

ITC – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CARATINGA

GEORGE DA MATA DE ANDRADE

HAIMON AMARO ALVES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS
QUANTO AO SEU DESEMPENHO**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DOCUTM – MINAS GERAIS

2015

GEORGE DA MATA DE ANDRADE

HAIMON AMARO ALVES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS
QUANTO AO SEU DESEMPENHO**

Monografia apresentada à banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Orientador: José Alves Salvador

DOCUTM – CARATINGA

2015

GEORGE DA MATA DE ANDRADE

HAIMON AMARO ALVES

**ANÁLISE COMPARATIVA DE LAJES MACIÇAS E TRELIÇADAS
QUANTO AO SEU DESEMPENHO**

Monografia submetida à comissão examinadora designada pelo Curso de Graduação em Engenharia Civil como requisito para obtenção do grau de bacharel.

Prof. José Salvador Alves (Orientador)

Prof. Thales Leandro de Moura

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

Prof. Vagner Aquino

Instituto Doctum de Educação e Tecnologia

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar tenho que agradecer ao grandioso Deus Todo Poderoso, minha fortaleza e meu refúgio, pela força de todos os dias, me guiando durante estes cinco anos em que lutei diariamente em sala, podendo, hoje, concluir este trabalho acadêmico. Agradeço, também, à minha querida Mãe, Terezinha Maria da Mata, pelas noites de sono perdidas, pelo investimento feito em minha formação, pelos gestos de apoio, carinho, atenção e dedicação diários, que me ajudaram a alcançar meu objetivo. Além disso, quero agradecer a minha namorada, Fernanda Soares, pelo incentivo, presteza, entendimento e pelo carinho depositado durante este difícil período. Agradeço, ainda, aos meus professores e mestres, que trabalharam arduamente para nos passar todos os conhecimentos necessários, em especial, nosso orientador, José Salvador Alves, que sempre esteve pronto para sanar qualquer dúvida durante todo o decorrer do curso. Também dedico esta vitória aos meus amigos e familiares que sempre torceram pelo meu sucesso.

George da Mata de Andrade

AGRADECIMENTOS

De antemão quero agradecer a aquele que permitiu que eu chegasse até aqui, obrigado Deus meu Senhor e criador, agradeço aquela que durante todos esses anos me suportou e passou todas as dificuldades comigo, minha esposa Tatiquele Suely, minhas filhas que passaram por muitas privações, Kimberlly Aquiane a primogênita e ainda as gêmeas que nasceram no primeiro ano do curso, Kemelli Victória e Anna Jullya, aos meus pais Helder Alves e Marli Amaro que me trouxeram a este mundo, aos meus irmãos que sempre me deram forças pra continuar, aos amigos que direta ou indiretamente acompanharam nossa luta e ainda quero agradecer aos professores que com seriedade trabalharam para nos transmitir conhecimento, em especial o nosso orientador José Salvador Alves, fica aqui os meus sinceros agradecimentos, obrigado a todos.

Haimon Amaro Alves

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ELS – Estado Limite de Serviço

ELU – Estado Limite Último

NBR – Normas Brasileiras Registradas

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Aço CA-50	24
FIGURA 2 - Aço utilizado na confecção de lajes.....	25
FIGURA 3 - Sistema Estrutural - Lajes.....	26
FIGURA 4 - Laje maciça	27
FIGURA 5 - Montagem de fôrmas de laje maciça.....	30
FIGURA 6 - Concretagem laje maciça	31
FIGURA 7 - Retirada das fôrmas	32
FIGURA 8 - Laje nervurada treliçada com enchimento de EPS.....	34
FIGURA 9 - Seção transversal da laje treliçada	34
FIGURA 10 - Armaduras complementares.....	35
FIGURA 11 - Laje com enchimento de EPS	36
FIGURA 12 - Laje com enchimento cerâmico	36
FIGURA 13 - Escoramento.....	40
FIGURA 14 – Colocação das escoras.....	40
FIGURA 15 – Nivelamento das tábuas	41
FIGURA 16 – Colocação das vigotas e armaduras positivas e negativas.....	41
FIGURA 17 - Colocação dos EPS.....	42
FIGURA 18 - Lançamento do concreto	42

FIGURA 19 - Sarrafeamento e nivelamento do concreto seguindo a altura das taliscas	43
FIGURA 20 - Pavimento tipo utilizado para dimensionamento	44
Figura 21 - Laje engastada com 3 bordas simplesmente apoiadas	46
FIGURA 22 - Seção típica da Laje	58
FIGURA 23 - CG da seção transversal a partir da borda superior da seção.....	59
FIGURA 24 - Concreto de envolvimento da armadura.....	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classes de resistência de Concretos Estruturais	17
TABELA 2 – Categorias de aço.....	22
TABELA 3 - Comparativo das Flechas da laje L1	68
TABELA 4 - Comparativo quanto à vibração da laje L1	69
TABELA 5 - Comparativo quanto à fissuração da laje L1	70
TABELA 6 – Tabela de Reações de Apoio em Lajes com Carga Uniforme	77
TABELA 7 - Tabela de Reações de Apoio em Lajes com Carga Uniforme.....	78
TABELA 8 - Flexão Simples em Seção Retangular – Armadura Simples.....	79
TABELA 9 - Limites para deslocamento.....	80

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1 - SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS	16
1.2 – MATERIAIS CONSTITUINTES DE UMA LAJE	16
1.2.1 – Concreto.....	16
1.2.1.1 – Resistência do concreto	17
1.2.1.2 – Especificação do concreto	18
1.2.1.3 – Cura do concreto	18
1.2.1.4 – Massa Específica.....	18
1.2.1.5 – Propriedades mecânicas	19
1.2.1.6 - Coeficiente de Dilatação Térmica.....	19
1.2.2 - Fôrmas e Escoramentos	19
1.2.2.1 - Cuidados na montagem	19
1.2.2.2 - Cuidados na Concretagem.....	20
1.2.2.3 - Cuidados na desmontagem e retirada.....	20
1.2.2.4 - Propriedades da Madeira	21
1.2.3 – Aço	22
1.2.2.1 - Aços CA-50 e CA-25	23
1.2.2.2 - Aço CA-60	24
1.2.2.3 - Utilização do aço na confecção de lajes	24
1.3 – SISTEMAS ESTRUTURAIS - LAJES	25
1.3.1 – Laje Maciça	26
1.3.1.1 – Definição e Características do Sistema	26
1.3.1.2 – Prescrições Normativas.....	28
1.3.1.3 – Vantagens.....	28
1.3.1.4 – Desvantagens.....	29
1.3.1.5 – Processo Construtivo.....	29
1.3.2 - Laje Nervurada Treliçada	33
1.3.2.1 - Definição e Características do Sistema	33
1.3.2.2 – Vigotas com Armaduras Treliçadas	34
1.3.2.3 – Armaduras Complementares	35
1.3.2.4 – Elementos de Enchimento	35

1.3.2.5 – Prescrições Normativas	37
1.3.2.6 – Vantagens.....	37
1.3.2.7 – Desvantagens.....	38
1.3.2.8 - Processo Construtivo	39
1.4 – APRESENTAÇÃO DO PAVIMENTO TIPO.....	43
2 – VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DAS LAJES	45
2.1 - LAJE MACIÇA	46
2.1.1 - Cálculo dos momentos fletores e das reações de apoio	46
2.1.1.1 – Espessura.....	47
2.1.1.2 – Ações.....	47
2.1.1.3 – Reações de Apoio (Tabela 2.2.a)	47
2.1.1.4 – Momentos fletores (Tabela 2.3 ^a).....	48
2.1.1.5 – Cálculo das armaduras.....	48
2.1.2 - Verificação de Flechas.....	50
2.1.2.1 – Flecha imediata (<i>ai</i>).....	50
2.1.2.2 – Flecha diferida (<i>af</i>).....	51
2.1.2.3 – Flecha total (<i>at</i>)	51
2.1.2.4 – Cálculos.....	51
2.1.3 - Verificação de Vibração	54
2.1.4 - Verificação de Fissuração.....	55
2.2 - LAJE TRELIÇADA.....	58
2.2.1 - Verificação de Flechas em Vigotas Pré-moldadas	58
2.2.1.1 - Flecha Imediata	61
2.2.1.2 - Flecha diferida no tempo	62
2.2.1.3 - Flecha total.....	63
2.2.2 - Aceitabilidade Sensorial Visual - Vibração (Sentida no piso)	63
2.2.3 - Aceitabilidade Sensorial Visual – Verificação da Fissuração.....	64
3 - COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES NO PAVIMENTO TIPO.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS.....	Erro! Indicador não definido.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar e analisar o comportamento da laje maciça de concreto armado e da laje treliçada, comparando os dois modelos quanto ao seu desempenho e utilização na construção civil, pegando como exemplo um dos pavimentos tipo do edifício modelo. Daremos foco na verificação das ações de flechas, fissurações, e vibrações em cada modelo de laje. Serão abordados os aspectos funcionais, as características estruturais de cada laje, os materiais empregados, as ações atuantes e qual o impacto que essas ações ocasionam, as vantagens e desvantagens, definindo, assim, o desempenho que cada tipo de laje pode fornecer ao pavimento tipo apresentado. Devido ao grande número de construções no país e no mundo, e ao alto valor dos insumos para construção civil, este projeto visa demonstrar qual laje se comportará melhor em estado de serviço, utilizando de materiais semelhantes, mas adotando técnicas construtivas diferentes, sem perder a funcionalidade, segurança e atendendo aos padrões exigidos pelas normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Palavras-Chave: Laje maciça, laje treliça, desempenho.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o crescimento da construção civil no mundo é acelerado, assim, a aquisição de novos conhecimentos e a comparação de técnicas e métodos construtivos é necessária para um maior aproveitamento dos recursos financeiros, sem perder a qualidade no desempenho, e, aproveitando melhor o tempo despendido na execução. Este trabalho trata justamente dessa aquisição de conhecimento necessária para definir como foco principal, melhor qual o tipo de laje, de treliça ou maciça, possui melhor desempenho estrutural para a utilização em uma construção residencial de pequeno porte.

Junto a estes quesitos de desempenho estrutural, o estudo traz a oportunidade de conhecer os elementos que constituem esses tipos de lajes, todos os seus materiais e os métodos construtivos, suas funções e como aproveitá-las melhor no processo construtivo, e, visualizando qual é a melhor indicada para o pavimento tipo descrito para cálculo.

O estudo traz, ainda, um grande benefício para a sociedade, demonstrando até onde uma ou outra laje pode ser aplicada sem perder as suas principais funções, mas também analisando seu desempenho através dos cálculos de fissuração, flexão e vibração oferecendo além de economia, a segurança necessária para os futuros usuários da edificação.

A “Engenharia Civil” ganha na obtenção de dados necessários para uma melhor avaliação durante o processo de criação de um projeto, podendo identificar, precocemente, as flechas, as possíveis fissuras e a quantidade de vibração que o piso exercerá, sendo aplicados melhores métodos na confecção da planta, do desenho arquitetônico, no dimensionamento das estruturas e fundações, até o momento exato da execução de todas as partes da edificação.

Este estudo traz uma comparação demonstrando o confronto direto entre vantagens e desvantagens das lajes maciças e lajes treliçadas, no intuito de encontrar aquela que atenda melhor à necessidade do projeto modelo.

Como objeto de pesquisa, foi definido uma análise comparativa sobre estruturas em concreto armado, sendo esta, entre lajes maciças e lajes treliçadas, tendo como ênfase o seu desempenho estrutural, verificando se os valores obtidos para flecha, aberturas de fissuras e de vibração estão dentro dos limites normativos.

O objetivo deste trabalho acadêmico é definir qual o tipo estudado possui melhor desempenho para utilização na construção civil. Para isso, consta revisão bibliográfica, capítulos voltados para a estrutura de cada tipo de laje, suas vantagens e desvantagens, a forma de execução de cada uma, o cálculo de cada estrutura para o pavimento tipo, a verificação da flexão, vibração e fissuração.

Durante as pesquisas feitas para a confecção desse projeto científico, algumas definições direcionaram para a laje maciça como a que apresenta o melhor comportamento estrutural, pois trabalha nas duas direções, distribuindo melhor os carregamentos nas vigas de contorno, e possuem menores deslocamentos.

Para confirmar tal hipótese, o seguiram-se as etapas de acordo com a pesquisa em questão. No primeiro capítulo consta a descrição do que compõem uma laje, quais os tipos de materiais (concreto, aço, formas e insumos) são utilizados no processo construtivo para que as mesmas alcancem o nível de resistência segundo as normas da ABNT, sendo seguras para uma edificação. Descreveu-se cada tipo de laje estudada, maciça e treliçada, suas prescrições normativas, vantagens e desvantagens, e a forma de execução de cada uma. Faremos, também, a apresentação do pavimento tipo que será utilizado para o dimensionamento e cálculo das estruturas para comparação posterior.

No segundo capítulo, consta o cálculo das flechas, das aberturas de fissuras e de vibração, onde foi possível definir o parâmetro de comparação que nos comprovasse qual laje possui melhor desempenho da estrutura no “pavimento tipo”.

Após todo esse material ser identificado, é demonstrado a comparação quanto ao seu desempenho em relação a edificação proposta, verificando os qualificadores de cada tipo, os valores descritos em tabelas, onde é possível identificar a variação que cada laje sofre devido a sua estrutura e rigidez.

No quarto e último capítulo, é descrito a conclusão da pesquisa acadêmica, demonstrando o resultado obtido e qual tipo de laje terá o melhor comportamento para a edificação proposta.

O processo cognitivo ou aquisição do conhecimento, foi identificado através da comparação dos resultados, demonstrando como um método é mais eficaz que o outro. Assim, um engenheiro ou alguém que trabalha na área da construção civil, ou até mesmo um leigo no assunto, mas que saiba ler e interpretar números possa saber qual laje possui melhor desempenho.

1 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 - SISTEMAS E ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Para se fazer uma análise em uma estrutura de concreto armado, é necessário primeiro esclarecer a diferença entre sistema estrutural e elemento estrutural.

O sistema estrutural é composto por elementos estruturais que são peças com uma ou duas dimensões preponderantes diante as demais (vigas, pilares, lajes, etc.). A análise do comportamento e a interpretação são, geralmente, complexas e difíceis e por essa razão é importante considerar que, para montar modelos físicos e matemáticos na análise de construções de concreto armado, é preciso utilizar a técnica de discretização. (CARVALHO, FIGUEIREDO, 2013)

1.2 – MATERIAIS CONSTITUINTES DE UMA LAJE

1.2.1 – Concreto

Segundo Carvalho e Figueiredo (2001), o concreto é um material composto por água, cimento e agregados. Associando esses materiais entre si, resulta:

- **Pasta:** cimento + água;
- **Argamassa:** pasta + agregado miúdo;
- **Concreto:** argamassa + agregado graúdo;
- **Microconcreto:** concreto em que o agregado graúdo tem dimensões reduzidas;
- **Concreto de alto desempenho:** considera-se, em geral, o concreto cuja resistência supera os 40 Mpa.

