

FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**BRUNO BRITO GUIMARÃES
NAIANY MICHELY ANDRADE SILVA**

**PARÂMETROS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES
TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS COM ENCHIMENTO EM
EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)**

**GOIANÉSIA / GO
2017**

**BRUNO BRITO GUIMARÃES
NAIANY MICHELY ANDRADE SILVA**

**PARÂMETROS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES
TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS COM ENCHIMENTO EM
EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE
EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA**

ORIENTADOR: LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO

**GOIANÉSIA / GO
2017**

FICHA CATALOGRÁFICA

GUIMARÃES, BRUNO BRITO;

SILVA, NAIANY MICHELY ANDRADE.

Parâmetros para Dimensionamento de Lajes Treliçadas Unidirecionais com Enchimento em EPS (Poliestireno Expandido).

71P. 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Lajes Unidirecionais

3. Estado Limite Ultimo

I. ENC/FACEG

2. Vigotas Treliçadas

4. Estado Limite de Serviço

II. Parâmetros para Dimensionamento de Lajes Treliçadas Unidirecionais com Enchimento em EPS (Poliestireno Expandido).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GUIMARÃES, B. B.; SILVA, N. M. A. Parâmetros para Dimensionamento de lajes Treliçadas Unidirecionais com Enchimento em EPS (Poliestireno Expandido). TCC, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 71p. 2017.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Bruno Brito Guimarães e Naiany Michely Andrade Silva.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Parâmetros para Dimensionamento de lajes Treliçadas Unidirecionais com Enchimento em EPS (Poliestireno Expandido).

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

BRUNO BRITO GUIMARÃES
NAIANY MICHELY ANDRADE SILVA

**PARÂMETROS PARA DIMENSIONAMENTO DE LAJES
TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS COM ENCHIMENTO EM
EPS (POLIESTIRENO EXPANDIDO)**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA COMO
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL'**

APROVADO POR:

**LUIZ TOMAZ DE AQUINO NETO, Especialista (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**RICHARD VIEIRA, Especialista (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

GOIANÉSIA/GO, 02 de JUNHO de 2017.

Aos meus pais, minha esposa e minha filha, que me deram força para concluir essa graduação, sendo minha fonte de energia em toda essa caminhada.

Bruno Brito Guimarães

A minha família, em especial minha mãe, minha irmã e meus dois sobrinhos, que sempre estiveram do meu lado, me dando muito carinho e apoio para que eu chegasse até essa etapa da minha vida.

Naiany Michely Andrade Silva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me proporcionado saúde em toda essa caminhada, iluminado meus passos e me dando sabedoria e forças para concluir essa jornada. Ao Professor Luiz Tomaz de Aquino Neto por ter transmitido seus conhecimentos nas mais variadas disciplinas e também na orientação deste trabalho de conclusão de curso. Aos amigos e colegas de graduação que estiveram comigo por todos esses anos em busca do objetivo de tornarem um profissional da Engenharia Civil.

Bruno Brito Guimarães

Agradeço a Deus que me deu forças e iluminou meu caminho durante essa longa jornada. Ao professor Luiz Tomaz de Aquino Neto, que é o nosso orientador, por toda orientação e ajuda que ele nos deu. A Faculdade Evangélica, por ter nos dado a oportunidade de realizar este curso. Aos meus amigos e colegas, pelo incentivo e apoio. A todos aqueles que estão próximos de mim, que me ajudaram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Naiany Michely Andrade Silva.

