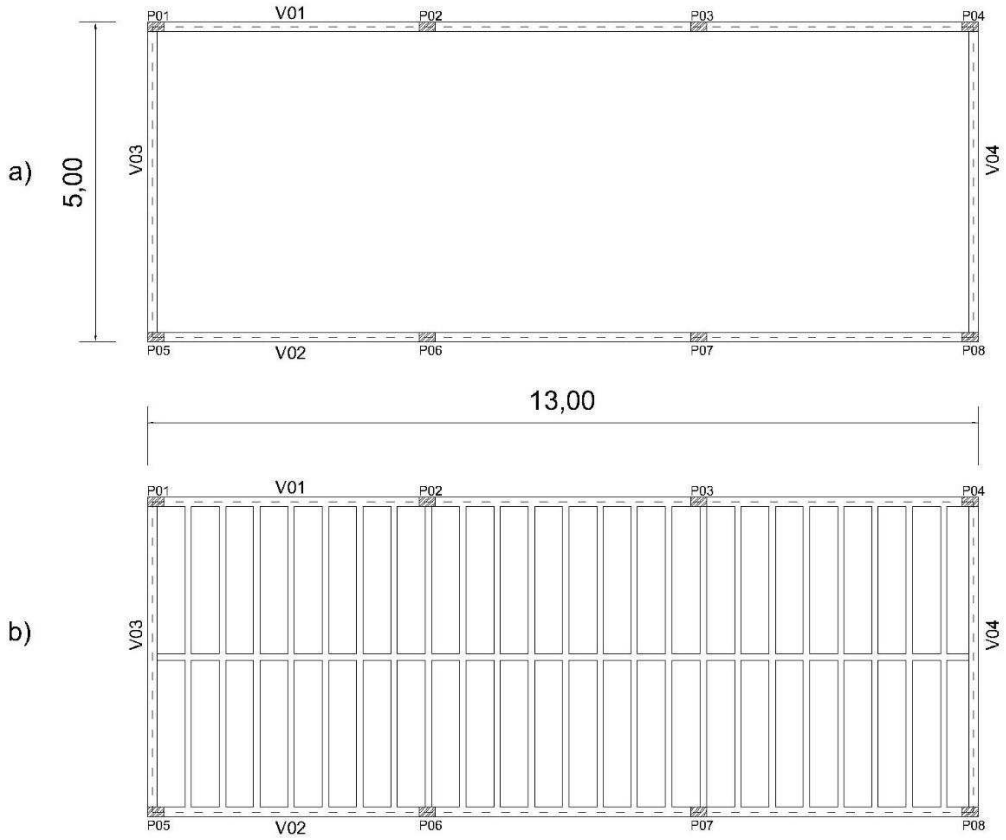


Fonte: Autor (2016)

No cálculo do cisalhamento, as nervuras posicionadas em apenas uma direção podem ser consideradas como vigas ou como lajes dependendo de seu espaçamento, já no cálculo da flexão e verificação das flechas admite-se a seção transversal em forma de "**T**". A escolha das nervuras em uma direção são normalmente aplicadas quando se quer executar lajes com um de seus vãos bem maior que o outro, mas o menor vão também é de valor elevado podendo ter uma carga de grande intensidade.

É interessante destacar a antiga recomendação da NBR 6118:1980 (versão substituída), de que nas lajes nervuradas em uma direção, moldadas no local, sempre que houvessem cargas concentradas a serem distribuídas ou quando o vão teórico fosse superior a 4m eram necessárias nervuras transversais e com exigência de no mínimo duas nervuras se esse vão ultrapassa-se 6m, como mostrado na figura abaixo. Na atual NBR 6118:2014 essas recomendações não são mais necessárias.

Figura 34: a) pavimento a ser executado b) solução de laje nervurada uma direção



Fonte: CARVALHO & PINHEIRO, 2009

Devem ser usadas as lajes nervuradas em duas direções quando a relação entre os dois vãos não for superior a 2, isso implicará numa diminuição de esforços e deformações na laje com uma melhor distribuição das reações em todo contorno. A disposição das nervuras normalmente são ortogonais entre si, mas bibliografias antigas mostram casos que não seguem essa regra, nesses casos especiais podemos ter vantagens estruturais, mas nada que compense já que esses tipos de estruturas são de difícil execução.

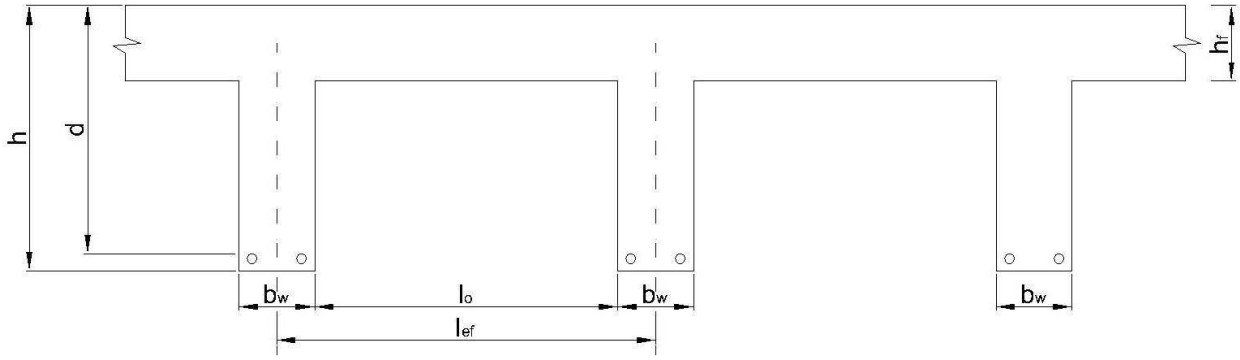
Figura 35: Laje com nervuras bidirecionais ortogonais entre si

Fonte: FRANCA & FUSCO, 1997

Um modelo apropriado para esse tipo de situação é o de grelha equivalente a situação proposta. Neste caso as nervuras farão o papel de barras levando em conta a rigidez considerando as vigas de contorno como parte intrínseca da estrutura e deformáveis verticalmente. Para os cálculos dos esforço e deslocamentos como grelha, devido à grande quantidade de nervuras, é necessário o uso de programas computacionais com o fornecimento das características geométricas e cargas atuantes.