Carvalho e Figueiredo (2001) destacam ainda, que o cimento é um material caro. O principal objetivo de utilizar agregados de maiores dimensões é reduzir os custos sem que a qualidade do material seja muito prejudicada. Para a utilização estrutural o concreto é adequado como elemento resistente em junção ao aço, pois apresenta boa resistência à compressão e pouco resiste à tração (cerca de 1/10 da

resistência a compressão), embora este tipo de solicitação quase sempre esteja presente nas estruturas de construções usuais.

Rossignolo (2009) descreve que o concreto de cimento Portland é o material de construção mais utilizado em todo o mundo. Isso se deve, ao menos em parte, ao fato de seus componentes serem produzidos, de modo relativamente fácil, a partir do emprego de matérias-primas locais, bem como pelo fato de o concreto ter uma aplicação versátil, adaptando-se facilmente às condições existentes.

1.2.1.1 – Resistência do concreto

A NBR 8953 (2015) fala que o concreto para fins estruturais são classificados nos grupos I e II, conforme a resistência característica à compressão (f_{ck}), determinada a partir do ensaio de corpos de prova moldada de acordo com a ABNT NBR 5738 e rompida conforme ABNT NBR 5739, como mostra a tabela 1, sendo permitida a especificação de valores intermediários.

A mesma segue dizendo que os concretos com classe de resistência inferior a C20 não são estruturais e, caso sejam utilizados, devem ter seu desempenho atendido conforme ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655.

TABELA 1 - Classes de resistência de Concretos Estruturais

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: tabela retirada da NBR 6118/2014

Com relação aos concretos estruturais Rossignolo (2009) diz, a maioria das aplicações desse agregado ocorre em elementos estruturais pré-fabricados e em

estruturas de edificações de múltiplos pavimentos moldados in loco, em especial as lajes.

1.2.1.2 – Especificação do concreto

A ABNT NBR 14931 (2004) especifica o concreto levando em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, em especial quanto à resistência característica, ao módulo de elasticidade do concreto e à durabilidade da estrutura, bem como às condições eventualmente necessárias em função do método de preparo escolhido e das condições de lançamento, adensamento e cura.

1.2.1.3 – Cura do concreto

Segundo a NBR 14931(2004) enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra agentes prejudiciais para:

- Evitar a perda de água pela superfície exposta;
- Assegurar uma superfície com resistência adequada;
- Assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Elementos estruturais de superfície devem ser curados até que atinjam resistência característica à compressão (f_{ck}), de acordo com a ABNT NBR 12655, igual ou maior que 15 MPa.

1.2.1.4 – Massa Específica

Para Pinheiro, Muzardo, Santos (2004) a massa específica normal do concreto (ρ_c), é compreendida entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³. Para efeito de cálculo, pode-se adotar para o concreto simples o valor 2400 kg/m³ e para o concreto armado 2500 kg/m³. Quando se conhecer a massa específica do concreto utilizado, pode-se considerar, para valor da massa específica do concreto armado, aquela do concreto simples acrescida de 100 kg/m³ a 150 kg/m³.

1.2.1.5 – Propriedades mecânicas

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas. Geralmente, os ensaios são realizados para controle da qualidade e atendimento às especificações como afirmam Pinheiro, Muzardo, Santos (2004).

1.2.1.6 - Coeficiente de Dilatação Térmica

Segundo a NBR 6118(2014) para efeito de análise estrutural, o coeficiente de dilatação térmica pode ser admitido como sendo igual a $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ que é bem próximo ao coeficiente de dilatação térmica do aço.

1.2.2 - Fôrmas e Escoramentos

A NBR 15696 (2009) fixa os procedimentos e condições que devem ser obedecidos na execução das estruturas provisórias que servem de fôrmas e escoramentos, para a execução de estruturas de concreto moldadas in loco.

Segundo Barros e Melhado (1998) a fôrma pode ser considerada como o conjunto de componentes cujas funções principais são: - dar forma ao concreto (molde);

- Conter o concreto fresco e sustentá-lo até que tenha resistência suficiente para se sustentar por si só;
- Proporcionar à superfície do concreto a textura requerida.

Segundo a NBR 15696 (2009) alguns cuidados devem ser tomados:

1.2.2.1 - Cuidados na montagem

Obrigatoriedade do projeto.

Dimensionamento das bases de apoio ou fundação das fôrmas é incumbência do responsável técnico pela execução da estrutura

- Uso de fôrmas e/ou escoramento industrializados => seguir instruções do fornecedor;
- Furos e/ou componentes inseridos na estrutura => seguir instruções do projetista estrutural;
- Desmoldantes => seguir especificação do fabricante.

1.2.2.2 - Cuidados na Concretagem

- Conferência das medidas antes do lançamento do concreto;
- Limpeza das fôrmas;
- Fôrmas para concreto aparente;
- Tubulações das bombas não devem estar fixadas nas fôrmas e/ou escoramentos;
- Evitar acúmulo de concreto para que as cargas do projeto não sejam ultrapassadas.

1.2.2.3 - Cuidados na desmontagem e retirada

- Plano de desforma;
- F_{cj} e o E_c mínimos para a desforma => Devem constar no projeto estrutural;
- O responsável técnico pela obra deve acompanhar o comportamento da estrutura;
- Ciclo de remoção das fôrmas deve ser no mínimo 14 dias.

Nazar (2007) descreve que a importância das fôrmas de concreto na concepção, execução e nos custos da estrutura de um edifício justifica plenamente um estudo detalhado do seu dimensionamento e a melhor escolha dos materiais, o que acabará refletindo na mão-de-obra e nos demais itens, mesmo aqueles não diretamente ligados à estrutura de concreto armado.

O autor ainda destaca que, nos edifícios habitacionais e comerciais com múltiplos andares, o custo das fôrmas pode variar de 25% até 30% do total da obra e o prazo da sua execução não raras vezes atinge 50% e 60%, o que por si só aponta para a cautela e para as repercussões que tais eventos podem acarretar no preço de venda do produto a ser comercializado.

1.2.2.4 - Propriedades da Madeira

Segundo a NBR 7190 (2011), as propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção normal às fibras. Devem também se distinguir os valores correspondentes às diferentes classes de umidade.

Na norma, define-se densidade da madeira como sendo a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos-de-prova em estufa a 103°C até que a massa do corpo-de-prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos-de-prova submersos em água até atingirem peso constante

A resistência é a aptidão de a matéria suportar tensões, e é determinada, convencionalmente, pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos-de-prova isentos de defeitos do material considerado, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral, estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva, de acordo com a NBR 7190 (2011).

A publicação fala ainda que a rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade E_{w0} na direção paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras e o módulo de elasticidade E_{w90} na direção normal às fibras é medido no ensaio de compressão normal às fibras.

1.2.3 – Aço

A Norma NBR 7480:1996 define os tipos, as características e outros itens sobre as barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado. Esta versão substituiu a de 1982 e introduziu modificações, inclusive, para adequar-se ao que é normalmente produzido no mercado.

Segundo Chust e Figueiredo (2001), primeiramente foi eliminada a categoria CA-40 (a sigla CA indica concreto armado, e o número, a categoria, ou seja, a resistência de escoamento mínima, em kN/cm², como descrito na tabela 2), que não era especificada em projetos nem produzida pelas siderúrgicas, mantendo apenas as categorias CA-25 e CA-50. Na NBR 7480, está definido que todo material em barras, caso do CA-25 e do CA-50, deve ser obrigatoriamente fabricado por laminação à quente e que todos os fios, característicos do CA-60, devem ser fabricados por trefilação ou processo equivalente, como estiramento ou laminação à frio. Os fios têm diâmetro nominal inferior a 10 mm.

TABELA 2 – Categorias de aço

Categoria	Tensão de Escoamento mínima ou, valor característico $f_{yk} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$	Tensão para qual ocorre deformação de 0,2% $\sigma_{sd} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$	Tensão de cálculo $f_{yk} \left(\frac{kgf}{cm^2} \right)$	Aderência com o concreto
CA-25	2500	2150	2150	1,0
CA-50 A	5000	4200	4350	1,5
CA-50 B	5000	3500	4350	1,5
CA-60	6000	4000	5217	0,8

Fonte: "O edifício até a sua cobertura" Azeredo, H. A. (1977).

Chust e Figueiredo (2001) esclarecem, ainda, a diferença entre aço e ferro. A principal é o teor de carbono, em que o aço possui um teor inferior a 2,04%, e o ferro, entre 2,04 A 6,7%. Como as barras e fios destinados às armaduras para concreto armado (CA-25, CA-50, e CA-60) possuem, normalmente, teor de carbono

entre 0,08% e 0,50%, a denominação técnica correta é aço, embora usualmente se utilize o termo ferro.

Os aços tipos A e B alcançam uma deformação de 0,2%, o que é considerado limite para as deformações que se aceitem nas estruturas. Os aços tipo A produzem essa deformação com tensões ligeiramente superiores a B. Face a isso, os valores de cálculo do aço tipo A são maiores que os aços tipo B como se vê na tabela anterior. Quando não se conhece o tipo de aço que será utilizado na obra deve-se a favor da segurança usar nos cálculos o aço tipo B que resulta em maior área de aço e, portanto, maior quantidade. Se a obra usar o aço tipo B não há problema. Se usar aço tipo A teremos folga. Se calculássemos com aço tipo A e usássemos tipo B, estaríamos contra a segurança. (Botelho; Marchetti, 2011, p. 72)

Segundo Botelho e Marchetti (2011), o concreto armado é uma construção solidária, devendo o concreto ser atritado com o aço. Quando usados em conjunto, aço e concreto, eles não podem se deslocar um em relação ao outro. Assim, exige-se dos aços uma aderência mínima (atrimento) em relação ao concreto envolvente. Para aços de maior resistência a aderência tem que ser maior do que os aços de menor resistência, pois os de maior resistência trabalham, em geral, com maiores tensões. Sendo assim, temos que dar aos aços de alta resistência mais atrimento no concreto. Conseguimos isso através de saliências e moedas. A EB-3 exige dos fabricantes de aço que eles tenham aderência mínima e que seja crescente conforme sejam as classes dos mesmos. Aços mais resistentes (CA-50), tem que ter mais aderência em relação ao concreto do que os aços de menos aderência (CA-25).

A superfície dos aços pode ser lisa, conter nervuras (saliência ou moedas) ou entalhes. A rugosidade da superfície dos aços é medida pelo coeficiente de conformação superficial (η_1) e deve atender o coeficiente de conformação superficial mínimo (η_b), para cada categoria de aço (CA-25, CA-50 ou CA-60), conforme indicado na NBR 7480.

1.2.2.1 - Aços CA-50 e CA-25

Produzidos de acordo com as especificações da norma brasileira 7480/96, são fornecidos nas categorias CA-50 (Figura 01), com superfície nervurada e CA-25, com superfície lisa. Os vergalhões são encontrados sob a forma de rolos para

bitolas até 12,5 mm e em barras retas ou dobradas de 12m, em feixes de 1.000 e 2.000Kg. Geralmente, quando se faz referência a estes tipos de aço, costuma-se chamá-los de barras de aço. (paquímetro: equipamento utilizado para fazer a leitura da bitola do aço)

FIGURA 1 - Aço CA-50



Fonte: <http://www.ponttal.com.br/imgs_produtos/grand/5362891.jpg>

1.2.2.2 - Aço CA-60

Ainda de acordo com a norma 7480/96, o aço CA-60 apresenta capacidade de soldabilidade com ótimo dobramento e alta resistência. É indicado para a produção de vigotas de lajes pré-fabricadas, treliças, armações para tubos, pré-moldados e outras aplicações. O vergalhão CA-60 está disponível em rolos, estocadores para uso industrial e feixes de barras retas ou dobradas de 12 metros com 1000 Kg.

1.2.2.3 - Utilização do aço na confecção de lajes

Azeredo (1997) destaca que nas lajes armadas numa só direção e nas lajes nervuradas, a armadura de distribuição deve ter, por metro, seção transversal de área igual ou superior a 1/8 de área de armadura principal, respeitado o mínimo de 0,5 cm² por metro.

Ainda segundo Azeredo (1997), na região dos maiores momentos nos vãos das lajes, o espaçamento das barras da armadura principal não deve ser maior que

20 cm. Nas lajes armadas numa única direção, esse espaçamento não deve, também, ser maior que duas vezes a espessura da laje. Os estribos nas lajes nervuradas, sempre que necessários, não devem estar afastados de mais de 20 cm. A armadura de distribuição das lajes não deve ter menos de três barras por metro. Na figura 2, é possível identificar como o aço é utilizado nas armaduras de confecção de uma laje.

FIGURA 2 - Aço utilizado na confecção de lajes



Fonte: <<http://www.cursos.construir.arq.br/wp-content/uploads/2013/01/laje-maci-C3-A7a-de-concreto.jpg>>

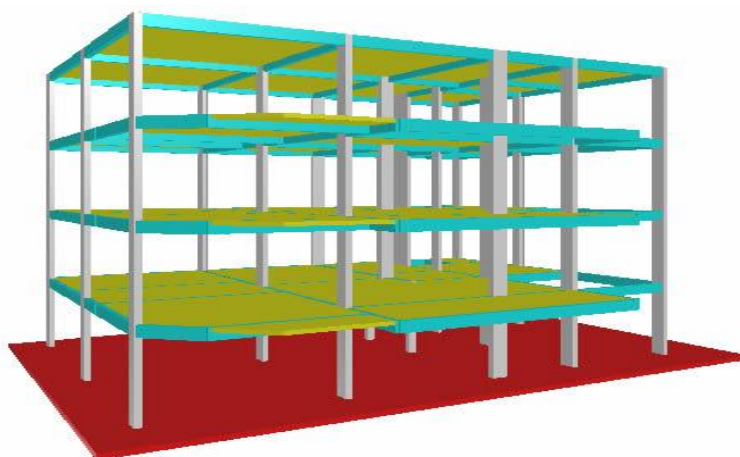
Medidas especiais de proteção devem ser tomadas sempre que elementos da estrutura se achem expostos à ação prejudicial dos agentes externos, tais como ácidos, álcalis, águas agressivas, óleo, gases nocivos, alta e baixa temperatura, conforme descreve Azeredo (1997).

1.3 – SISTEMAS ESTRUTURAIS - LAJES

Sob o ponto de vista estrutural (Figura 3), lajes são placas de concreto, e estas últimas são elementos estruturais de superfície planas (elementos laminares simétricos em relação ao seu plano médio), em que a dimensão perpendicular à superfície, usualmente denominada espessura, é relativamente pequena comparada

às demais (largura e comprimento), estando sujeitas principalmente a ações normais a seu plano (CARVALHO; FIGUEREDO, 2001, p.291)

FIGURA 3 - Sistema Estrutural - Lajes



Fonte: <http://www.faq.altoqi.com.br/images/uploads/Eberick/Lancamento%20da%20Estrutura/Lancamento_de_radier_d_1.jpg>

Carvalho e Figueredo (2001) descrevem, ainda, que o pavimento de uma edificação, que é um elemento estrutural de superfície, pode ser projetado com elementos pré-moldados ou moldados no local. O pavimento moldado no local pode ser composto por uma única laje (maciça ou nervurada), sem vigas, ou por um conjunto de lajes, maciças ou nervuradas, apoiadas em vigas.