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

(Charles Chaplin)

RESUMO

A implantação do sistema estrutural envolvendo lajes treliçadas com enchimento em EPS (poliestireno expandido) se faz presente cada dia mais no meio da construção civil. Esse sistema construtivo vem ganhando destaque sobre as lajes maciças, reduzindo tempo na execução e otimizando custos em sua instalação. Este trabalho objetivou a abordagem dos parâmetros para dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais com enchimento em EPS, abordando como exemplo ilustrativo um painel de laje com nervuras bi apoiadas. A verificação das normas vigentes, em especial a NBR 6118:2014, se faz presente nos direcionamentos textuais deste projeto. Os procedimentos adotados no dimensionamento deste tipo de estrutura basearam-se nos parâmetros do Estado Limite Último (ELU), observando as variáveis no limite de ruptura, e do Estado Limite de Serviço (ELS), analisando as variações da flecha imediata e da flecha diferida no tempo. Foi considerado no dimensionamento do painel de laje a correlação entre esses dois Estados Limites, atendendo os padrões de segurança e funcionalidade para a qual a estrutura é projetada, bem como as Normas Brasileiras vigentes

Palavras chave: Laje unidirecional. Vigotas treliçadas. Estado Limite Último. Estado Limite de Serviço.

ABSTRACT

The use of the structural system involving trellised slabs with EPS (expanded polystyrene) filling is increasingly present in the civil construction activities. This constructive system has been gaining prominence over concrete massive slabs, reducing time in execution and optimizing costs in its installation. This work aimed at the approach of the parameters for dimensioning unidirectional trellised slabs with EPS filler, addressing as an illustrative example a slab panel with bi-supported ribs. The verification of the current norms, especially NBR 6118: 2014, is present in the texts of this study. The procedures adopted in the design of this type of structure were based on the parameters of the Ultimate Limit State (ELU), observing the variables in the limit of rupture, and the State Service Limit (ELS), analyzing the variations of the immediate arrow and deferred arrow in time. The correlation between these two States Limits was considered in the design of the slab panel, taking into account the safety and functional standards for which the structure is designed, as well as the current Brazilian Standards

Key words: Unidirectional slab. Trellised beams. Last state limit. Service limit state.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um sistema construtivo tridimensional.	19
Figura 2 - Análise da laje como placa.	20
Figura 3 - Análise da laje como chapa.	20
Figura 4 - Esquema da laje exercendo contraventamento nos pilares.	21
Figura 5 - Vigota treliçada.	23
Figura 6 - Vigota concretada.	24
Figura 7 - Detalhe de nervura em lajes com vigotas treliçadas.	24
Figura 8 - EPS utilizado em enchimento de lajes.	27
Figura 9 - Blocos em EPS para lajes nervuradas unidirecionais.	28
Figura 10 - Vigotas e blocos de EPS.	29
Figura 11 - Revestimento da Laje.	30
Figura 12 - Armadura pré-fabricada (treliça espacial) da vigota treliçada.	30
Figura 13 - Capeamento e armadura de distribuição em lajes com vigotas pré-fabricadas.	32
Figura 14 - Dimensões mínimas de uma seção típica de lajes treliçadas.	36
Figura 15 - Dimensões em uma seção de laje treliçada.	37
Figura 16 - Sistema de Laje contínua com momento negativo a ser considerado.	37
Figura 17 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio I).	44
Figura 18 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio II).	45
Figura 19 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio III).	45
Figura 20 - Vigas de seção transversal “T” ..	48
Figura 21 - Seção “T” comprimida a esquerda e seção retangular a direita.	48
Figura 22 - Influência da linha neutra na determinação da geometria da seção.	49
Figura 23 - Seção “T” dividida em duas seções retangulares.	49
Figura 24 - Painel de laje considerado para o exemplo de dimensionamento.	50
Figura 25 - Vigota Bi apoiada demonstrando o vão livre.	51
Figura 26 - Disposição das treliças na laje.	51
Figura 27 - Ilustração do sistema de laje treliçada da empresa Salema	52
Figura 28 - Representação do corte AA da figura 26.	53
Figura 29 - Aplicação de contraflecha em uma laje.	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas treliçadas	23
Quadro 2 - Características exigíveis para o poliestireno expandido	26
Quadro 3 - Aços utilizados em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado	31
Quadro 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	35
Quadro 5 - Valores mínimos das cargas verticais para edificações	39
Quadro 6 - Coeficiente $\gamma_f = \gamma_f 1. \gamma_f 3$	41
Quadro 7 - Valores de $\gamma_f 2$	42
Quadro 8 - Informações da Empresa Salema sobre as lajes produzidas.	52
Quadro 9 - Características do painel de laje	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição	33
Tabela 2 - Classe de agressividade ambiental (CAA)	34
Tabela 3 - Valores dos coeficientes γ_c e γ_s	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
EPS	Poliestireno Expandido
ELU	Estado Limite Ultimo
ELS	Estado Limite de Serviço
ELS-DEF	Estado Limite de deformações excessivas
ABILAJE	Associação Brasileira da Indústria das Lajes
ABRAPEX	Associação Brasileira de Poliestireno Expandido
CAA	Classe de agressividade ambiental
CA	Concreto Armado
CP	Concreto Protendido
LN	Linha Neutra