Nas prescrições geométricas e construtivas das lajes nervuradas segundo a NBR 6118:2014, temos as seguintes condições:

Figura 36: Seção de laje nervurada



Fonte: Autor (2016)

- Altura mínima da mesa (h_f)

  - sem tubulação passando pela mesa: $\begin{cases} h_f \geq \frac{lo}{15} \\ h_f \geq 4cm \end{cases}$

  - com tubulação passando pela mesa:

  Se $\emptyset \leq 10mm \rightarrow h_f \geq 5cm$

  Se $\emptyset \geq 10mm \begin{cases} h_f \geq 4cm + \emptyset \quad com\ tubulação\ em\ um\ sentido \\ h_f \geq 4cm + 2 \cdot \emptyset \quad com\ tubulações\ se\ cruzando \end{cases}$

- Largura da Nervura (b_w)

$$b_w \geq 5cm$$

Se $b_w < 8cm$ não se deve usar armadura dupla na nervura.

- Espaçamento entre nervuras (l_{ef})

a) Se $l_{ef} \leq 65cm$

A capa de concreto não deve ser verificada a flexão.

As nervuras devem ser verificadas quanto ao cisalhamento pelo critério das lajes.

b) Se $65cm < l_{ef} \leq 110cm$

A capa de concreto deve ser verificada quanto a flexão.

As nervuras devem ser verificadas quanto ao cisalhamento pelo critério das vigas.

Se $l_{ef} < 90cm$ e $b_w > 12cm$, considera-se o cálculo do cisalhamento pelo critério das lajes.

c) Se $l_{ef} > 110cm$

As capas devem ser calculadas como lajes apoiadas em grelhas de vigas.

17.1. Modelos de cálculos

Todos os critérios estabelecidos para as lajes maciças já faladas na análise estrutural anterior, também podem ser considerados para lajes nervuradas desde que sejam respeitados esses limites estabelecidos pela norma. Se não forem respeitados os limites da norma, as lajes devem ser calculadas como lajes apoiadas em grelhas de viga como já foi falado.

Também devemos usar o critério de Hahn a favor da segurança representado na fórmula abaixo:

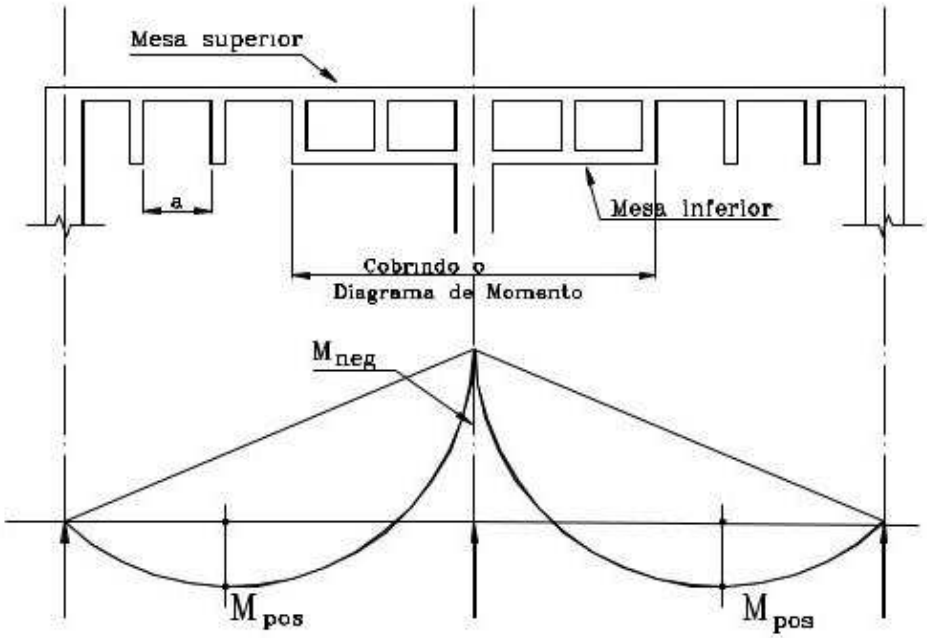
$$\delta = \frac{1}{1 - \left(\frac{5}{6} \cdot \frac{\varepsilon^2}{1 + \varepsilon^4}\right)}$$

Onde $\varepsilon = \frac{1}{\lambda} = \frac{l_x}{l_y}$

Quanto a vinculação, procura-se evitar engastes e balanços nas lajes nervuradas, visto que, nesses caso, haverá compressão na face inferior onde normalmente a área de concreto é reduzida. Quando necessário o engastamento, são possíveis tomar duas providências:

- Limitar o momento fletor correspondendo ao valor da resistência da nervura à compressão;
- Utilizar a mesa na parte inferior conforme a figura 37, nessa situação chama-se como laje dupla, ou região maciça de dimensão adequada.

Figura 37: Diagrama do momento para lajes nervuradas contínuas



Fonte: Libânio M. Pinheiro, Julio A. Razente, 2003

17.2. Aplicação do material inerte na laje nervurada

Como já visto, o material de enchimento nesse tipo de laje não é representado na análise estrutural da laje, por isso deve-se ter em mente que a escolha desse material, além de reduzir o consumo de concreto, deve possuir um peso específico de preferência inferior ao do concreto para que se tenha um alívio no carregamento. Alguns dos materiais utilizados são: blocos cerâmicos, EPS, caixotes reaproveitáveis e ainda temos o bloco de vidro (pouco utilizado no Brasil).

No caso dos blocos de EPS, temos as seguintes características:

- Facilidade de corte com serra ou com fio quente;
- Baixo módulo de elasticidade, permitindo uma adequada distribuição das cargas;
- Permite uma execução de teto plano;
- Isolante termo-acústico;
- Baixa absorção, que favorece a cura do concreto moldado no local;
- Resistência adequada às operações de montagem das armaduras e da concretagem, com vedação eficiente.