1.3.1 – Laje Maciça

1.3.1.1 – Definição e Características do Sistema

Araújo (2003) descreve que as lajes maciças são placas com espessura uniforme, sendo apoiadas ao longo do seu contorno. Esses apoios podem ser constituídos por alvenarias ou por vigas, sendo muito utilizada onde os vãos são relativamente pequenos em predominância nos edifícios residenciais.

Segundo Carvalho e Figueredo (2001), uma das características das lajes maciças é que elas distribuem suas reações em todas as vigas de contorno, diferentemente das pré-moldadas. Com isso, há melhor aproveitamento das vigas do pavimento, pois todas podem ter cargas da mesma ordem de grandeza, dependendo apenas dos vãos.

Para Albuquerque e Pinheiro (2002), as lajes maciças devido aos limites impostos, apresentam uma grande quantidade de vigas, fato esse que deixa a fôrma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção. Esta fôrma recortada gera, ainda, um grande consumo de fôrmas e dificulta o seu reaproveitamento. Já a existência de muitas vigas, por outro lado, forma muitos pórticos, que garantem uma boa rigidez à estrutura. Além do grande número de fôrmas gastas, o volume de concreto é grande também, devido principalmente ao consumo das lajes.

A seguir na figura 4, é demonstrado o esquema da laje maciça:

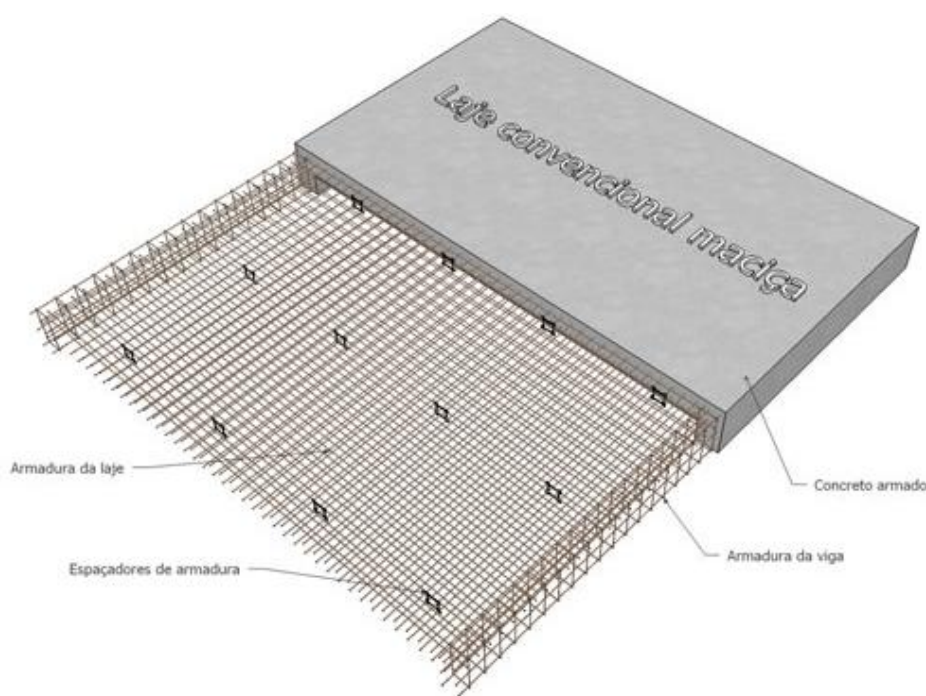


FIGURA 4 - Laje maciça

Fonte: <<http://www.cddcarqfeevale.files.wordpress.com/2012/04/laje-convencional-500.jpg>>

Buiate (2004) descreve que as lajes maciças apresentam um melhor comportamento estrutural, pois além de trabalhar nas duas direções distribuindo melhor os carregamentos nas vigas de contorno, tem menores deslocamentos.

Entretanto, a utilização em grandes vãos leva à adoção de espessuras elevadas, o que aumenta o peso próprio e a torna antieconômica, pois grande parte de sua capacidade resistente é consumida para resistir aos esforços devido ao peso próprio.

1.3.1.2 – Prescrições Normativas

Segundo o item 13.2.4.1 da NBR6118/2014 (ABNT 2014), nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de $\frac{l}{42}$ para biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- f) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

1.3.1.3 – Vantagens

Citamos, aqui, vantagens com pavimentos formados por vigas e lajes maciças:

- “Existência de muitas vigas formando pórticos, que acabam garantindo uma rigidez à estrutura de contraventamento” (ALBUQUERQUE, 1999, p.21);
- “Facilidade de lançamento e adensamento do concreto” (FARIA 2010, p.20);
- “Por ser um dos sistemas mais utilizados nas construções de concreto, a mão-de-obra treinada facilita a execução da obra” (SPOHR, 2008, p.21);
- “Possibilidade de descontinuidade em sua superfície” (Faria, 2010, p.20);

Uma vantagem em relação às lajes pré-moldadas segundo Carvalho e Figueredo (2001), está na facilidade de colocar, antes da concretagem, tubulações elétricas ou de outros tipos de instalações. Além disso, é oportuno destacar que as fôrmas representam grande parcela do custo final da estrutura e, em particular, da laje. Entretanto, o custo de pavimentos com lajes maciças diminui consideravelmente quando o pavimento se repete, pois pode ser utilizado o mesmo jogo de fôrmas e escoramento várias vezes.

1.3.1.4 – Desvantagens

As lajes maciças apontam algumas desvantagens, sendo elas:

- “Grande consumo de concreto e aço para vãos grandes” (FARIA, 2010, p.25);
- “Grande consumo de fôrmas e escoramento” (sphor, 2008, p.23);
- “Uma grande quantidade de vigas, deixando a fôrma do pavimento muito recortada, diminuindo a produtividade da construção” (ALBUQUERQUE, 1999, p.21);

Há ainda, segundo Albuquerque (1999), o tempo de execução das formas e um tempo de desforma muito grandes, o que gera acúmulo de tempo e mão de obra, aumentando os gastos no custo final da edificação.

1.3.1.5 – Processo Construtivo

Considerando que os pilares da construção já estejam concretados, alguns passos foram descritos por Barros e Melhado (1998) para a produção da estrutura de laje maciça:

- Montagem das fôrmas de vigas e lajes;
- Colocação das armaduras nas formas de vigas e lajes;
- Procedimento para concretagem das vigas e lajes;
- Procedimento de desforma.

a) Montagem das fôrmas de vigas e lajes

A figura abaixo mostra como as fôrmas das lajes colocadas e seus devidos escoramentos:

FIGURA 5 - Montagem de fôrmas de laje maciça



Fonte: <<http://www.ufrgs.br/eso/content/up/Fig.12-Montagem-de-formas-de-lajes.jpg>>

Se considerarmos os pilares já concretados, Barros e Melhado (1998) recomendam os seguintes procedimentos:

- Montagem dos fundos de viga apoiados sobre os pontaletes, cavaletes ou garfos;
- Posicionamento das laterais das vigas, das guias, galgas, tensores e gravatas das vigas, travessões e pés direitos de apoio dos painéis de laje;
- Distribuição dos painéis da laje;
- Transferência dos eixos de referência do pavimento inferior;
- Fixação dos painéis da laje;
- Colocação das escoras das faixas de laje;
- Alinhamento das escoras de vigas e lajes;
- Nivelamento das vigas e lajes;
- Limpeza e liberação da forma para colocação da armadura.

b) Colocação das armaduras nas formas de vigas e lajes

Segundo Barros e Melhado (1998), considerando que as armaduras já estejam previamente cortadas e pré-montadas, tendo sido devidamente controlado o seu preparo, tem início seu posicionamento nas fôrmas, recomendando-se os seguintes procedimentos:

- Antes de colocar as armaduras nas fôrmas, deve-se colocar as pastilhas de cobertura;
- Posicionar a armadura de encontro viga-pilar (amarração) quando especificada em projeto;
- Marcar as posições das armaduras nas lajes;
- Montar a armadura na laje com a colocação das pastilhas de cobertura (fixação armadura com arame recozido nº 18);
- Chumbar os ferros para definição dos eixos.

Uma vez executada a armadura, deve-se fazer a liberação da laje para concretagem.

c) Procedimento para concretagem para vigas e lajes

A figura abaixo mostra o sistema de lançamento do concreto na laje:

FIGURA 6 - Concretagem laje maciça



Fonte:<<http://blog.vaivolta.com.br/wp-content/uploads/2014/08/concretagem.jpg>>

Barros e Melhado (1998) descrevem que o concreto utilizado para a concretagem das vigas e lajes poderá ser produzido na obra ou comprar de alguma central de distribuição e deverá ser controlado antes de sua aplicação, sendo que os ensaios mais comuns para o controle de recebimento do concreto são o “slump-test” e o controle da resistência à compressão (fck).

Uma vez liberado, o concreto deverá ser transportado para o pavimento, sendo este feito por elevadores de obra e jericas, guas ou caçambas, ou bombeamento.

d) Procedimento de desforma

Barros e Melhado (1998) afirmam que o procedimento deve respeitar o tempo de cura para início da desforma, que segundo a norma de execução de estruturas de concreto armado é dado por:

- 3 dias para retirada de fôrmas de faces laterais;
- 7 dias para a retirada de fôrmas de fundo, deixando-se algumas escoras bem encunhadas;
- 21 dias para retirada total do escoramento;

A figura abaixo demonstra o processo de retirada das fôrmas:

FIGURA 7 - Retirada das fôrmas



Fonte: <<http://i.ytimg.com/vi/HWNltr3rWqQ/maxresdefault.jpg>>

- Execução do reescoramento (antes do início da desforma propriamente dita);
- Retirada dos painéis com cuidado para não haver queda e danificá-los;
- Fazer a limpeza dos painéis;
- Efetuar os reparos e manutenções necessárias;
- Transportar os painéis para o local de montagem;
- Verificar o concreto das peças desformadas.

1.3.2 - Laje Nervurada Trelaçada

Agora veremos as principais definições e recomendações das normas brasileiras (ABNT) para as dimensões e verificações de projeto de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas.

As lajes trelaçadas, que também são conhecidas como nervuras trelaçadas unidirecionais ou bidirecionais se descrevem nos seguintes itens: Definição e características do sistema, vigotas trelaçadas, armaduras complementares, elementos de enchimento, prescrições normativas, vantagens e desvantagens, e o processo construtivo.

1.3.2.1 - Definição e Características do Sistema

O item 14.7.7 da NBR (6118/2014) fala que lajes nervuradas são lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada na nervura entre as quais pode ser colocado material inerte.

Segundo Cunha (2012) as lajes formadas por vigotas pré-moldadas são constituídas por elementos pré-fabricados lineares, elementos de enchimento e concreto moldado no local. Os elementos de enchimento podem ser de blocos cerâmicos, blocos de concreto, ou blocos de poliestireno expandido (EPS) como demonstra a figura a seguir.

FIGURA 8 - Laje nervurada treliçada com enchimento de EPS



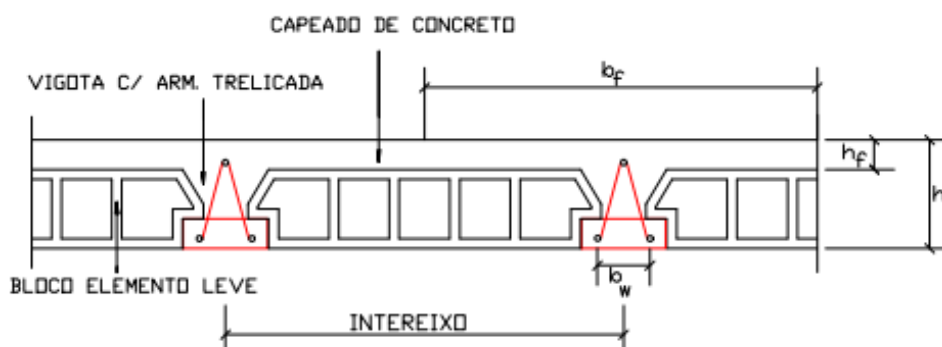
Fonte: <<http://www.construpor.com.br/imagens/produto4/5.jpg>>

Podem ser unidirecionais ou bidirecionais. O elemento pré-moldado, também denominado de vigota pré-moldada, pode ser encontrado em concreto armado, concreto protendido e em forma de treliça em uma base de concreto.

1.3.2.2 – Vigotas com Armaduras Treliçadas

A NBR 14859 (2002) relata que as vigotas pré-fabricadas são constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiros de obra, sob rigorosas condições de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal, como demonstrado na parte vermelha da figura abaixo:

FIGURA 9 - Seção transversal da laje treliçada

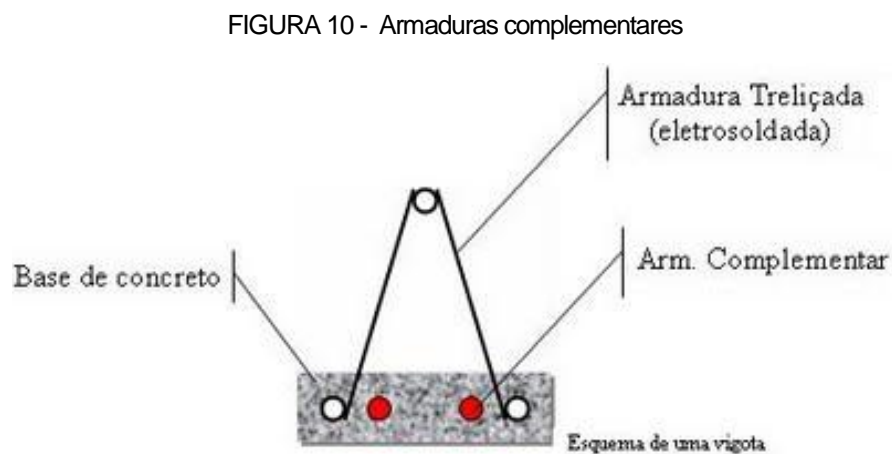


Fonte: (Albuquerque, Augusto; 1999)

Segundo a fábrica de lajes treliças (Lajes Norte Sul), os principais tipos de treliças usadas são as (H8, H12, H16 e H20) de 8cm, 12cm, 16cm e 20cm de altura. A diferença entre elas dá-se pela altura dos fios da treliça e o mais importante saber é a carga por m^2 que será submetida e o comprimento do vão.

1.3.2.3 – Armaduras Complementares

As armaduras complementares (Pontos vermelhos da figura 10) são utilizadas quando só a armadura treliçada não atende as solicitações.



Fonte: <<http://www.cessconsultoria.blogspot.com.br/2012/07/armadura-complementar-ou-adicional.html>>

Segundo a NBR 14859-1/2002 elas devem ser especificadas no projeto estrutural da laje, sendo inseridas durante a montagem, na longitudinal, transversal, de distribuição, superior de tração, previstas pela norma.

1.3.2.4 – Elementos de Enchimento

Segundo a NBR 14859(2002) elementos de enchimento, componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as vigotas em geral, com a função de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar. São desconsiderados como colaborantes nos cálculos de resistência e rigidez da laje.

As figuras abaixo mostram as vigotas treliçadas com dois materiais de enchimento usuais, a lajota cerâmica e o EPS conhecido tradicionalmente como isopor.