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Geral	16
1.2.2 Específico	16
1.3 JUSTIFICATIVAS	16
1.4 METODOLOGIA	17
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 LAJES.....	18
2.1.1 Funções estruturais das lajes	19
2.2 LAJES NERVURADAS	21
2.3 ARRANJOS CONSTRUTIVOS DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS UNIDIRECIONAIS.....	22
2.4 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	22
2.4.1 Vigota Treliçada.....	22
2.4.2 Elemento de Enchimento (EPS)	25
2.5 CARACTERÍSTICAS DO EPS	28
2.6 ARMADURAS TRELIÇADAS.....	30
2.7 CAPEAMENTO E ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO	31
2.8 O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA	33
2.8.1 Dimensionamento Das Lajes Nervuradas	35
2.8.2 Considerações Sobre as Cargas para Dimensionamento das Lajes.....	38
2.8.3 Verificações Dos Estados Limites.....	39
2.8.4 Estádios.....	44
2.8.5 Considerações sobre Flexão das Nervuras	46

2.8.6	Determinação das Flechas nas Nervuras Pré Moldadas	46
2.8.7	Verificação ao Cisalhamento.	46
2.8.8	Cálculo de Armadura na Seção da Nervura	47
3	EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UMA PAINEL DE LAJE BIAPOIADA	50
3.1	DETERMINADO O MOMENTO FLETOR NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO	54
3.3	ANALISANDO A ESTRUTURA NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)	58
3.3.1	Verificando as Características Mecânicas da Seção	58
3.3.2	Analisando as Características no Estádio I	59
3.3.3	Analisando as Características no Estádio II	60
3.3.4	Analisando Momento Ativo e Momento de Fissuração	62
3.3.5	Rigidez Equivalente	63
3.3.6	Determinando a Flecha Imediata	64
3.3.6	Flecha Diferida no Tempo	64
3.4	VERIFICANDO O CISALHAMENTO	66
3.5	ANÁLISE FINAL DO DIMENSIONAMENTO	67
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo de introdução serão apresentados os estudos que deram início a esta monografia. Estrutura-se uma contextualização do tema no qual busca mostrar ao leitor uma pequena evolução no histórico das lajes. Em seguida apresenta os objetivos que levaram a construção deste trabalho de conclusão de curso trazendo de uma forma geral a proposta de projeto bem como o estudo específicos do assunto. A justificativa acrescenta a este tópico a importância do estudo das lajes para o profissional de engenharia. Em sequência é apresentado o tipo de metodologia abordado no trabalho, fechando assim esse primeiro capítulo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os primeiros edifícios a serem construídos com sistema em concreto armado utilizaram lajes maciças em sua estrutura. Segundo FRANÇA e FUSCO (1997), esse tipo de sistematização consome cerca de dois terços do volume total de concreto da estrutura, necessitando assim desenvolver novas técnicas construtivas que aperfeiçoem o custo final da edificação.

As lajes pré-fabricadas ganharam destaque após a Segunda Guerra Mundial, visando atender a necessidade de reconstrução de moradias em um curto intervalo de tempo. No Brasil não houve necessidade de construções em grande escala como no Europa. Segundo VASCONCELOS (2002) a primeira grande obra que utilizou elementos pré-fabricados foi o Hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro, sendo executado em 1926. Somente na década de 50, com a preocupação com a racionalização e a industrialização de sistemas construtivos que o uso de elementos pré-fabricados foi ganhando ênfase no país.