Figura 38: Blocos de EPS com vigotas treliçadas

Fonte: FRANCA & FUSCO, 1997

Nos caixotes reaproveitáveis, temos como principal vantagem seus vazios que diminuem o peso próprio da laje. Após sua execução pode-se fazer o reaproveitamento com a retirada dos caixotes, injetando ar comprimido. O número de reutilizações dessas formas pode ultrapassar cem vezes, o que torna muito viável economicamente.

Para os blocos cerâmicos, em geral são usados normalmente nas lajes com vigotas pré-moldadas (conforme figura 39) devido a facilidade de execução. Esse material é um bom isolante térmico, mas apresenta um elevado peso específico para ser aplicado como material de enchimento. Sua combinação com blocos de vidro torna-se ideal para montagem da laje solar, pois seu encaixe com o suporte do tijolo de vidro dão uma boa vedação em comparação com os outros materiais.

Figura 39: Laje com vigotas pré-moldadas

Fonte: PEREIRA, 2001

Figura 40: Adequação do bloco cerâmico com o bloco de vidro

Fonte: Página da Laje Solar[9]

18. ESPECIFICAÇÕES DO BLOCO DE VIDRO

Esse material como suporte para executar a laje solar apresenta formato quadrado com dimensões de 19 x 19 x 8cm tendo a massa de cada bloco com 2,5 Kg com acabamento transparente e desenho ondulado na superfície. A principal função desses tijolos de vidro é isolar o ambiente sem bloquear a passagem de luz, por isso as peças são fabricados ocas e fechadas apenas com ar rarefeito no interior, formando células de isolamento muito mais eficientes para isolamento térmico e acústico do que tijolos comuns de alvenaria.

O vidro desse material, além de proporcionar versatilidade estética e funcional, é extremamente resistente a agentes químicos como poeira, maresia e produtos de limpeza, sendo muito fácil de limpar e mantendo a transparência por muitos anos.

Devido a essas características, esses blocos são amplamente utilizados na decoração de diversos ambientes onde se deseja manter a iluminação natural, ou mesmo criar efeitos de

[9] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.

iluminação artificial. É perfeitamente aplicável em paredes internas, externas, fachadas, divisórias, escadarias e lajes, trazendo sofisticação ao ambiente, seja residencial ou comercial.

Utilizando-se desses blocos de vidro tem-se especificações das diversas marcas desse material, como exemplo os blocos de vidros das marcas Sky, Mardex, Wave, Gringer Clear Cloudy entre outros. Seus fabricantes afirmam que esse material pode aproveitar até 75% da luminosidade natural externa ou de ambientes vizinhos. Além disso, é possível beneficiar-se do controle de temperatura e isolamento acústico.

Cada tijolo de vidro é fabricado por processo de fundição de duas partes de vidro a alta temperatura, utilizando vidro reciclado, areia especial (sílica), calcário e sódio. As duas metades idênticas de vidro são conformadas por prensagem para adquirir o formato quadrado e com o desenho ondulado característico, e depois são unidas por aquecimento e fusão da junta, formando assim peças ocas e estanques, ou seja, completamente vedadas do ar e da umidade externa.

Esse processo de fabricação proporciona peças com alta precisão dimensional, gerando tijolos praticamente idênticos e que se encaixam perfeitamente um ao outro, extinguindo defeitos indesejados se aplicados em paredes como o caso tijolos deslocados, fora de prumo, ou mesmo abaulamentos na parede.

No caso da aplicação desse material nas lajes, teremos um suporte que auxiliará o encaixe do bloco de vidro na laje para se adequar com o concreto e outros blocos (no caso das lajes nervuradas). Esse suporte apresenta sua composição de polipropileno ABS injetado onde recomenda-se o uso de silicone para vedar os blocos com esse suporte na hora da execução da laje solar.

Figura 41: Bloco de vidro (imagem à direita) e seu suporte para laje solar (imagem à esquerda)

Fonte: Página da Laje Solar[10]

[10] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.

19. ENSAIOS DE LABORATÓRIO FEITOS COM O BLOCO DE VIDRO

Visando verificar as informações dos fabricantes dos blocos de vidro, tem-se os ensaios de laboratório como alternativa para adquirir dados que testarão a veracidade dos valores informados no catálogo do produto, alguns questionamentos devem ser feitos já que podem existir maneiras diferentes de se obter o mesmo dado. Com esses questionamentos podemos considerar margens de erros que se adequem as normas dos ensaios.

19.1. Ensaio de resistência a compressão

Nesse ensaio verificaremos a reação do bloco de vidro quando comprimido, já que o objetivo do teste é analisar se esse material é compatível com um elemento estrutural que possa comportar as cargas de pessoas passando encima da laje solar. Esse estudo será realizado aproveitando os equipamentos do laboratório de concreto da Universidade Estadual do Maranhão, por esse motivo faremos a adaptação da NBR 5739: 2007 para elaborar esse ensaio utilizando-se da prensa que foi o único maquinário do laboratório que poderia representar melhor esse teste, já que o mesmo é feito para medir a compressão em corpos de prova.

Os procedimentos realizados no ensaio tem como meta atingir o carregamento de 200kg/m² que condiz com carga de pessoas passando sobre a laje. As etapas do ensaio foram realizadas com o auxílio do monitor do laboratório, onde preparou-se a prensa colocando o suporte de apoio para o corpo de prova (bloco de vidro), logo em seguida fechou-se o gradeado que serve de proteção para barrar os estilhaços que o bloco de vidro geraria ao se romper e marcou-se o valor do medidor de compressão do equipamento.