FIGURA 11 - Laje com enchimento de EPS



Fonte: <<http://mmlajes.com.br/portal/wp-content/uploads/2014/11/lajes-trelicadas-bi-direcional-g-10.jpg>>

FIGURA 12 - Laje com enchimento cerâmico



Fonte: <<http://www.fokintec.com.br/images/produtos/teste/grande.jpg>>

Os elementos de enchimento devem atender as normas quanto ao desempenho, as propriedades e sua utilização. Alguns cuidados devem ser tomados no período de trabalho, como resistência as cargas iniciais devido ao lançamento do concreto, flexão e a ruptura, todos estes requisitos são encontrados nos anexos A, B e C da NBR 14859(2002).

1.3.2.5 – Prescrições Normativas

As lajes pré-fabricadas são normalizadas pela NBR 6118/2014, porem a NBR 14859-1/2002 cita as premissas para o projeto que devem estar contidas no memorial de cálculo, ainda chama a atenção para as verificações dos estados limites de serviço.

Limites mínimos para espessura segundo a NBR 6118/2014:

A espessura da mesa, quando não existe tubulações horizontais embutidas, devem ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre as faces da nervuras e não menor que 4 cm.

O valor mínimo absoluto deve ser 4 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máxi 12,5 mm.

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

Para o projeto das lajes nervuradas devem ser obedecidas as seguintes condições:

a) Para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite consideração dos critérios de lajes;

b) para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 65 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for até de 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm;

c) para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maiores que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

1.3.2.6 – Vantagens

As lajes pré-moldadas tem se tornado comum na construção civil, devido algumas vantagens que oferecem. Segundo Borges (1997), a pré-fabricação é um

método industrial de construção no qual os elementos fabricados em série, por sistemas de produção em massa, são posteriormente montados em obra, tendo como principais vantagens a redução do tempo de construção, do peso da estrutura e, conseqüentemente, do custo final da obra. Pode-se ainda salientar como grande vantagem a ausência de fôrmas para as lajes, que depende só de alguns escoramentos entre as vigotas.

Conforme Muniz (1991), as lajes treliçadas apresentam vantagens como: a diminuição do peso-próprio da laje e o conseqüente alívio sobre as fundações; a possibilidade de embutir todas as instalações elétricas entre a capa de concreto e a base de concreto pré-moldado; em função do bom acabamento e regularidade superficial dos elementos pré-moldados, na face inferior é requerida apenas uma fina camada de regularização; redução significativa de fôrmas; sensível redução do escoramento das lajes.

Em lajes contínuas, Muniz (1991) descreve, ainda, que o uso de vigotas com armação treliçada permite a continuidade estrutural pela colocação de armadura negativa sobre os apoios, sem que isto signifique qualquer problema para a sua fixação. Eliminam-se as perdas das pontas dos vergalhões utilizados na preparação da armadura no canteiro decorrente da armação treliçada ser fabricada a partir de rolos de fios de aço trefilado CA-60, além de reduzir a quantidade de estoque e movimentação de materiais e pessoas no canteiro de obras, diminuindo a mão-de-obra de ferreiros, armadores e carpinteiros e aumentando a rapidez da construção da estrutura.

Dias (2008) destaca também que o uso de lajes pré-fabricadas reduz o aparecimento de fissuras pela condição de aderência entre o concreto do capeamento e o concreto da vigota pré-moldada. Facilita a colocação de nervuras moldadas “in loco” na direção perpendicular às vigotas e pode oferecer maior resistência ao cisalhamento em função da presença das diagonais da treliça.

1.3.2.7 – Desvantagens

Brumatti (2008) apresenta as seguintes desvantagens na execução da laje de nervuras treliçadas, que deve ser cuidadosa, pois pode apresentar trincas depois de pronta em razão da falta de aderência da capa de concreto. Quando executada

sem os elementos de enchimento pré-fabricados, a laje treliçada tem como desvantagem a baixa produtividade e a utilização intensiva de mão-de-obra. O trabalho de armação torna-se demorado e há dificuldade de concretagem. Por outro lado, este sistema é bastante limitado não podendo com ele atender e grandes cargas acidentais. Isso se deve a alguns fatores principais, tais como a falta de aderência entre a superfície das vigotas e o concreto de cobertura, não garantindo a monoliticidade a estrutura.

Ainda segundo Carvalho e Figueiredo (2001) as principais desvantagens são: maiores deformações ao longo do tempo em comparação com as tradicionais lajes maciças e também a dificuldade na execução das instalações prediais.

1.3.2.8 - Processo Construtivo

A edição de número 29 da Revista Equipe de Obra da Editora Pini demonstra lajes construídas com vigotas pré-fabricadas, com armaduras positivas e negativas e blocos vazados de EPS (isopor), escolhidos por serem mais leves (agilidade no transporte, manuseio e montagem e redução do peso sobre a estrutura e a fundação), isolantes (auxílio no conforto térmico) e impermeáveis (tornam a cura mais adequada, mais lenta). Em nosso trabalho, utilizaremos o EPS como enchimento. Podem ser utilizados também blocos vazados de cerâmica e concreto.

Segundo o artigo da revista Pini, primeiramente, é feito o escoramento de madeira apoiado em bases firmes, de preferência no contra piso. São evitados vãos com mais de 1,30m sem linha de escora, respeitando sempre no vão, a contra flecha indicada no projeto, como mostra a próxima figura.

FIGURA 13 - Escoramento



Fonte: <<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

Logo após, são colocadas escoras horizontais no sentido inverso do apoio das vigotas, sem forçá-las para cima. Os pontalotes, ou escoras verticais, devem ser apoiados sobre base firme, fixados com calços e cunhas, evitando o afundamento na hora da concretagem.

FIGURA 14 – Colocação das escoras



Fonte: <<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

De acordo com a publicação, as tábuas horizontais dos escoramentos devem ser niveladas pelo respaldo para vãos de até 2m. Acima dessa medida pode haver indicação de contra flecha de acordo com a especificação do projeto.

FIGURA 15 – Nivelamento das tábuas



Fonte: <<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

A editora destaca que a retirada dos escoramentos deve ser feita em um prazo mínimo de 18 dias após a execução da concretagem. No caso de laje de balanço, o prazo deverá ser de 28 dias.

As vigotas são colocadas, lado a lado, com as ferragens voltadas para cima, apoiadas nas extremidades sobre cinta de amarração ou sobre a parede de alvenaria. São feitos furos nos pontos previstos para a passagem das instalações elétricas. Fixa-se, então, as armaduras positivas e negativas, distribuídas no sentido transversal e perpendicular às vigotas, sempre seguindo as orientações e medidas do projeto, descreve o periódico.

FIGURA 16 – Colocação das vigotas e armaduras positivas e negativas



Fonte: <<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

Após as armaduras, coloca-se, então, os blocos de EPS a partir das extremidades, encaixados no espaço entre as vigotas, que servem de gabarito de montagem.

FIGURA 17 - Colocação dos EPS



Fonte: <<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

O artigo descreve que os blocos são cortados nos pontos de passagem de fios e cabos sobre a laje. São colocadas, ainda, as armaduras de distribuição por cima dos blocos de EPS, de acordo com as diretrizes do projeto. Antes de lançar o concreto, todas as lajetas e vigotas são muito bem molhadas para evitar que as peças absorvam a água existente no concreto.

FIGURA 18 - Lançamento do concreto



Fonte: <<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

FIGURA 19 - Sarrafeamento e nivelamento do concreto seguindo a altura das taliscas



Fonte: <<http://www.equipededeobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>

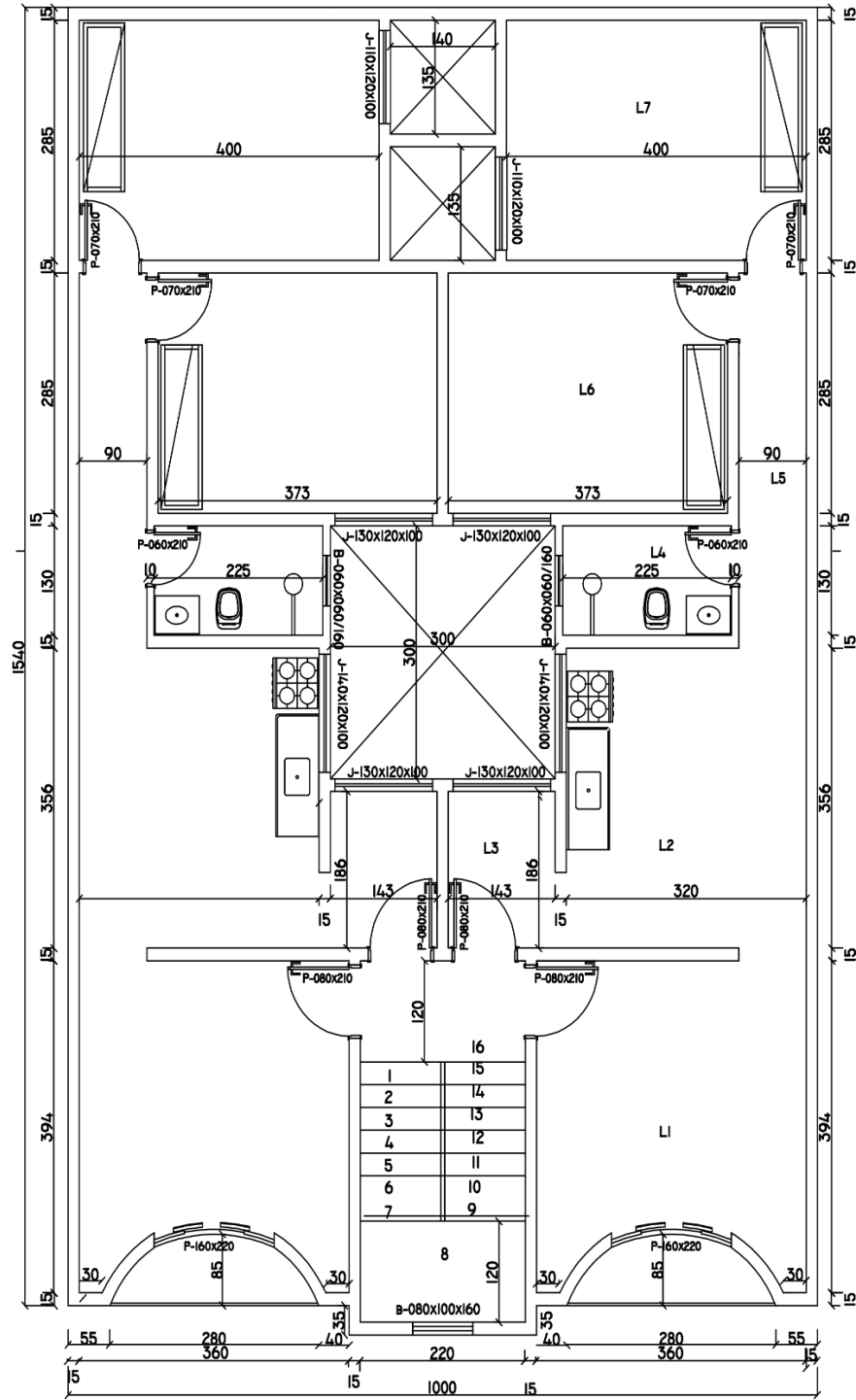
Após estes procedimentos, a laje recebe o acabamento, sendo colocado o tipo de piso escolhido.

1.4 – APRESENTAÇÃO DO PAVIMENTO TIPO

Para a realização deste projeto científico definimos como base para dimensionamento um pavimento de um projeto arquitetônico de um edifício residencial de pequeno porte. O pavimento é de uma obra realizada no Estado de Minas Gerais, na cidade de Piedade de Caratinga, na travessa Edelvina Rosa de Jesus no lote de nº 6, no centro da cidade.

O projeto arquitetônico possui um pavimento térreo com garagem, mais três pavimentos tipo com dois apartamentos por andar como demonstrado na figura da próxima página:

FIGURA 20 - Pavimento tipo utilizado para dimensionamento



PAVIMENTO TIPO

Fonte: Do autor.

2 – VERIFICAÇÃO DE DESEMPENHO DAS LAJES

Para realizarmos os cálculos que servirão de comparação no próximo capítulo, utilizaremos as dimensões da laje L_1 como base de análise, devido a esta possuir o “pano” mais crítico do pavimento tipo utilizado.

Neste trabalho, analisaremos os critérios da NBR 6118/2014 de Estado Limite de Deformação Excessiva, da Aceitabilidade Sensorial Visual, englobando flechas, abertura de fissuras e a vibração sentida no piso das lajes maciças e treliçadas.

As flechas segundo o item 17.3.2.1 da norma da ABNT, são deslocamentos permitidos devido o comportamento elástico linear do aço e do concreto, de modo que as seções ao longo do elemento estrutural possam ter as deformações específicas no estágio I, desde que os esforços não superem àqueles que dão início à fissuração, e no estágio II, em caso contrário.

Deve ser utilizado no cálculo o valor do módulo de elasticidade secante E_{cs} , sendo obrigatória a consideração do efeito da fluência.

Ainda de acordo com a prescrição normativa, a fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável, devido à grande variabilidade e à baixa resistência do concreto à tração. Mesmo sob ações de serviço, valores críticos de tensões de tração são atingidos. Visando obter bom desempenho quanto à proteção das armaduras junto à corrosão e à aceitabilidade sensorial dos usuários. Com os cálculos, tenta-se controlar a abertura dessas fissuras.

As lajes de concreto são muito suscetíveis, do ponto de vista da dinâmica, aos carregamentos induzidos por pessoas em atividades como caminhada, aeróbica ou ações sincronizadas em estádios, ginásios e salas de dança, por apresentar grandes vãos, pequenas espessuras e sofrer forte influência da rigidez das ligações. Chen e Aswad (1994) afirmam que o critério de vibração pode direcionar o projeto de pisos.

A seguir, serão realizadas análises através dos cálculos.

2.1 - LAJE MACIÇA

Figura 21 - Laje engastada com 3 bordas simplesmente apoiadas



Fonte: Extraída da NBR 6118:1980, adaptada por L.M. Pinheiro e P.R. Wolsfensberger

De acordo com Carvalho e Figueredo (2001) a determinação dos esforços de lajes maciças pode ser feita considerando as cargas em serviço, a partir da equação fundamental, ou simplesmente, montando outro tipo de modelo, visto que essa equação tem solução analítica para poucos casos. Dessa forma, tem-se o seguinte processo de resolução:

2.1.1 - Cálculo dos momentos fletores e das reações de apoio

Dados:

- C-20: Resistência característica do concreto
- CA-60: Resistência característica do aço
- $C = 2$ cm: Cobrimento
- Pavimento residencial
- Menor lado: $l_x = 375$ cm
- Maior lado: $l_y = 409$ cm

2.1.1.1 – Espessura

$$d = (2,5 - 0,1 \cdot n) \cdot \frac{l^*}{100}$$

$d \rightarrow$ altura útil

$n \rightarrow$ número de lados engastados

$l^* \rightarrow$ é o menor valor entre l_x e $0,7l_y$

$h \rightarrow$ altura total

Logo:

$$l^* \leq \begin{cases} l_x \\ 0,7l_y \end{cases} = \begin{cases} 375cm \\ 0,7 \cdot 409 = 286,3cm \end{cases}$$

$$l^* = 286,3cm$$

$$d = (2,5 - 0,1 \cdot 1) \cdot \frac{286,3}{100} = 6,9cm$$

$$h = d + C + \frac{\emptyset l}{2} = 6,9 + 2 + \frac{1}{2} = 9,4cm$$

OBS: adotaremos $h=10$ cm.