As primeiras lajes nervuradas datam de 1854 quando o romano Wilkson, fabricante de gesso, patenteou um sistema de nervuras ao dispor de barras ou cabos nas regiões tracionadas das vigas. Wilkson percebeu que a rigidez da laje aumentava com a inserção de moldes na região de vazio regularmente, separados e espaçados por nervuras onde os cabos de aço eram colocados na região de tração e dirigiam-se para a parte superior da viga na região de apoio. (KAEFER, 1998).

As novas técnicas construtivas para a execução de lajes se deu devido à necessidade de redução do peso próprio da estrutura, visando o ganho de vãos maiores e com menor custo

de produção. As lajes pré-moldadas atingem esse propósito conseguindo também um ganho em relação ao custo das formas e escoramentos, pois necessitam de menor quantidade desses materiais quando comparada ao processo executivo das lajes moldadas “*in loco*”.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O trabalho proposto tem por objetivo apresentar os parâmetros de dimensionamento de lajes biapoiadas compostas por vigotas treliçadas, utilizando o EPS (poliestireno expandido) para preenchimento das nervuras, considerando a estrutura no Estado Limite Último (ELU) e no Estado Limite de Serviço (ELS), segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Norma Brasileira-NBR 6118:2014- Projeto de Estrutura de Concreto.

1.2.2 Específico

- Abordar as características de uma laje treliçada unidirecional, mostrando sua composição desde o concreto utilizado a sua estrutura de aço;
- Mostrar os parâmetros a serem considerados no dimensionamento estrutural de um painel de laje, verificando as condições de colapso estrutural (ELU);
- Verificar as condições que determinam a deformação da flecha imediata e da flecha deferida no tempo, devido ao efeito de fluência (ELS);
- Correlacionar o dimensionamento entre o ELU e ELS de forma a atribuir ao painel de laje as condições de segurança e funcionalidade para o qual foi designada.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Segundo o Decreto Federal nº 23.569 de 11 de dezembro de 1933 é estabelecido no Artigo 28 as competências do Engenheiro Civil, dentre elas o estudo e projeto da construção de edifícios, incluindo assim a responsabilidade pela segurança estrutural da obra. Baseado neste Decreto fica evidente a importância para o profissional da área em deter o conhecimento necessário para o correto dimensionamento das estruturas de sustentação que compõe

determinada edificação. Somado a essa necessidade está a alta competitividade no mercado da construção civil, que exige a cada dia mais do profissional conhecimentos pertinentes que visem a segurança da edificação, economia de materiais e mão de obra, acarretando em um processo executivo mais otimizado.

As lajes pré-moldadas se enquadram em um dos sistemas estruturais que merecem destaque nos dias atuais visto ser mais apreciadas nos processos construtivos. De acordo com a ABILAJE (Associação Brasileira da Indústria das Lajes) de 1990 a 1998 a utilização de lajes treliçadas saltou de 5% para 40% de participação no mercado, o que acarreta para os engenheiros civis, uma necessidade em adquirir conhecimento sobre o processo de dimensionamento deste sistema. Certamente, nos dias de hoje esse percentual é muito maior, visto que o processo de fabricação das treliças não requer grandes tecnologias em sua execução.