Figura 42: Imagens da prensa com a colocação do suporte de apoio do corpo de prova

Fonte: Autor (2016)

Figura 43: Colocação do bloco de vidro na prensa (imagem à esquerda) e seu rompimento (imagem à esquerda)

Fonte: Autor (2016)

Após a marcação do valor da compressão conforme visto na imagem acima com o resultado de 0.49 temos a interpretação desse resultado conforme a calibração do equipamento, já que a NBR 5739: 2007 afirma que sob condições normais o resultado dado no leitor do equipamento deve ser corrigido conforme a ABNT NBR NM ISO 7500-1 dada pela equação abaixo:

$$y = \frac{1000 \cdot a \cdot x + b}{1000}$$

Onde: a = 0,995748025 e b = 90,48117943 sendo valores fixos especificados na prensa;

"x" é a carga lida no leitor do equipamento;

"y" é a carga corrigida.

Substituindo esses valores na fórmula obtemos:

$$y = \frac{1000 \cdot 0{,}995748025 \cdot x + 90{,}48117943}{1000} \quad \therefore \quad y = 0{,}5784\ kgf$$

Esse valor corrigido corresponde a resistência do corpo de prova para a área correspondente a compressão. Nessa situação a NBR 5739 diz que o valor preciso da unidade de compressão deve estar em megapascals (Mpa) e para isso o cálculo da resistência deve estar

ser dividido pelo valor da área de compressão. Como o suporte de apoio do corpo de prova apresenta a menor área com diâmetro de 7,5cm, logo será esta a área que corresponderá ao cálculo.

$$A_s = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0{,}075^2}{4} = 0{,}00442\ m^2$$

$$f_c = \frac{y}{A_s} = \frac{0{,}5784}{0{,}00442} \qquad \therefore \qquad f_c = 130{,}86\ kgf/m^2$$

Onde: A_s é a área do suporte; D = diâmetro do suporte; f_c é a resistência a compressão.

Observa-se que o resultado proposto no ensaio não condiz com a resistência especificada, portanto podemos atribuir alguns questionamentos sobre os dados e elaboração do teste. Temos como primeiro ponto a ser abordado é a questão da NBR 5739: 2007 que serviu como base para o experimento, mas não condiz com a realidade, já que essa norma é utilizada para corpos cilíndricos de concreto diferente de um bloco de vidro.

As adaptações foram necessárias já que esse era o único equipamento disponível no laboratório conforme mencionado antes. Pode-se entender a diferença de material e formato ocasionaram falhas nos cálculos pela diferença do tipo de ruptura do vidro em relação ao concreto, o formato retangular do bloco junto a uma superfície lisa ocasionaram mudanças na centralidade do corpo de prova no momento da compressão.

Outros defeitos podem ser mencionados como os fatores de cálculo “a” e “b” dados na fórmula como valores fixos. Deve-se entender que esses valores podem apresentar resultados imprecisos dependendo da condição do equipamento, recomenda-se intervalos regulares entre ensaios com a prensa para evitar esses erros. A adaptação dessa norma deve ser entendida como uma forma de experimento comparativo entre um bloco homogêneo de vidro e um corpo cilíndrico heterogêneo de concreto.

Segundo a NBR 14899-1:2002 que fala especificamente do Bloco de vidro para construção civil, mostraremos quadros que definem o modelo dos requisitos básico aplicados pelos fabricantes, que segundo a norma atendem os padrões que comprovaram o êxito do bloco de vidro com sua resistência a compressão acima do valor estimado no ensaio (200kg/m²).

Quadro 02: Definições e requisitos para os métodos de ensaio

Forma	Nomenclatura	Comprimento L (mm)	Largura b (mm)	Altura h (mm)	Massa (kg)**
B	90 x 80	90	90	80	1,6
B	146 x 80	146	146	80	1,4
B	146 x 98*	146	146	98	1,6
B	146 x 98*	146	146	98	2,8
B	190 x 50	190	190	50	2,1
B	**190 x 80***	**190**	**190**	**80**	**2,4**
B	**190 x 80***	**190**	**190**	**80**	**2,6**
B	190 x 100*	190	190	100	2,6
B	190 x 100*	190	190	100	5,1
B	197 x 80	197	197	80	2,3
B	197 x 98*	197	197	98	2,7
B	197 x 98*	197	197	98	3,5
B	197 x 98*	197	197	98	4,6
B	240 x 80	240	240	80	4,1
B	300 x 80	300	300	80	6,8
E	190 x 90 x 80	190	90	80	1,4
E	190 x 90 x 90	190	90	90	1,6
E	190 x 95 x 80	190	95	80	1,3
E	197 x 95 x 80	197	95	80	1,4
E	197 x 95 x 98	197	95	98	1,6
E	197 x 146 x 80	197	146	80	1,9
E	197 x 146 x 90	197	146	98	2,0
E	240 x 115 x 80	240	115	80	2,1

**As massas diferentes correspondem a espessuras de vidro diferentes.*
***Tolerância para a massa: ± 10%*

Fonte: NBR 14899-1:2002

Quadro 03: Padrões de resistência a compressão em conformidade com a norma

Forma	Comprimento mm	Resistência à compressão exigida dos blocos de vidro			
		Ensaio feito na face conforme método I (blocos de vidro utilizados na horizontal)		Ensaio feito na lateral conforme método II (blocos de vidro utilizados na vertical)	
		Valor médio MPa	Valor mínimo individual MPa	Valor médio MPa	Valor mínimo individual MPa
B	90 - 149	5,5	4	7	6
B	**150 - 239**	**5**	**3,5**	**7**	**6**
B	240 - 300	4,5	3	7	6
E	Todos	5	3,5	7	6

Fonte: NBR 14899-1:2002

Os valores apresentados em **negrito** nos dois quadros acima, são aqueles que condizem com as especificações dos blocos de vidro apresentados como corpos de prova nos ensaios. Essas informações são as que condizem com a dos fabricantes das marcas dos blocos de vidro apresentadas anteriormente, sendo que os valores não são iguais ao da norma, mas são próximos nunca sendo inferior ao mínimo.

19.2. Ensaio de luminosidade

Nesse ensaio teremos como objetivo analisar a intensidade luminosa nos ambientes para verificarmos e compararmos a luz artificial e a luz natural. Essa análise terá o intuito de confirmar a característica do bloco de vidro quanto a sua viabilidade em proporcionar a luminosidade natural nos ambientes que apresentam a laje solar. É natural que a luz incidida no bloco será uma refletida no ambiente interno como também uma pequena parte dessa energia pode ser retida, mas com esse estudo teremos parâmetros para avaliar o retorno que a eco laje trará em termos energéticos ao longo do tempo.