2.1.1.2 – Ações

$$\text{Peso próprio} \rightarrow 0,10m \cdot \frac{25KN}{m^3} = \frac{2,5KN}{m^2}$$

$$\text{Revestimento} \rightarrow 0,04m \cdot \frac{18KN}{m^3} = \frac{0,72KN}{m^2}$$

$$\text{Sobrecarga residencial} \rightarrow 1,50 KN/m^2$$

$$\text{Total} \rightarrow P = 4,72KN/m^2$$

2.1.1.3 – Reações de Apoio (Tabela 6 – Anexo 1)

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} = \frac{409}{375} = 1,09 \cong 1,1$$

$$\begin{cases} v_x = 2,01 \\ v_y = 2,85 \\ v'_y = 4,17 \end{cases}$$

$$V_x = v_x \cdot p \cdot \frac{l_x}{10} = 2,01 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75}{10} = 3,56 \frac{KN}{m}$$

$$V_y = v_y \cdot p \cdot \frac{l_x}{10} = 2,85 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75}{10} = 5,04 \text{ KN/m}$$

$$V'_y = v'_y \cdot p \cdot \frac{l_x}{10} = 4,17 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75}{10} = 7,38 \text{ KN/m}$$

2.1.1.4 – Momentos fletores (Tabela 7 – Anexo 2)

$$\begin{cases} \mu_x = 3,61 \\ \mu_y = 3,74 \\ \mu'_y = 9,18 \end{cases}$$

Valores extraídos de Bares (1972) e adaptados por L.M.Pinheiro.

$$m_x = \mu_x \cdot p \cdot \frac{l_x^2}{100} = 3,61 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75^2}{100} = 2,40 \text{ KN.m}$$

$$m_y = \mu_y \cdot p \cdot \frac{l_x^2}{100} = 3,74 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75^2}{100} = 2,48 \text{ KN.m}$$

$$m'_y = \mu'_y \cdot p \cdot \frac{l_x^2}{100} = 9,18 \cdot 4,72 \cdot \frac{3,75^2}{100} = 6,09 \text{ KN.m}$$

2.1.1.5 – Cálculo das armaduras

$$M_d = \gamma_f \cdot M_k$$

$$a_{s \min} = \frac{\rho_{\min}}{100} \cdot b_w \cdot h$$

$$a_{s \min} = \frac{0,150}{100} \cdot 100 \cdot 10 = 1,50 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad (\phi \text{ } 5,0 \text{ c}/13\text{cm})$$

$$\text{Espaçamento máximo para laje} \leq \begin{cases} 2 \cdot h = 2 \cdot 10 = 20\text{cm} \\ 20\text{cm} \end{cases}$$

$$\text{Diâmetro máximo} = \left\{ \frac{h}{8} = \frac{10}{8} = 1,25\text{cm} \right.$$

- Armadura para momento na direção do eixo x (paralelo ao menor lado)

$$M_k = m_x = 2,40 \text{ KN.m} = 240 \text{ KN.cm}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 240 = 336 \text{ KN.cm}$$

$$d = h - C - \frac{\phi l}{2} = 10 - 2 - \frac{1}{2} = 7,5\text{cm}$$

Segundo a tabela 8 (Anexo 3) elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro, de acordo com a NBR 6118/2003:

$$K_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{100,7,5^2}{336} = 16,74$$

$$K_s = 0,020$$

$$A_s = \frac{K_s \cdot M_d}{d} = \frac{0,020 \cdot 336}{7,5} = 0,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 0,89 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} < a_{s \text{ min}} = 0,67 \cdot 1,5 = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, $A_s = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\emptyset 5.0 \text{ c}/19 \text{ cm}$)

- Armadura para momento na direção do eixo y (paralelo ao maior lado)

$$M_k = m_y = 2,48 \text{ KN} \cdot \text{m} = 248 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 248 = 347,2 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

$$K_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{100,7,5^2}{347,2} = 16,20$$

$$K_s = 0,020$$

$$A_s = \frac{K_s \cdot M_d}{d} = \frac{0,020 \cdot 347,2}{7,5} = 0,92 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 0,92 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} < a_{s \text{ min}} = 0,67 \cdot 1,5 = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, $A_s = 1,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\emptyset 5.0 \text{ c}/19 \text{ cm}$)

- Armadura para momento negativo (y')

$$M_k = m'_y = 6,09 \text{ KN} \cdot \text{m} = 609 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

$$M_d = 1,4 \cdot 609 = 852,6 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

$$K_c = \frac{b \cdot d^2}{M_d} = \frac{100,7,5^2}{852,6} = 6,6$$

$$K_s = 0,021$$

$$A_s = \frac{K_s \cdot M_d}{d} = \frac{0,021 \cdot 852,6}{7,5} = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m} > a_{s \text{ min}} = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Logo, $A_s = 2,39 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($\emptyset 6.3 \text{ c}/13 \text{ cm}$)

$$A_{s, \text{ total}} = 1,01 + 1,01 + 2,39 = 4,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

2.1.2 - Verificação de Flechas

Valores limites (NBR 6118/2014) Tabela 9 (Anexo 4)

Item 17.3.2.1 da NBR6118/2014 (pág.125)

2.1.2.1 – Flecha imediata (a_i)

Assim que retiramos o escoramento.

$$a_i = \frac{5}{384} \times \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I_c}$$

Em que:

P - Ação atuante;

l - Vão do tramo;

E - Módulo de deformabilidade do concreto;

I_e - Inércia (Momento de Inércia calculada pela fórmula de Branson).

$$I_e = \left(\frac{M_R}{M_{máx}} \right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{máx}} \right)^3 \right] \cdot I_{II} \leq I_o$$

$$I_o = \frac{b \cdot h^3}{12} \rightarrow \text{seção retangular}$$

I_o → Momento de inércia da seção bruta

M_R → Momento de fissuração

$$M_R = \frac{\alpha_1 \cdot f_{ctm} \cdot I_o}{y \cdot t}$$

$$\alpha_1 = \left\{ \begin{array}{l} 1,2 - \text{Seção T} \\ 1,5 - \text{Seção retangular} \end{array} \right\}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = \text{Mpa}$$

I_{II} → Momento de inércia da seção fissurada

$$I_{II} = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s (d - X_{II})^2 + \alpha_e \cdot A'_s (X_{II} - d')^2$$

A'_s = armadura dupla (no noso caso não possui)

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}}$$

$$X_{II}^2 + \frac{2 \cdot \alpha_e}{b} [A_s(X_{II} - d) + A'_s(X_{II} - d)] = 0$$

2.1.2.2 – Flecha diferida (a_f)

- Flecha no infinito
- Fluência do concreto

$$a_f = \left(\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{1 + 50 \cdot \rho'} \right) \cdot a_i$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{A_c}$$

$\varepsilon \rightarrow$ Coeficiente em função do tempo

$$\varepsilon(t) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \rightarrow \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\varepsilon(t) = 2 \rightarrow \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

2.1.2.3 – Flecha total (a_t)

$$a_t = a_i + a_f$$

2.1.2.4 – Cálculos

- Cálculo de X_{II}

$$A'_s = 0$$

$$X_{II}^2 + \frac{2 \cdot \alpha_e}{b} [A_s(X_{II} - d) + A'_s(X_{II} - d)] = 0$$

- Cálculo do E_{cs}

$$a) \quad E_{ci} = \alpha_e \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \rightarrow 20 \text{ Mpa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ Mpa}$$

$$b) \quad E_{ci} = 21,5 \times 10^3 \cdot \alpha_e \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{\frac{1}{3}} \rightarrow 55 \text{ Mpa} \leq f_{ck} \leq 90 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_E \begin{cases} 1,2 \rightarrow \text{Basalto/ diabásio} \\ 1,0 \rightarrow \text{Granito/ Gnaisse} \\ 0,9 \rightarrow \text{Calcário} \\ 0,7 \rightarrow \text{Arenito} \end{cases}$$

$$E_{ci} = 1,05600 \sqrt{20} \cong 25000 \text{MPa}$$

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci}$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{20}{80} = 0,85$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 25000 = 21250 \text{Mpa} = 2125 \text{KN/cm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} = \frac{210000 \text{Mpa}}{21250 \text{Mpa}} = 9,88$$

Logo:

$$X_{II}^2 + \frac{2 \cdot 9,88}{100} [1,01(X_{II} - 7,5) + 0] = 0$$

$$X_{II}^2 + 0,1976X_{II} - 1,50 = 0$$

$$X_{II} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-0,199 \pm \sqrt{0,199^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-1,50)}}{2} = 1,13 \text{cm}$$

• Cálculo de I_{II}

$$I_{II} = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s (d - X_{II})^2 + \alpha_e \cdot A'_s (X_{II} - d')^2$$

$$I_{II} = \frac{100 \cdot 1,13^3}{3} + 9,88 \cdot 4,41 (7,5 - 1,13)^2 + 0$$

$$I_{II} = 1816 \text{cm}^4$$

• Cálculo de I_e

a) Cálculo de M_R

$$f_{ctm} = 0,221 \text{KN/cm}^2$$

$$M_R = \frac{\alpha_1 \cdot f_{ctm} \cdot I_o}{y_t}$$

$y_t \rightarrow$ Distância do CG da seção transversal à fibra mais comprimida

$$y_t = \frac{b}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{cm}$$

$$\alpha_1 = 1,5$$

$$M_R = \frac{1,5 \cdot 0,221 \text{KN/cm}^2 \cdot 8333 \text{cm}^4}{5 \text{cm}} = 552 \text{KN} \cdot \text{cm} = 5,52 \text{KN} \cdot \text{m}$$

Como $M_R = 5,52 \text{KN} \cdot \text{m} > m_x = 2,40 \text{KN} \cdot \text{m}$

Obs: Sendo o momento resistente de fissuração maior que o momento na direção do eixo x (paralelo ao menor lado) logo não haverá fissuras na seção.

b) Cálculo do momento máximo

Usa-se a combinação quase permanente NBR6118/2014 (pág.65)

$$F_{serv} = g + 0,3 \cdot q = 3,22 + 0,3 \cdot 1,5 = 3,67 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{3,67 \cdot 3,75^2}{8} = 6,45 \text{ KN} \cdot \text{m} = 645 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

c) I_e

$$I_e = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \right] \cdot I_{II} \leq I_o$$

$$I_e = \left(\frac{552}{645} \right)^3 \cdot 8333 + \left[1 - \left(\frac{552}{645} \right)^3 \right] \cdot 1816 \leq I_o$$

$$I_e = 5900 \text{ cm}^4 \leq I_o = 8333 \text{ cm}^4 \text{ (ok)}$$

Obs: Não havendo fissuras, a flecha será calculada com:

I_o (Momento de inércia na seção bruta) = I_c (Momento de inércia à flexão)

- Flecha imediata (a_i)

$$a_i = \frac{5}{384} \cdot \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

$$a_i = \frac{5}{384} \cdot \frac{\left(\frac{3,67}{100} \right) \cdot 375^4}{2125 \cdot 8333} = 0,53 \text{ cm}$$

- Flecha diferida (a_f)

$$\varepsilon(t) = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \rightarrow \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\varepsilon(t) = 2 \rightarrow \text{para } t > 70 \text{ meses}$$

$$a_f = \left(\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{1 + 50 \cdot \rho'} \right) \cdot a_i$$

$$a_f = \left(\frac{2 - 0,68}{1 + 50 \cdot 0} \right) \cdot 0,53 = 0,70 \text{ cm}$$

- Flecha Total (a_t)

$$a_t = a_i + a_f$$

$$a_t = 0,53 + 0,70 = 1,23 \text{ cm}$$

Flecha limite (tabela 3.3 NBR 6118/2014)

Os limites mais comuns que verifica-se, são:

- Aceitabilidade sensorial-visual

$$a_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{375}{250} = 1,5 \text{ cm}$$

Como $a_t = 1,23 \text{ cm} < a_{lim} = 1,5 \text{ cm} \rightarrow (\text{ok})$

Obs: Sendo a flecha total menor que a flecha limite não há necessidade de redimensionar ou aplicar a contra flecha.

2.1.3 - Verificação de Vibração

- Aceitabilidade Sensorial –Vibração (Sentido no piso)
- $M_{m\acute{a}x} \rightarrow$ Combinação permanente

$$F_{serv} = q$$

$$g = 3,22 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{3,22 \cdot 3,75^2}{8} = 5,66 \text{ KN.m} = 566 \text{ KN.cm}$$

$$a_{ig} = \frac{5}{384} \cdot \frac{3,22}{2125} \cdot \frac{375^4}{8333} = 0,47 \text{ cm}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \right] \cdot I_{II}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{552}{566} \right)^3 \cdot 8333 + \left[1 - \left(\frac{552}{566} \right)^3 \right] \cdot 1816$$

$$I_{ep} = 7861 \text{ cm}^4$$

- \rightarrow Combinação rara

$$F_{serv} = g + q = 3,22 + 1,5 = 4,72 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{4,72 \cdot 3,75^2}{8} = 8,30 \text{ KN.m} = 830 \text{ KN.cm}$$

$$I_{er} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \right] \cdot I_{II}$$

$$I_{er} = \left(\frac{552}{830} \right)^3 \cdot 8333 + \left[1 - \left(\frac{552}{830} \right)^3 \right] \cdot 1816$$

$$I_{er} = 3733 \text{ cm}^4$$

$$a_{i(g+q)} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,22 \cdot 375^4}{2125 \cdot 8333} = 0,614 \text{ cm}$$

$$a_q = a_{i(g+q)} - a_{ig} = 0,614 - 0,47 = 0,144 \text{ cm}$$

$$a_{lim} = \frac{l}{350} = \frac{375}{350} = 1,07 \text{ cm}$$

$$a_q < a_{lim} \rightarrow (ok)$$

2.1.4 - Verificação de Fissuração

Obs: Como não houve fissuras não será preciso à verificação no momento negativo. Portanto verificaremos para o momento positivo (m_y).

- → *Combinação frequente*

$$F_{serv} = g + 0,4 \cdot q = 3,22 + 0,4 \cdot 1,5 = 3,82 \text{ KN/m}^2$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot 20^{\frac{2}{3}} = 0,021 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 210000 \text{ Mpa}$$

→ *Coeficiente de deformação superficial do aço* → η_1

$$CA - 25 \rightarrow \eta_1 = 1$$

$$CA - 50 \rightarrow \eta_1 = 2,25$$

$$CA - 60 \rightarrow \eta_1 = 1,4$$

- → *Tensão sobre armadura de tração (Estádio II)*

$$\sigma_s = \left(\frac{M_F}{E_{cs} \cdot I_{eF}} \right) \cdot \left(\frac{d - X_{II}}{X_{II}} \right) \cdot E_s$$

Segundo a NBR 6118/2014, para cada barra tracionada, devemos considerar uma área de concreto de envolvimento (A_{cr}) constituídas por retângulos cujos lados não distem mais de $7,5 \phi$ do eixo da barra da armadura.

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}}$$

Deve-se, então, definir a Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

A abertura das fissuras será menor entre os valores abaixo:

$$\omega_1 = \frac{3\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s^2}{E_s \cdot f_{ctm}}$$

$$\omega_2 = \frac{\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_R} + 45 \right)$$

Para a verificação ser atendida deve-se atender aos critérios:

$$CAA I \rightarrow \omega \leq 0,4mm$$

$$CAA II/III \rightarrow \omega \leq 0,3mm$$

$$CAA IV \rightarrow \omega \leq 0,2mm$$

- Verificação de Fissuração

$$g = 3,22$$

$$q = 1,5$$

- Cálculo dos Parâmetros

$$P = g + 0,4 \cdot q = 3,22 + 0,4 \cdot 1,5 = 3,82 \text{ KN/m}^2$$

$$M_F = \frac{3,82 \cdot 4,09^2}{8} = 7,99 \text{ KN.m} = 799 \text{ KN.cm}$$

$$f_{ctm} = 2,21 \text{ Mpa} \rightarrow 0,221 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_{cs} = 2125 \text{ KN/cm}^2$$

$$\eta_1 = 1,4$$

$$X_{II} = 1,13 \text{ cm}$$

Item 17.3.3.2 da NBR 6118/2014 $\rightarrow \alpha_e = 15$

$$I_{IIF} = \frac{100 \cdot 1,13^3}{3} + 15 \cdot 4,41 \cdot (7,5 - 1,13)^2$$

$$I_{IIF} = 2732 \text{ cm}^4$$

$$I_{eF} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \right] \cdot I_{IIF}$$

$$I_{eF} = \left(\frac{552}{799} \right)^3 \cdot 8333 + \left[1 - \left(\frac{552}{799} \right)^3 \right] \cdot 2732$$

$$I_{eF} = 4579 \text{ cm}^4$$

- Área envolvente e CAA

$$ev \geq \begin{cases} \emptyset \\ 2 \text{ cm} \\ 0,5 \emptyset \text{ Agregado} \end{cases}$$

$$ev = 2 \text{ cm}$$

$$ch \geq \begin{cases} \emptyset \\ 2 \text{ cm} \\ 1,2 \emptyset \text{ Agregado} \end{cases}$$

$$X = 7,5\emptyset + 1,5\emptyset + ev + \emptyset t + C$$

$$X = 7,5 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot 0,5 + 2 + 0 + 2 = 8,5 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = b \cdot X = 100 \cdot 8,5 = 850 \text{ cm}^2$$

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{4,41}{850} = 0,00519 \rightarrow (0,519\%)$$

$$CAA II \rightarrow \omega \leq 0,3 \text{ mm}$$

- Cálculo σ_s

$$M_F = F_s \cdot Z$$

$$F_s = \frac{M_F}{Z} = \frac{M_F}{d - \frac{X_{II}}{3}}$$

$$F_s = \frac{799}{7,5 - \frac{1,13}{3}} = 112,17 \text{ KN} \cong 112 \text{ KN}$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_s} = \frac{112}{4,41} = 25,40 \text{ KN/cm}^2$$

- Cálculo da abertura das fissuras e verificação

$$\omega_1 = \frac{3\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s^2}{E_s \cdot f_{ctm}} = \frac{3 \cdot 0,5}{12,5 \cdot 1,4} \cdot \frac{25,40^2}{210000 \cdot 0,221} = 0,0139 \text{ mm}$$

$$\omega_2 = \frac{\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_R} + 45 \right) = \frac{0,5}{12,5 \cdot 1,4} \cdot \frac{25,40}{210000} \left(\frac{4}{0,00519} + 45 \right) = 0,0028 \text{ mm}$$

$$\omega_2 = 0,0028 \text{ mm} < \omega = 0,3 \text{ mm (ok)}$$

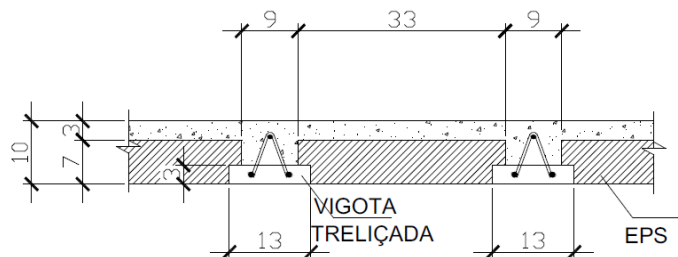
Obs: Logo também não houve fissuras para o momento positivo.

2.2 - LAJE TRELIÇADA

2.2.1 - Verificação de Flechas em Vigotas Pré-moldadas

- Valores Limites (NBR 6118/2014) Tabela 13.3 – Página 77.
- Item 17.3.2.1 da NBR 6118/2014 – Página 125.

FIGURA 22 - Seção típica da Laje



Fonte: Recomendações para Projeto de Lajes Formadas por Vigotas com Armação treliçada (Cunha 2012. Pág 80)

Exemplo típico de lajes por vigotas treliçadas:

O momento de inércia equivalente é calculado conforme a expressão de Branson que está na NBR 6118/2014.

Adotamos o dimensionamento por limite dos domínios 3 e 4 para obter o máximo de profundidade da linha neutra limite em 0,628. A laje tem 10 cm de altura e cobrimento de 1,5 cm, portanto, a altura útil da seção é 8,29 cm.

Admitindo a largura da mesa colaborante da laje igual ao intereixo, de 42 cm, pode-se encontrar a altura do centro de gravidade da seção transversal da laje L_1 , em análise.

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

A expressão para o cálculo da flecha máxima, considerando vinculação da laje como apoiada-apoiada é:

$$a_i = \frac{5}{384} \times \frac{P \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Dados para cálculo da laje L_1 :

C – 20 - Resistência característica do concreto

CA – 60 - Resistência característica do aço

C = 1,5 cm (Cobrimento Nominal)

$l_x = 375\text{cm}$ (Menor lado)

$l_y = 409\text{cm}$ (Maior lado)

$A_s = 0,276\text{ cm}^2 \rightarrow$ Área de aço da armadura inferior

$A_g = (b_f - b_w) \cdot h_f + b_w \cdot h = (42 - 13) \cdot 3 + 13 \cdot 10 = 217\text{ cm}^2$

$b_f \rightarrow$ Largura da mesa da seção T = 42 cm

$b_w \rightarrow$ Largura da alma da seção T = 13 cm

$h_f \rightarrow$ Altura da mesa da seção T = 3 cm

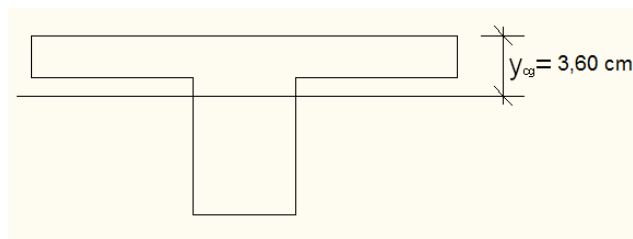
$h \rightarrow$ Altura total da seção T = 10 cm

Posição do centro de gravidade à partir da borda superior da seção (y_{cg})

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

$$y_{cg} = \frac{(42 - 13) \cdot \left(\frac{3^2}{2}\right) + 13 \cdot \frac{10^2}{2}}{217} = 3,60\text{ cm}$$

FIGURA 23 - CG da seção transversal a partir da borda superior da seção



Fonte: Adaptado de Silva, B. R. (2012. Pág. 99)

Momento de Inércia à flexão (I_c):

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

$$I_c = \frac{(42 - 13) \cdot 3^3}{12} + \frac{13 \cdot 10^3}{12} + (42 - 13) \cdot 3 \cdot \left(3,60 - \frac{3}{2}\right)^2 + 13 \cdot 10 \cdot \left(3,60 - \frac{10}{2}\right)^2$$

$$I_c = 1787\text{ cm}^4$$

O cálculo do momento de inércia da seção fissurada no estágio II exige a homogeneização da seção, que é feita a partir da razão do módulo de elasticidade do aço e do concreto (α_e), como descreve a NBR 6118/2014.

$$E_{cs} = 0,85 \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} = 0,85 \cdot 5600 \sqrt{20} = 21287 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} = \frac{210000 \text{ Mpa}}{21287 \text{ Mpa}} = 9,86 \text{ Mpa}$$

Admitindo que a linha neutra (X_{II}) passe pela mesma seção transversal ($X_{II} < h_f$) de maneira que $b_w = b_f$, não contendo armadura superior comprimida ($A'_s = 0$).

$$a_1 = \frac{b_w}{2} = \frac{42}{2} = 21 \text{ cm}$$

$$a_2 = h_f \cdot (b_f - b_w) + (\alpha_e - 1) \cdot A'_s + \alpha_e \cdot A_s = 2,72 \text{ cm}^2$$

$$a_3 = -d' \cdot (\alpha_e - 1) \cdot A'_s - d \cdot \alpha_e \cdot A_s - \frac{h_f^2}{2} \cdot (b_f - b_w)$$

$$d = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 10 - \left(1,5 + \frac{0,42}{2} \right) = 8,29 \text{ cm}$$

$$a_3 = -22,56 \text{ cm}^4$$

$$X_{II} = \frac{-a_2 + \sqrt{a_2^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} = \frac{-2,72 + \sqrt{2,72^2 - 4 \cdot 21 \cdot (-22,56)}}{2 \cdot 21} = 0,97 \text{ cm}$$

$$\text{Logo: } X_{II} < h_f$$

Portanto, a linha neutra passa na mesa da seção transversal, sendo o momento de inércia no Estádio II obtido pela expressão:

$$I_{II} = \frac{b \cdot X_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s (d - X_{II})^2 + \alpha_e \cdot A'_s (X_{II} - d')^2$$

$$I_{II} = \frac{42 \cdot 0,97^3}{3} + 9,86 \cdot 0,276 \cdot (0,97 - 8,29)^2$$

$$I_{II} = 159 \text{ cm}^4$$

O momento de fissuração (M_R) para seção "T" é obtido através da expressão:

$$M_R = \frac{\alpha_1 \cdot f_{ctm} \cdot I_o}{y_t}$$

Sendo:

$$\alpha = 1,2 \text{ (seção T)}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 0,3 \cdot 20^{\frac{2}{3}} = 2,210 \text{ Mpa} = 0,221 \text{ KN.cm}$$

$$f_{ck1} = \beta_1 \cdot f_{ck} = 0,859 \cdot 20 = 17,08$$

$$\beta_1 = \exp. \left\{ 5 \cdot \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} = 0,854361$$

Para $t = 14$ dias

$I_c \rightarrow$ Momento de inércia da seção bruta de concreto

$y_t \rightarrow$ Distância do centro de gravidade da seção bruta à fibra mais tracionada.

Substituindo valores:

$$M_R = \frac{\alpha_1 \cdot f_{ctm} \cdot I_o}{y_t} = \frac{1,2 \cdot 0,221 \cdot 1787}{(10 - 3,60)} = 74,05 \text{ KN} \cdot \text{cm} = 0,74 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Para a combinação quase permanente ($\psi_2 = 0,3$), a carga uniformemente distribuída e o momento fletor máximo atuante nas nervuras são obtidas por:

$$P = g + 0,3 \cdot q = 3,22 + 0,3 \cdot 1,5 = 3,67 \text{ KN/m}^2$$

$$3,67 \text{ KN/m}^2 \cdot 0,42 = 1,54 \text{ KN/m}$$

$$M_a = M_{m\acute{a}x} = \frac{P \cdot l^2}{8} = \frac{1,54 \cdot 3,75^2}{8} = 2,71 \text{ KN} \cdot \text{m} = 271 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

2.2.1.1 - Flecha Imediata

Segundo a NBR 6118/2014, para a combinação quase permanente de ações, calcula-se a flecha imediata (sem o efeito da fluência do concreto) com a expressão clássica de flechas para vigas simplesmente apoiada.

$$a_i = \frac{5}{384} \times \frac{P \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Onde "P" é a carga uniformemente distribuída na nervura.

$l \rightarrow$ O vão

$E \rightarrow$ O momento de elasticidade do material

$I \rightarrow$ Momento de inércia à flexão

Como a seção foi homogeneizada com a seção de concreto equivalente, utiliza-se o módulo de elasticidade do concreto na expressão da flecha para a consideração da fissuração. Utiliza-se na expressão da flecha o momento de inércia à flexão equivalente, calculado por:

$$I_{eq} = \left(\frac{M_R}{M_a}\right)^3 \cdot I_c + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_a}\right)^3\right] \cdot I_{II}$$

Onde,

$M_R \rightarrow$ Momento de fissuração

$M_a \rightarrow$ Momento atuante na seção

$$I_{eq} = \left(\frac{74,05}{271}\right)^3 \cdot 1787 + \left[1 - \left(\frac{74,05}{271}\right)^3\right] \cdot 159 = 192 \text{ cm}^4$$

Logo a flecha imediata é expressa por:

$$a_i = \frac{5}{384} \times \frac{1,54 \cdot 3,75^4}{1252 \times 10^4 \cdot 192 \times 10^{-8}} = 0,16 \text{ m} = 1,16 \text{ cm}$$

2.2.1.2 - Flecha diferida no tempo

Para considerar o efeito na fluência deve-se determinar o fator " a_f ", segundo a NBR 6118, no item 17.3.2.1.2.

$$a_f = \left(\frac{\varepsilon_{(\infty)} - \varepsilon_{(t_0)}}{1 + 50 \cdot \rho'}\right)$$

Onde:

$\rho = 0$, pois não há armadura comprimida.

$\varepsilon_{(\infty)} = 2$ (valor fixo para > 70 meses)

$t_0 = \frac{14}{30} = 0,47$ = a idade em dias, relativa à data de aplicação da ação de

longa duração (Neste caso, 14 dias).

$$\varepsilon_{(t)} = 0,68 \cdot (0,996^t) \cdot t^{0,32} \rightarrow \text{para } t \leq 70 \text{ meses}$$

$$\varepsilon_{(t)} = 0,68 \cdot (0,996^{0,47}) \cdot 0,47^{0,32} = 0,53$$

Substituindo os valores

$$a_f = \left(\frac{2 - 0,53}{1}\right) = 1,47 \text{ cm}$$

2.2.1.3 - Flecha total

O valor da flecha total no tempo infinito é obtido a partir da flecha imediata multiplicada pelo fator “ a_f ”.

$$a_t = a_i(1 + a_f) = 1,16 \cdot (1 + 1,47) = 2,86 \text{ cm}$$

O limite para aceitabilidade sensorial visual segundo a NBR 6118/2014 é:

$$a_{lim} = \frac{l}{250} = \frac{375}{250} = 1,50 \text{ cm}$$

Como $a_t > a_{lim}$, não atende.