Devido a necessidade de equipamentos especiais de laboratórios de luminotécnica, realizaremos este ensaio com a disposição de sensores que captam a luz. Medições específicas como feitas nos ensaios Goniofotômetro, Espectrofotômetro e outros, não serão realizados devido à pouca disponibilidade de tais equipamentos para o teste, tais como o TINT TESTER 527. Tal teste será feito em conformidade com NBR 5413:1992 que fala de iluminância de interiores, com aplicativos fundamentados em sensores que captam a luz.

Esses aplicativos para sensores portáteis são uma maneira simples e rápida de se fazer esse teste, mas para que a precisão do aparelho que contenha esses aplicativos seja mais precisa, usaremos de duas opções de aplicativos que são: o "Luxímetro" desenvolvido pela Crunchy ByteBox e o "Physics Toolbox Sensor Suite" desenvolvido pela Vieyra Software conforme mostrado nas figuras abaixo. Seus testes deverão condizer melhor com a realidade e adequação da norma com seus valores na unidade "lux" conforme mostrado na tabela 2.

Figura 44: Interface dos aplicativos: Luxímetro (à esquerda) e Physics Toolbox Sensor Suite (à direita)

Fonte: Página da Microsoft[11]

[11] Disponível em: < https://www.microsoft.com/pt-br/store/p/lux-o-meter/9wzdncrfjvg5> Acesso em out. 2016.

Tabela 2: Iluminâncias por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância (lux)	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 - 30 - 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 - 75 - 100	Orientação simples para permanência curta
	100 - 150 - 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos
	200 - 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 - 750 - 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 - 1500 - 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 - 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	5000 - 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	10000 - 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: NBR 5413

Inicialmente foi feito testes em ambientes caseiros com a incidência da luz artificial nos sensores dos aplicativos abordados para expor de forma comparativa seus valores em conformidade com a tabela da norma, onde será mostrado nas figuras 45 e 46.

Figura 45: Teste dos sensores a luz intensa do abajur, com o sensor do Luxímetro à esquerda e o sensor do Physics Toolbox Sensor Suite à direita

Fonte: Autor (2016)

Percebe-se que a luz intensa do abajur incidindo sobre os sensores proporcionou um alto valor de lux, observando a imagem do sensor Luxímetro atentamente nota-se que seu valor na situação exposta foi de 1964 lux. Com relação a tabela da norma pode-se atribuir essa

luminosidade a tarefas com requisitos especiais. Na figura 46 teremos uma situação comum da luz artificial incidindo num canto de uma escrivaninha, pode-se notar que quanto mais distante do ponto de luz, menor será o valor lido no sensor.

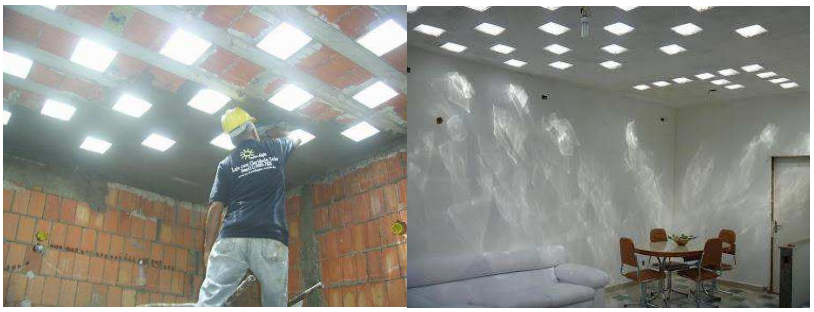
Figura 46: Leitura do sensor no ambiente interno com luz artificial numa escrivaninha a noite

Fonte: Autor (2016)

Sua leitura foi de 372 lux, conforme dito antes, esse baixo valor é devido a distância do ponto luminoso. Com relação a norma, pode-se dizer que ainda estamos nos padrões para o ambiente por conta desses fatores.

Com a confirmação desses respectivos valores, temos a conclusão a respeito da eficiência dos sensores para assim darmos continuidade com o teste da luz natural incidida no ambiente interno com um demonstrativo da reflexão que o bloco de vidro proporciona mostrados nas figuras 47 e 48, junto com a análise experimental do bloco na simulação da laje solar apresentada com os respectivos intervalos da duração da manhã e da tarde.

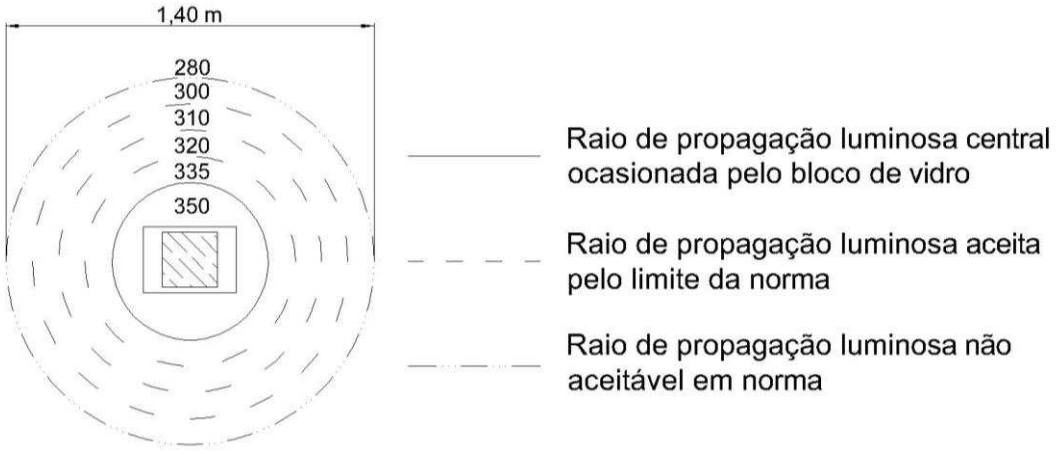
Figura 47: Exemplos da luminosidade natural nas eco lajes



Fonte: Página da Laje Solar[12]

[12] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.