Como solução, podemos redimensionar ou aplicar a contra flecha (a_c).

$$a_c = a_i \left[1 + \frac{\left(\frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t_0)}{1 + 50 \cdot \rho'} \right)}{2} \right] = a_i + \frac{a_f}{2}$$

$$a_c = 1,16 + \frac{1,47}{2} = 1,89 \text{ cm} \rightarrow \text{contra flecha máxima}$$

$$a_t - a_{lim} = 2,86 - 1,5 = 1,36 \text{ cm}$$

Logo:

A contra flecha necessária é de 1,36 cm, que passa pela verificação. De acordo com a NBR 6118, a flecha máxima permitida é de 1,89cm.

2.2.2 - Aceitabilidade Sensorial Visual - Vibração (Sentida no piso)

$M_{m\acute{a}x} \rightarrow$ Combinação permante

$$F_{serv} = g \rightarrow g = 3,22 \text{ KN/m}$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F_{serv} \cdot l^2}{8} = \frac{3,22 \cdot 3,75^2}{8} = 5,66 \text{ KN} \cdot \text{m} \rightarrow 566 \text{ KN} \cdot \text{cm}$$

$$a_{ig} = \frac{5}{384} \frac{3,22 \cdot 3,75^4}{1252 \times 10^4 \cdot 1,63 \times 10^{-8}} = 0,41 \text{ cm}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \cdot I_O + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}} \right)^3 \right] \cdot I_{II}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{74,05}{566}\right)^3 \cdot 1787 + \left[1 - \left(\frac{74,05}{566}\right)^3\right] \cdot 159$$

$$I_{ep} = 163 \text{ cm}^4$$

Combinação rara

$$F_{serv} = g + q = 3,22 + 1,5 = 4,72 \text{ KN/m}^2$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{F_{serv} \cdot l^2}{8} = \frac{4,72 \cdot 3,75^2}{8} = 8,30 \text{ KN.m} = 830 \text{ KN.cm}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}\right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}\right)^3\right] \cdot I_{II}$$

$$I_{ep} = \left(\frac{74,05}{830}\right)^3 \cdot 1787 + \left[1 - \left(\frac{74,05}{830}\right)^3\right] \cdot 159$$

$$I_{ep} = 160 \text{ cm}^4$$

$$a_{i(g+q)} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,72 \cdot 3,75^4}{1252 \times 10^4 \cdot 160 \times 10^{-8}} = 0,61 \text{ cm}$$

$$a_q = a_{i(g+q)} - a_{ig}$$

$$a_q = 0,61 - 0,41 = 0,2 \text{ cm}$$

$$a_{lim} = \frac{l}{350} = \frac{375}{350} = 1,07 \text{ cm}$$

Como $a_q < a_{lim}$ (ok)

2.2.3 - Aceitabilidade Sensorial Visual – Verificação da Fissuração

→ Combinação frequente

$$F_{serv} = g + 0,4 \cdot q$$

→ Coeficiente de conformação superficial do aço (η_1)

$$CA - 25 \rightarrow \eta_1 = 1$$

$$CA - 50 \rightarrow \eta_1 = 2,25$$

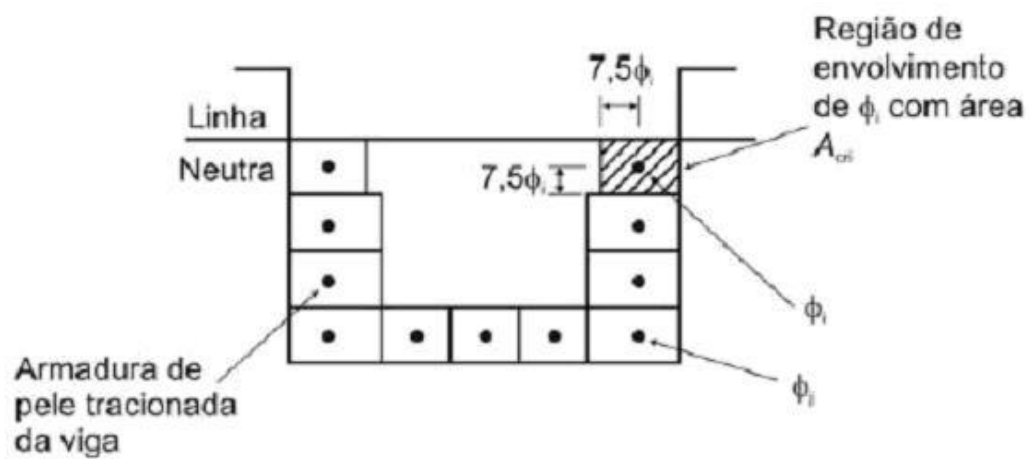
$$CA - 60 \rightarrow \eta_1 = 1,4$$

→ Tensão sobre a armadura de tração (Estádio II)

$$\sigma_s = \left(\frac{M_F}{E_{cs} \cdot I_{eF}}\right) \cdot \left(\frac{d - X_{II}}{X_{II}}\right) \cdot E_s$$

Segundo a NBR 6118/2014, para cada barra tracionada, devemos considerar uma área de concreto de envolvimento (A_{cr}) constituída por retângulos cujos lados não distem mais de $7,5 \phi$ do eixo da barra da armadura (Figura 24).

FIGURA 24 - Concreto de envolvimento da armadura



Fonte: NBR 6118/2014 - Página 128

$$\rho_{A_{cr}} = \frac{A_s}{A_{cr}}$$

Deve-se definir a Classe de Agressividade Ambiental (CAA).

A abertura das fissuras será menor entre os valores abaixo:

$$\omega_1 = \frac{3\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s^2}{E_s \cdot f_{ctm}}$$

$$\omega_2 = \frac{\phi}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_R} + 45 \right)$$

Para a verificação ser atendida deve-se atender aos critérios:

$$CAA I \rightarrow \omega \leq 0,4mm$$

$$CAA II/III \rightarrow \omega \leq 0,3mm$$

$$CAA IV \rightarrow \omega \leq 0,2mm$$

Cálculo dos parâmetros

$$P = F_{serv} = 3,22 + 0,4 \cdot 1,5 = 3,82 \text{ KN/m}^2$$

$$M_F = \frac{3,82 \cdot 3,75^2}{8} = 6,71 \text{ KN.m} = 671 \text{ KN.cm}$$

$$f_{ctm} = 2,21 \text{ Mpa} \rightarrow 0,221 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_{cs} = 1252 \text{ KN/cm}^2$$

$$\eta_1 = 1,4$$

$$X_{II} = 0,97 \text{ cm}$$

Item 17.3.3.2 da NBR 6118/2014 $\rightarrow \alpha_e = 15$

$$I_{IIF} = \frac{13 \cdot 0,97^3}{3} + 15 \cdot 0,276(8,29 - 0,97)^2$$

$$I_{IIF} = 226 \text{ cm}^4$$

$$I_{eF} = \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}\right)^3 \cdot I_o + \left[1 - \left(\frac{M_R}{M_{m\acute{a}x}}\right)^3\right] \cdot I_{IIF}$$

$$I_{eF} = \left(\frac{74,05}{671}\right)^3 \cdot 1787 + \left[1 - \left(\frac{74,05}{671}\right)^3\right] \cdot 226$$

$$I_{eF} = 228 \text{ cm}^4$$

- Área envolvente e CAA

$$\text{Brita 1} \rightarrow \phi Ag = 19 \text{ mm}$$

$$ev \geq \left\{ \begin{array}{l} \phi = 0,42 \\ 2 \text{ cm} \\ (0,5 \phi \text{ Agregado} = 0,95) \end{array} \right\}$$

$$X = 7,5\phi + 1,5\phi + \phi t + C$$

$$X = 7,5 \cdot 0,42 + 1,5 \cdot 0,42 + 0 + 1,5 = 5,28 \text{ cm}$$

$$A_{cr} = 13 \cdot 5,28 = 68,64 \text{ cm}^2$$

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{cr}} = \frac{0,276}{68,64} = 0,00402 \rightarrow (0,4 \%)$$

CAA II \rightarrow área urbana (moderada) $\rightarrow \omega \leq 0,3 \text{ mm}$

- Cálculo σ_s

$$M_F = F_S \cdot Z$$

$$F_S = \frac{M_F}{Z} = \frac{M_F}{d \cdot \frac{X_{II}}{3}}$$

$$F_S = \frac{671}{8,29 - \frac{0,97}{3}} = 84,23 \text{ KN}$$

$$\sigma_s = \frac{F_S}{A_s} = \frac{84,23}{0,276} = 305 \text{ KN/cm}^2$$

- Cálculo da abertura das fissuras e verificação

$$\omega_1 = \frac{3 \cdot 0,42}{12,5 \cdot 1,4} \cdot \frac{305^2}{210000 \cdot 0,221} = 0,14 \text{ mm}$$

$$\omega_2 = \frac{0,42}{12,5 \cdot 1,4} \cdot \frac{305}{210000} \left(\frac{4}{0,00402} + 45 \right) = 0,036 \text{ mm}$$

$$\omega_2 = 0,036 \text{ mm} < \omega = 0,3 \text{ mm} \text{ (Atende os critérios da norma)}$$

3 - COMPARATIVO DE DESEMPENHO DAS LAJES NO PAVIMENTO TIPO

Neste capítulo, realizaremos a comparação de desempenho das lajes maciça e treliçada. Como visto anteriormente, a laje L_1 foi utilizada para a realização dos cálculos.

Para o cálculo de flechas, vibração e fissuração, foram utilizados os parâmetros de Aceitabilidade Sensorial Visual da NBR 6118/2014 no Estado Limite de Deformações Excessivas (ELS-DEF).

Observamos através dos resultados que a estrutura da laje maciça é melhor homogeneizada e torna-se uma estrutura mais rígida, ou seja, ela recebe as ações atuantes e as distribui melhor sobre a placa, reduzindo o deslocamento. Já a laje treliçada, que é uma estrutura pré-moldada, não consegue obter os mesmos resultados devido a sua flexibilidade.

Assim, podemos ver na tabela abaixo que os valores obtidos para as flechas da laje maciça obtiveram menores deslocamentos que as lajes treliçadas. Mesmo as verificações sendo atendidas pela norma, podemos notar um maior desconforto visual na estrutura que utiliza vigotas pré-moldadas.

TABELA 3 - Comparativo das Flechas da laje L_1

<i>Laje L_1</i>	FLECHAS	
	LAJE MACIÇA	LAJE TRELIÇADA
FLECHA INICIAL a_i	0,53 cm	1,16 cm
FLECHA DIFERIDA a_f	0,70 cm	1,47 cm
FLECHA TOTAL a_t	1,23 cm	2,86 cm
FLECHA LIMITE a_{lim}	1,5 cm	1,50 cm
CONTRA FLECHA $a_{c\ máx}$	-	1,89 cm
CONTRA FLECHA a_c	-	1,36 cm

Fonte: Do autor

Desde o primeiro instante em que se retira o escoramento das lajes, podemos notar a variação de deslocamento da placa de acordo com os valores descritos na tabela. Com o passar do tempo, a flecha tende a aumentar, mas a mesma nunca deve ultrapassar o valor limite. Assim, em ambos os casos, houve a necessidade de aplicar uma contra flecha permitida por norma para combater o deslocamento excessivo da placa.

Já vibração está diretamente ligada à rigidez, ou seja, sofre a influência do comprimento do vão do elemento, do seu módulo de elasticidade (propriedade material), da sua inércia (propriedade geométrica) e das condições de vínculo. Perceba-se que quanto mais flexível for a estrutura, maior a vibração.

Na verificação quanto à vibração, segundo o deslocamento permitido pelas normas técnicas, a laje maciça obteve resultados melhores do que a laje treliçada, causando menos vibrações da placa, como pode ser visto na tabela abaixo. O deslocamento máximo da laje de treliça chega próximo ao limite estabelecido, mas não ultrapassa o mesmo.

TABELA 4 - Comparativo quanto à vibração da laje L_1

VIBRAÇÃO		
<i>Laje L_1</i>	LAJE MACIÇA	LAJE TRELIÇADA
Combinação permanente a_{ig}	0,47 cm	0,41 cm
Combinação rara $a_{i(g+q)}$	0,614 cm	0,61 cm
$a_q = a_{i(g+q)} - a_{ig}$	0,144 cm	0,20 cm
Segundo a NBR 6118/2014 o a_{lim} calculado será de 1,07 cm		

Fonte: Do autor

No caso de lajes pré-moldadas de concreto a eficácia das ligações contribui para uma maior flexibilidade em relação às convencionais lajes maciças, uma vez que a largura colaborante da mesa é obtida pelo entre eixos das vigotas que é intermediado por um elemento de enchimento que não possui função estrutural, que por sua vez, reduz a altura útil da seção para o funcionamento causando maior vibração na superfície.

Outro fator de desempenho verificado neste trabalho científico foi a questão da abertura de fissuras nas lajes estudadas. Neste processo, é necessário observar a classe de agressividade ambiental, para o cálculo dos parâmetros, como visto na tabela a seguir.

TABELA 5 - Comparativo quanto à fissuração da laje L_1

FISSURAÇÃO (Combinação Frequente)		
Laje L_1	LAJE MACIÇA	LAJE TRELIÇADA
ω_1	-	0,14 mm
ω_2	-	0,036 mm
<i>Segundo a NBR 6118: 2014, CAA II $\rightarrow \omega < 0,3$ mm</i>		

Fonte: Do autor

Pudemos notar através dos resultados obtidos que a laje maciça possui uma melhor distribuição por metro da área de aço sobre a mesa, contribuindo para unificar a estrutura diminuindo as possibilidades de fissuras, diferente da laje treliçada que concentra a área de aço sobre a seção da nervura.

Os valores obtidos para abertura máxima de fissuras, ficou abaixo do estabelecido pela NBR, sendo que a laje maciça obteve um melhor desempenho.

É necessário que se verifique a abertura de fissuras pois, elas, influenciam diretamente na rigidez, e podem, em caso de grandes aberturas, causar sérios danos estruturais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da presente pesquisa científica, observou-se o comportamento estrutural dos dois tipos de lajes estudadas, maciças e treliçadas, levando em consideração seu desempenho quanto ao Estado Limite de Deformação Excessiva, verificando a possibilidade de aparecimento de flechas, fissuras e vibração.

Em todas as comparações realizadas, a laje maciça obteve resultados mais significativos, devido a sua composição homogênea, oferecendo maior rigidez à ligação da estrutura na edificação sugerida para aplicação do estudo de caso.

Esta, por sua vez, oferece mais conforto quanto à utilização, devido a uma menor percepção em casos de flechas, que não houve necessidade da aplicação de uma contra flecha além de uma menor vibração sentida no piso. A laje maciça oferece, também, mais segurança, pois é menos propensa à abertura de fissuras, no caso aqui apresentado não houve fissuração que por sua vez evitará ao máximo a corrosão das armaduras.

Neste trabalho, demos ênfase à verificação de desempenho exigida por norma, mas outros trabalhos acadêmicos poderão explorar outros temas como a viabilidade econômica de cada tipo de laje, além da questão da acústica, que já é um critério em estudo para normalização.

REFERÊNCIAS

BUIATE, M.. **Estudo do comportamento de lajes nervuradas formadas por vigotas de concreto com armação tipo treliça e vigas de borda**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2004. Disponível em: <<http://www.ppgec.feciv.ufu.br/node/209>>. Acesso em 13/08/2015.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR-6118 (NB1/80) e a proposta de 1999 (NB1/99)**. EDUFSCAR, São Carlos, 2001.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR-6118/2003**. 3ª Edição. EDUFSCAR, São Carlos, 2013.

CUNHA, M. O. **Recomendações para projeto de lajes formadas por vigotas com armação treliçada**. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-25092012-083340/publico/2012ME_MateusOrtigosaCunha.pdf>. Acesso em 15/08/2015.

MEDRANO, M. L. O; FIGUEIREDO FILHO, J. R; CARVALHO, R. C. **Estudo de Pavimentos de Lajes Formados por Vigotas Pré-Moldadas: Influência de Nervuras Transversais**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/1enpppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/155.pdf>. Acesso em: 12/08/2015.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Lajes Maçicas**. Universidade Federal do Pará. Departamento de Engenharia Civil. (2003). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgAeEAD/concreto-armado-11-lajes-macicas>>. Acesso 20/03/2015.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO, C. D.; SANTOS, S. P. **Lajes Nervuradas**. Universidade Federal do Pará. Departamento de Engenharia Civil (2003). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgAecAC/concreto-armado-17-lajes-nervuradas>>. Acesso 20/03/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estrutura de concreto armado**. Rio de Janeiro. 2014. 238p.

ALBUQUERQUE, A.T; PINHEIRO L.M. **Viabilidade econômica de alternativas de estruturas de concreto armado para edifícios**. São Carlos, 2002. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee19_1.pdf>. Acesso em: 09/04/2015

ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. Tese de dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1999ME_AugustoTeixeiradeAlbuquerque.pdf> Acesso em: 09/04/2015.

ARAÚJO, Anderson da R. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas, SP**. 2008. 150f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembí Morumbi, 2008. Disponível em: <<http://engenharia.anhembib.com.br/tcc-08/civil-04.pdf>>. Acesso: 26/03/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721 - Avaliação de Custos Unitários para Incorporação de Edifícios - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004. 61p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Barras e Fios de Aço Destinadas para Armadura de Concreto Armado**. Rio de Janeiro. 1996. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859 – 1: Laje pré-fabricada - Requisitos – Parte 1: lajes unidirecionais**. Rio de Janeiro. 2002. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859 – 2: Laje pré-fabricada - Requisitos – Parte 2: lajes bidirecionais**. Rio de Janeiro. 2002. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência**. Rio de Janeiro. 2015. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2015. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004. 53p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15696: Fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto**. Rio de Janeiro. 2009. 27p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro. 2011. 107p.

AZEREDO, H. A. **O edifício até a sua cobertura**. 2. Ed. São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 1997.

BARROS, M. M. S. B.; MELHADO, S.B. **Recomendações para a produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em 20/09/2015.

BORGES, J. U. A. **Critérios de projeto de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas**. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - POLI – USP, 1997.

BOTELHO, M. H. C, MARCHETTI, O. **Concreto Armado eu Te Amo**, São Paulo, Edgard Blücher Ltda, 2011.

BRUMATTI, DIONI O. **Uso de Pré-Moldados Moldados - Estudo e Viabilidade.** Universidade Federal de Minas Gerais, 2008. Disponível em <<http://www.pos.demc.ufmg.br/2015/trabalhos/pg1/Monografia%20Dioni%20O.%20Brumatti.pdf>>. Acesso em 14/09/2015

CHEN, Y.; ASWAD, A. **Vibration characteristics of double tee building floors.** PCI Journal. v.37, 1994. Disponível em: <http://www.pci.org/uploadedFiles/Siteroot/Publications/PCI_Journal/1994/DOI_Articles/jl-94-january-february-7.pdf>. Acesso em 21/10/2015.

DIAS, R. H. (2003). **Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

DROPPA JÚNIOR, A. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada.** São Carlos. 177p. Dissertação de Mestrado da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.abcic.org.br/pdf/PCD22_DroppaJr.pdf>. Acesso em: 09/04/2015.

FARIA, M. P. **Estruturas para Edifícios em Concreto Armado: Análise comparativa de soluções com lajes convencionais, lisas e nervuradas.** Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26057/000755698.pdf>>. Acesso em 28/04/2015

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios.** São Paulo, AFALA & ABRAPEX, 1997. Disponível em: <<http://escalaprojetos.com.br/gallery/LIVRO-LAJES.pdf>>. Acesso em: 02/08/2015.

MUNIZ, C. E. **Mais competitivas: lajes treliçadas.** Revista IBRA/CON, v.1, n.1, p. 19- 21, julho-agosto, 1991.

NAZAR, N. **Fôrmas e escoramentos para edifícios – Critérios para dimensionamento e escolha do sistema.** Editora Pini.1. Ed. São Paulo, 2007.

LAJES NORTE E SUL. **Descrição de Lajes para pisos (H8, H12, H16 e H20)**. Disponível em: <<http://www.lajesnortesul.com.br/lajes-trelicadas.html>>. Acesso em 23/10/2015:

PINHEIRO, LIBÂNIO M.; MUZARDO, CASSIANE D.; SANTOS, SANDRO P. **Estruturas de Concreto – Capítulo 2**. Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas. (2004). Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>. Acesso 20/08/2015.

PINHEIRO, L.M. **Concreto armado: tabelas e ábacos**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1993.

PINHEIRO, L. M. **Curso de Concreto Armado. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos**, Universidade de São Paulo, 2003.

PINI, EDITORA. **Revista Equipe de Obra – Edição 29**. Maio-junho, 2010. Disponível em: <<http://www.equipedeoobra.com.br/construcao-reforma/29/galeria.asp>>. Acesso em 23/10/2015.

PEREIRA, V. F. **Armação Treliçada Puma**, Catálogos Técnicos, São Paulo, 2002. Disponível em: <http://puma.com.br/docs/Puma%20Manual_de_Fabricacao.zip>. Acesso em 14/03/2015.

ROSSIGNOLO, J.A. **Concreto Leve Estrutural: Produção, propriedades, microestrutura e aplicações**. 1ª. Ed. São Paulo, SP, 2009.

SPOHR, Valdi Henrique. **Análise Comparativa: Sistemas Estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. Tese de Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008. Disponível em: <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/1997ME_CarlosBrazCordeiroBarbirato.pdf>. Acesso: 24/05/2015.

ANEXO 1

TABELA 6 – Tabela de Reações de Apoio em Lajes com Carga Uniforme

REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	v_x	v_y	v_x	v_y	v'_y	v_x	v'_x	v_y	
1,00	2,50	2,50	1,83	2,75	4,02	2,75	4,02	1,83	1,00
1,05	2,62	2,50	1,92	2,80	4,10	2,82	4,13	1,83	1,05
1,10	2,73	2,50	2,01	2,85	4,17	2,89	4,23	1,83	1,10
1,15	2,83	2,50	2,10	2,88	4,22	2,95	4,32	1,83	1,15
1,20	2,92	2,50	2,20	2,91	4,27	3,01	4,41	1,83	1,20
1,25	3,00	2,50	2,29	2,94	4,30	3,06	4,48	1,83	1,25
1,30	3,08	2,50	2,38	2,95	4,32	3,11	4,55	1,83	1,30
1,35	3,15	2,50	2,47	2,96	4,33	3,16	4,62	1,83	1,35
1,40	3,21	2,50	2,56	2,96	4,33	3,20	4,68	1,83	1,40
1,45	3,28	2,50	2,64	2,96	4,33	3,24	4,74	1,83	1,45
1,50	3,33	2,50	2,72	2,96	4,33	3,27	4,79	1,83	1,50
1,55	3,39	2,50	2,80	2,96	4,33	3,31	4,84	1,83	1,55
1,60	3,44	2,50	2,87	2,96	4,33	3,34	4,89	1,83	1,60
1,65	3,48	2,50	2,93	2,96	4,33	3,37	4,93	1,83	1,65
1,70	3,53	2,50	2,99	2,96	4,33	3,40	4,97	1,83	1,70
1,75	3,57	2,50	3,05	2,96	4,33	3,42	5,01	1,83	1,75
1,80	3,61	2,50	3,10	2,96	4,33	3,45	5,05	1,83	1,80
1,85	3,65	2,50	3,15	2,96	4,33	3,47	5,09	1,83	1,85
1,90	3,68	2,50	3,20	2,96	4,33	3,50	5,12	1,83	1,90
1,95	3,72	2,50	3,25	2,96	4,33	3,52	5,15	1,83	1,95
2,00	3,75	2,50	3,29	2,96	4,33	3,54	5,18	1,83	2,00
> 2,00	5,00	2,50	5,00	2,96	4,33	4,38	6,25	1,83	> 2,00

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

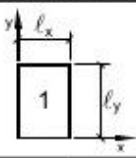
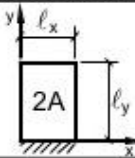
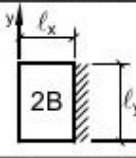
$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: <<http://image.slidesharecdn.com/21tabelasdelajes-150904134907-lva1-app6892/95/21-tabelas-de-lajes-7-638.jpg?cb=1441374588>>

ANEXO 2

TABELA 7 - Tabela de Reações de Apoio em Lajes com Carga Uniforme

MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME										
Tipo										Tipo
$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00	
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05	
1,10	5,00	4,27	3,61	3,74	9,18	3,99	9,17	2,76	1,10	
1,15	5,38	4,25	3,98	3,80	9,53	4,19	9,49	2,68	1,15	
1,20	5,75	4,22	4,35	3,86	9,88	4,38	9,80	2,59	1,20	
1,25	6,10	4,17	4,72	3,89	10,16	4,55	10,06	2,51	1,25	
1,30	6,44	4,12	5,09	3,92	10,41	4,71	10,32	2,42	1,30	
1,35	6,77	4,06	5,44	3,93	10,64	4,86	10,54	2,34	1,35	
1,40	7,10	4,00	5,79	3,94	10,86	5,00	10,75	2,25	1,40	
1,45	7,41	3,95	6,12	3,91	11,05	5,12	10,92	2,19	1,45	
1,50	7,72	3,89	6,45	3,88	11,23	5,24	11,09	2,12	1,50	
1,55	7,99	3,82	6,76	3,85	11,39	5,34	11,23	2,04	1,55	
1,60	8,26	3,74	7,07	3,81	11,55	5,44	11,36	1,95	1,60	
1,65	8,50	3,66	7,28	3,78	11,67	5,53	11,48	1,87	1,65	
1,70	8,74	3,58	7,49	3,74	11,79	5,61	11,60	1,79	1,70	
1,75	8,95	3,53	7,53	3,69	11,88	5,68	11,72	1,74	1,75	
1,80	9,16	3,47	7,56	3,63	11,96	5,75	11,84	1,68	1,80	
1,85	9,35	3,38	8,10	3,58	12,05	5,81	11,94	1,67	1,85	
1,90	9,54	3,29	8,63	3,53	12,14	5,86	12,03	1,59	1,90	
1,95	9,73	3,23	8,86	3,45	12,17	5,90	12,08	1,54	1,95	
2,00	9,91	3,16	9,08	3,36	12,20	5,94	12,13	1,48	2,00	
> 2,00	12,50	3,16	12,50	3,36	12,20	7,03	12,50	1,48	> 2,00	

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p l_x^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $l_x =$ menor vão

Fonte: <<http://image.slidesharecdn.com/21tabelasdelajes-150904134907-lva1-app6892/95/21-tabelas-de-lajes-11-638.jpg?cb=1441374588>>

ANEXO 3

TABELA 8 - Flexão Simples em Seção Retangular – Armadura Simples

FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES													
$\beta_c = \frac{x}{d}$	$k_c = \frac{bd^2}{M_d} (\text{cm}^2/\text{kN})$									$k_s = \frac{A_s d}{M_d} (\text{cm}^2/\text{kN})$			D O M I N I O
	C10	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	CA-25	CA-50	CA-60	
0,02	103,8	69,2	51,9	41,5	34,6	29,7	25,9	23,1	20,8	0,046	0,023	0,019	2
0,04	52,3	34,9	26,2	20,9	17,4	15,0	13,1	11,6	10,5	0,047	0,023	0,020	
0,06	35,2	23,4	17,6	14,1	11,7	10,1	8,8	7,8	7,0	0,047	0,024	0,020	
0,08	26,6	17,7	13,3	10,6	8,9	7,6	6,7	5,9	5,3	0,048	0,024	0,020	
0,10	21,5	14,3	10,7	8,6	7,2	6,1	5,4	4,8	4,3	0,048	0,024	0,020	
0,12	18,0	12,0	9,0	7,2	6,0	5,2	4,5	4,0	3,6	0,048	0,024	0,020	
0,14	15,6	10,4	7,8	6,2	5,2	4,5	3,9	3,5	3,1	0,049	0,024	0,020	
0,16	13,8	9,2	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,8	0,049	0,025	0,021	
0,18	12,3	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7	2,5	0,050	0,025	0,021	
0,20	11,2	7,5	5,6	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	0,050	0,025	0,021	
0,22	10,3	6,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1	0,050	0,025	0,021	
0,24	9,5	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	0,051	0,025	0,021	
0,26	8,8	5,9	4,4	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	1,8	0,051	0,026	0,021	
0,28	8,3	5,5	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	0,052	0,026	0,022	3
0,30	7,8	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	2,0	1,7	1,6	0,052	0,026	0,022	
0,32	7,4	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	0,053	0,026	0,022	
0,34	7,0	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	0,053	0,027	0,022	
0,36	6,7	4,5	3,3	2,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	0,054	0,027	0,022	
0,38	6,4	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	0,054	0,027	0,023	
0,40	6,1	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,055	0,027	0,023	
0,42	5,9	3,9	3,0	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,055	0,028	0,023	
0,438	5,7	3,8	2,9	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028	0,023	
0,44	5,7	3,8	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,056	0,028		
0,46	5,5	3,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,056	0,028		
0,48	5,3	3,5	2,7	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,057	0,029		
0,50	5,2	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,52	5,0	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	0,058	0,029		
0,54	4,9	3,2	2,4	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,029		
0,56	4,7	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,059	0,030		
0,58	4,6	3,1	2,3	1,9	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,060	0,030		
0,60	4,5	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,030		
0,628	4,4	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,061	0,031		
0,64	4,3	2,9	2,2	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,9	0,062			
0,68	4,2	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,063			
0,72	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8	0,065			
0,76	3,9	2,6	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,066			
0,772	3,9	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,067			

Elaborada por Alessandro L. Nascimento e Libânio M. Pinheiro.
De acordo com a NBR 6118:2003.
Diagrama retangular de tensões no concreto, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$.
Para $\gamma_c \neq 1,4$, multiplicar b por $1,4/\gamma_c$ antes de usar a tabela.

ANEXO 4

TABELA 9 - Limites para deslocamento

Tipo de Efeito	Razão da Limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos Estruturais em Serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e Varandas	Total	$l/250$ a
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350$ + contraflecha b
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/250$ c e 10mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}^d$
		Divisórias leves e caixilhos telescópios	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250$ c e 10mm
		Movimento Lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi = 0,30$)	H/1 700 e Hi/850e entre pavimentos f
		Movimentos térmicos verticais	Provocado pela diferença de temperatura	$l/400$ g e 15mm

Fonte: NBR 6118/2014