Figura 48: Propagação luminosa do bloco de vidro



Fonte: Autor (2016)

Figura 49: Ensaio de luminosidade feito com os sensores (à esquerda) junto com o melhor resultado (à direita)

Fonte: Autor (2016)

As figuras 48 e 49 mostram como os blocos de vidro refletem a luz nos ambientes internos, assim como a maneira simples que se realizou o ensaio com os sensores de modo comparativa ao exposto anteriormente com a luz artificial. Deve-se ressaltar que a intensidade da luz varia conforme a distância como já foi falado antes, por esse motivo temos o quadro abaixo com os respectivos valores em "lux" dos dois sensores alinhados com o centro do bloco de vidro a uma altura considerável de 76cm (acima do chão) para análise da luminosidade.

Quadro 04: Resultados do teste da luminosidade natural do bloco de vidro

Horas	Valores da intensidade luminosa (lux)	
	Luxímetro	Physics Toolbox Sensor Suite
09:00	297	299
11:00	328	325
14:00	354	353
16:00	262	267

Fonte: Autor (2016)

Pode-se observar que os resultados acima ainda são pouco satisfatórios para a norma se aplicados para áreas comerciais ou de escritórios, mas vários motivos podem ser mencionados para tais resultados. Primeiramente devemos lembra era apenas um ponto luminoso para corresponder ao ambiente todo (de 4,00 x 2,80m), como o objetivo é apenas demonstrativo para os fins do cálculo da economia energética devemos também considerar os fatores climáticos no dia que realizou-se o ensaio, assim como as possíveis passagens de nuvens que diminuem temporariamente a luminosidade e também pequenas alterações que podem afetar a luminosidade como exemplo a cor do revestimento interno.

Com pesquisas mais profundas teremos a melhor aproximação no cálculo que será feito nos próximos tópicos com relação ao tempo de retorno do investimento na aplicação da laje solar. Como qualquer investimento sustentável, pode-se prever variações relativas a quantidade de blocos de vidro colocados na laje em função do tempo de retorno.

20. ISOLAMENTO TÉRMICO E ACÚSTICO DO BLOCO DE VIDRO

Nessa questão pode-se considerar que a eficiência do bloco é boa já que a própria norma NBR 14899-1:2002 menciona que a resistência ao choque térmico do bloco pode ser submetida à variação de temperatura de (47±5)°C para (22±5)°C sem apresentar falhas, assim como o isolamento acústico é beneficiado pela estrutura de paredes de vidro compostas por uma camada de ar entre elas propiciando um isolamento a 100 Hz de 40 dB podendo variar com suas dimensões.

Alguns fabricantes mencionam a eficiência da estrutura do bloco de vidro ondulado com relação ao vidro plano, eles explicam que a transmissão térmica equivalente (U) é 2,8W/m²K para os vidros padrão, e 1,8W/m²K para o bloco, em termos físicos, quanto menor o valor da transmissão térmica equivalente, melhor será o isolamento térmico.

21. PROCESSO DE EXECUÇÃO DA LAJE SOLAR

A simplicidade na execução da eco laje quando trabalhada na laje nervurada pode ser descrita da seguinte maneira: após a execução das nervuras da laje, quando na etapa de colocação das lajotas cerâmicas (material inerte) apenas substitui-se esse bloco no local que se

quer colocar o suporte de eco laje e encaixa o bloco de vidro já podendo avança para concretagem.

Os detalhes podem ser notados na altura e comprimento entre nervuras, no caso se utilizarmos o bloco cerâmico H8 só precisaríamos do suporte e do bloco de vidro na substituição, mas para o bloco H12 deve-se adicionar um prolongador que fica no espaço entre o bloco de vidro e seu suporte, já no caso da H16 vão ser precisos dois prolongadores.

Figura 50: Adaptação do suporte da eco laje e seu prolongador com relação ao tipo de bloco cerâmico

Fonte: Página da Laje Solar[13]

Em casos de reparos na eco laje por conta de vazamentos deve-se proceder da seguinte forma: limpar a superfície, abrir um sulco de 2cm de profundidade em todo o redor podendo utilizar uma lixadeira com disco de corte, limpar toda poeira, aplicar carboplástico nº2 massa asfáltica ao redor da lateral do bloco e esperar até obter a boa vedação fazendo-se assim o teste com água.

Figura 51: Etapas de limpeza (à esquerda) e abertura do sulco (à direita)

Fonte: Página da Laje Solar[14]

[13] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.
[14] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.

Figura 52: Aplicação carboplástico nº2 massa asfáltica

Fonte: Página da Laje Solar[15]

22. VIABILIDADE E ECONOMIA DA APLICAÇÃO DA LAJE SOLAR

Para esse estudo verificaremos e comparemos os estudos já feitos em materiais com a dupla camada de vidro com a finalidade de confirmarmos a eficiência energética desses sistemas como opção ecológica na análise de viabilidade. Em termos comparativos usaremos os vidros "low-e" que apresentam dupla face similar ao bloco de vidro para dar continuidade com a aplicação da laje solar num empreendimento.

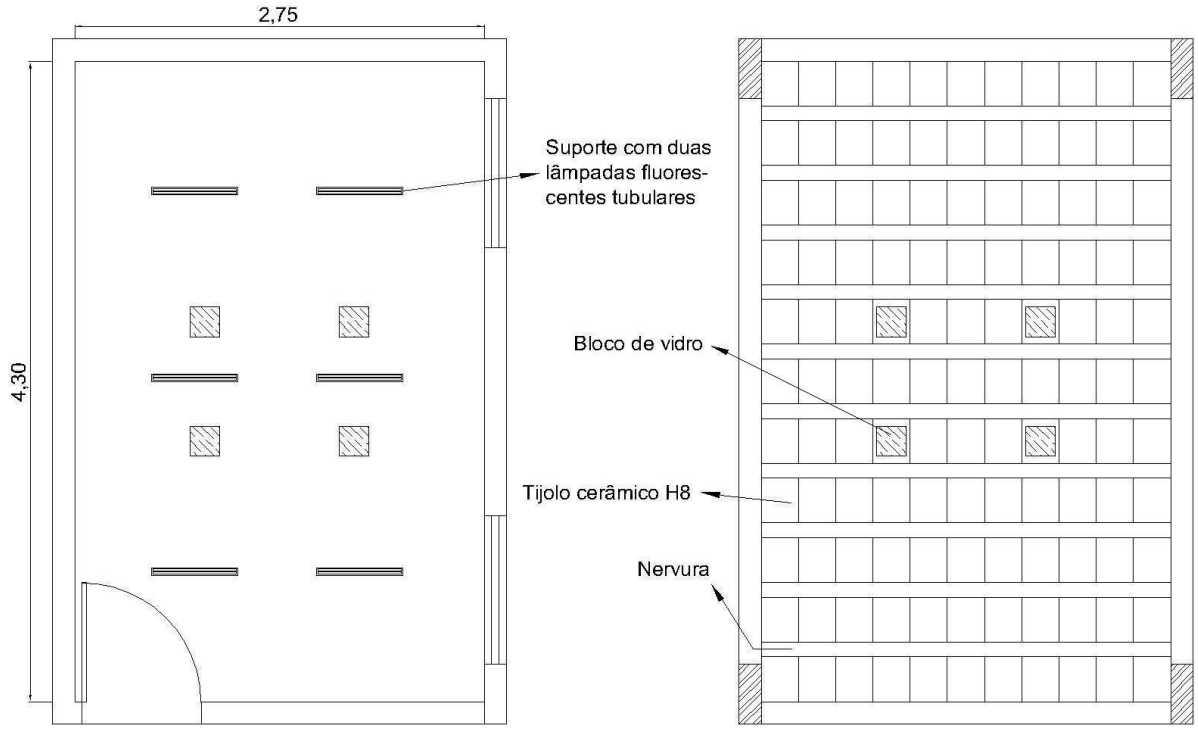
De acordo com estudos por simulação computacional desenvolvidos na Universidade Federal de Santa Catarina, um prédio de escritórios que opta pelo uso do vidro "low-e" pode ter o investimento amortizado em até 5 anos numa região com clima semelhante ao da cidade de Fortaleza. A Taxa Interna de Retorno (TIR), segundo o estudo, pode ser superior a 20%.

> "Isso considerando apenas a economia de energia em climatização ao longo dos anos e sem levar em conta os sucessivos aumentos recentes nas tarifas de energia elétrica. Se for considerar a economia no dimensionamento do sistema de ar-condicionado, o retorno do investimento pode ser pago em menos de 2 anos", revela Westphal.

[15] Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/> Acesso em out. 2016.

Seguindo esse estudo, partiremos para aplicação da eco laje na situação de um escritório de engenharia que visa a eficiência energética do mesmo. Essa simulação seguirá com base nas informações técnicas da norma do bloco de vidro junto com os resultados dos testes e contará com a participação da luz artificial junto com a luz natural conforme a figuras 53.

Figura 53: Duas plantas da mesma laje que destacam: os pontos luminosos (figura à esquerda) e os blocos com suas nervuras (figura à direita)



Fonte: Autor (2016)

Nota-se que nessa laje temos 12 lâmpadas fluorescentes tubulares 14W T5 127V 6400K 60CM (ref. Empalux) junto a quatro blocos de vidro (cada um com seu suporte) sem a necessidade de prolongadores já que o bloco cerâmico aplicado na laje é o H8 e sem contar a luminosidade das janelas para suprir a área interna de 4,30 x 2,75m. Com esses dados podemos calcular o preço dos blocos e seus suporte para termos noção do custo gerado pelo sistema da laje solar mostrado abaixo:

$$P_{b.v} = R\$\ 11{,}00 \qquad P_s = R\$\ 36{,}00 \qquad P_t = 4 \cdot P_{b.v} + 4 \cdot P_s$$

$$P_t = 4 \cdot 11{,}00 + 4 \cdot 36 \qquad \therefore \qquad P_t = R\$\ 188{,}00$$

Onde: $P_{b.v}$ é o preço médio atual unitário do bloco de vidro no mercado;

P_s é o preço médio atual unitário do suporte no mercado;

P_t é o preço total.

Lembrando que esses preços podem variar e serem até mais baratos se a compra for feita em grandes quantidades. Na consideração desse valor de R$ 188,00 faremos a análise do estudo considerando que a eficiência energética dos quadro blocos de vidro supram a de duas lâmpadas fluorescentes tubulares em dias claros. Portanto avalia-se o valor atual do kWh em São Luís conforme mostrado no quadro 05.

Quadro 05: Valores das tarifas cobradas pela CEMAR com base na resolução da ANEEL Nº2.127/2016

BAIXA TENSÃO	
CLASSE	**VALOR SEM TRIBUTOS**
RESIDENCIAL BAIXA RENDA	
Consumo - até 30 kWh	0,17267
Consumo - 31 a 100 kWh	0,29600
Consumo - 101 a 220 kWh	0,44400
Consumo a cima de 220 kWh	0,49333
RESIDENCIAL NORMAL	
Residencial	0,50150
DEMAIS CLASSES	
Comercial	0,50150
Cooperativa de Eletrificação Rural	0,35105
Iluminação Pública B4a	0,27583
Iluminação Pública B4b	0,30090
Industrial	0,50150
Serviço Público de Irrigação	0,30090
Poder Público	0,50150
Próprio	0,50150
Rural	0,34102

Fonte: CEMAR

Segundo esse quadro teremos o valor da tarifa correspondente a R$ 0,50150 por kWh, com base nesse dado podemos calcular o valor de consumo das quatro lâmpadas fluorescentes tubulares que ficaram desligadas por conta da eficiência dos blocos de vidro e estimar quanto tempo levará para essa economia na conta de luz alcançar o valor dos R$ 188,00. Lembrando que o período de funcionamento do escritório para o cálculo será com base na jornada de trabalho de 44 horas semanais com 220 horas mensais. Assim temos:

$$C = 4 \cdot P \cdot J \qquad C = 4 \cdot 14 \cdot 220 \qquad \therefore \qquad C = 12320W/h \ \ ou \ 12{,}32kWh \ por \ mês$$

$$G = 12{,}32 \cdot 0{,}50150 = 6{,}17848 \cong R\$\ 6{,}18$$

Onde: C é o consumo mensal energético das quatro lâmpadas fluorescentes tubulares;

G é o gasto das quatro lâmpadas fluorescentes tubulares;

P é a potência de cada lâmpada fluorescente em watts;

J é o período do mês correspondente a jornada de trabalho.

Após o cálculo do consumo dessas lâmpadas, sabe-se que a economia mensal com a laje solar será de 12,32kWh correspondente a R$ 6,18 nesta situação. Com o valor do custo

total de R$ 188,00 dividido pela economia mensal teremos então o número de meses que levarão para o sistema da eco laje se viabilizar, ressaltando que devido as possíveis condições adversas do clima na cidade de São Luís com seus períodos de chuva ou tempo nublado será então considerado o ano com apenas seis meses de utilidade para laje solar. Assim temos:

$$V = \frac{188{,}00}{6{,}18} = 30{,}42 \cong 31 meses \qquad V_r = \frac{31}{\frac{12}{2}} = 5{,}167 anos \ \ ou \ \ 5 \ anos \ e \ 2 meses$$

Onde: V é o tempo de viabilidade e retorno financeiro ideal do investimento da eco laje;
Vr é o tempo de viabilidade e retorno financeiro real do investimento da eco laje.

Portanto conclui-se que a aplicação da eco laje nessa situação possui o tempo de retorno do investimento correspondendo a cinco anos e dois meses. Para outras situações como aplicando em ambientes residenciais haverá variações que poderão aumentar tempo de retorno por conta da frequência de utilização dos ambientes, mas claro que a recomendação fica na questão do posicionamento dos blocos de vidros, se colocados em ambientes que exijam tarefas visuais simples ou com pouca frequência de trabalho pode-se obter bons benefícios como exemplo se aplicados nas áreas de corredores bem movimentados.

23. CONCLUSÃO

Ao avaliar o estudo da aplicação da eco laje na construção civil, notou-se que dos tipos de laje analisadas, a que melhor se propôs na adequação do sistema de blocos de vidro que compõe a viabilidade energética da eco laje foi a laje nervurada. Essa laje mostrou-se eficiente por não apresentar mudanças diretas nos cálculos estruturais já que os blocos de vidro podem ser empregados como material inerte nessa laje.

Podendo perceber essa facilidade ainda mostrando os possíveis empregos nos outros tipos de laje, continuou-se o estudo com ensaios feitos no bloco de vidro, apesar de algumas falhas na realização do ensaio da ruptura do corpo de prova em sua compressão devido a seu formato e superfície de contato, pode-se concluir a eficiência dos blocos de vidro na luminosidade, no isolamento térmico e acústico.

Com os dados obtidos junto aos estudos de viabilidade energética feitos podemos concluir que as diversas possibilidade do emprego da eco laje satisfazem na economia de luz em ambientes internos com a intensidade luminosa de aproximadamente 300 lux na média diária sendo adaptável a norma. A escolha da quantidade de blocos de vidro junto a sua distribuição na laje poderá variar conforme a análise do projeto.

Portanto o tempo de retorno do investimento feito irá variar com base nas análises feitas em conformidade com os valores atuais de mercado que terão a sequência lógica similar ao estudo elaborado na suposição da laje com o teste de viabilidade do investimento apresentando seu tempo de retorno com 5 anos e 2 meses.

24. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 - **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

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 14899-1:2002 – **Blocos de vidro para construção civil**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413 – **Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739 – **Ensaio de compressão de corpo de prova cilíndrico**. Rio de Janeiro, 2007.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO Libânio Miranda. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 2009.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997.

FUSCO, P.B. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. São Paulo, Pini, 1994.

PEREIRA, V. **Manual de projeto de lajes pré-moldadas treliçadas**. São Paulo.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de Concreto**. Bauru: UNESP, 2015. Notas de aula.

DAMASCENO, Lissandro Resque. **Análise experimental das lajes lisas unidirecionais de concreto armado com pilares retangulares ao puncionamento**. 2007 237f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém 2007.

GONÇALVES, Diogo Tadeu Ramos. **Planejamento da execução de estruturas em concreto armado para edifícios:** estudo de caso em obra com restrições e limitações operacionais. 2009 231f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2009.

CARMO, Eduardo João Zanotto do. **Fôrmas e Escoramentos**. 2007 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba 2007.

REDDY, J. N. **Theory and analysis of elastic plates and shells**. CRC Press, Taylor and Francis 2007.

ESO, **Laje Nervurada**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=laje-nervurada>. Acesso em 18 de Outubro de 2016.

Mais Engenharia, **Tipos de Laje**. Disponível em: <https://maisengenharia.wordpress.com/2014/10/06/tipos-de-laje/>. Acesso em 18 de Outubro de 2016.

Eco Laje. **Sustentabilidade com o uso das Lajes Solares**. Disponível em: <http://lajesolar.com/new/produto/>. Acesso em: 18 de Outubro de 2016.

Microsoft, **Lux-o-Meter Aplicativo**. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/store/p/lux-o-meter/9wzdncrfjvg5>. Acesso em 21 de Outubro de 2016.

Téchne, **Lajes Nervuradas**. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/141/lajes-nervuradas-286555-1.aspx>. Acesso em 18 de Outubro de 2016.

CEMAR, **Cobranças de Tarifas**. Disponível em: <http://www.cemar116.com.br/residencial/informacoes/cobranca-de-tarifas>. Acesso em 05 de Novembro de 2016.

AECweb, **Vidros Low-e**. Disponível em: <http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/vidros-low-e-controlam-transmissao-termica-em-fachadas-envidracadas_13636_10_0>. Acesso em 07 de Novembro de 2016.