Compreender os parâmetros de dimensionamento de um sistema de laje treliçada, compatibilizando as variáveis que compõem o ELU e também o ELS, trará uma segurança maior ao Engenheiro da obra, seja o projetista ou o responsável técnico pela execução, pois assim poderá dar um tempo de vida útil maior para a edificação e maior segurança funcional, respeitando as características para qual foi dimensionada bem como as normas vigentes.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia aplicada a este trabalho está baseada em uma revisão bibliográfica relacionada ao dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais utilizando como enchimento o EPS (poliestireno expandido), analisando os parâmetros do ELU e também do ELS. Será apresentado um exemplo de um painel de laje demonstrando o seu dimensionamento estrutural, considerando as nervuras como vigas individuais e apoiadas.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em quatro capítulos. O primeiro apresenta a introdução, conforme mostrado acima. O segundo constitui-se da pesquisa bibliográfica do trabalho, compreendendo as definições dos elementos construtivos que compõem a laje pré-moldada com enchimento em EPS demonstrando seus parâmetros para dimensionamento.

No terceiro tópico é apresentado um exemplo de um painel de laje que será dimensionada conforme as normas vigentes. Já no quarto capítulo têm-se as considerações finais sobre o trabalho proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica da monografia, abordando a conceituação de lajes nervuradas, suas características e suas variáveis para dimensionamento. Tal revisão é de suma importância para o cumprimento dos objetivos propostos pelo trabalho.

2.1 LAJES

As lajes são definidas como elementos estruturais laminares empregadas como forro, coberturas ou piso de uma edificação. Tratando-se de lajes pré-fabricadas existem as chamadas de nervuradas, que podem ser armadas em uma ou duas direções. Sua composição utiliza de vigotas pré-fabricadas de concreto estrutural sob um controle de qualidade específico em sua fabricação.

Segundo FRANCA e FUSCO (1997) as lajes nervuradas constituíram-se em uma evolução natural da laje maciça, visando à economia de concreto durante o processo construtivo.

Na laje maciça, o concreto abaixo da linha neutra que é tracionado, não contribui na resistência a flexão, portanto, parte desse concreto foi substituída por material inerte (elementos cerâmicos, de concreto celular, EPS, entre outros.), ou moldado com fôrmas numa região tracionada composta apenas de nervuras. Essa ideia levou o surgimento das lajes nervuradas, com o propósito de aliviar o peso próprio da estrutura e obter um aproveitamento mais eficiente do aço e do concreto.

No projeto das estruturas, a concepção das lajes deve respeitar as características da construção a ser realizada, considerando os meios técnicos disponíveis para que a concepção adotada possa ser otimizada resultando em um melhor trabalho possível.

2.1.1 Funções estruturais das lajes

Para uma correta percepção das funções estruturais da laje, deve-se considerar toda a edificação como um sistema tridimensional. A compreensão do funcionamento global da estrutura permite visualizar a laje como sendo um elemento estrutural horizontal, assim como as vigas no qual ela se apoia. A figura 01 representa um modelo de um pórtico no qual os planos estão bem definidos.

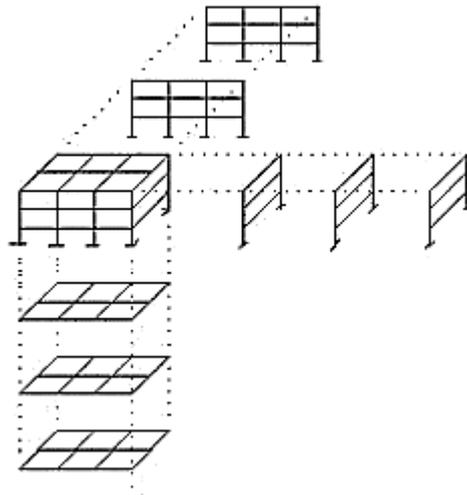


Figura 1 - Representação de um sistema construtivo tridimensional. Fonte: FRANCA e FUSCO (1997)

Os elementos considerados verticais correspondem aos pilares de sustentação da edificação e para pequenas edificações, a própria parede que se apoia na laje.

De acordo com FRANCA e FUSCO:

As lajes funcionam como placas, ao suportarem as cargas verticais aplicadas ao longo dos pisos (figura 2), e como chapas, ao se constituírem em diafragmas rígidos horizontais que distribuem pelos diferentes pilares da estrutura as forças horizontais atuantes (figura 3), (FRANCA; FUSCO, 1997, p. 7).

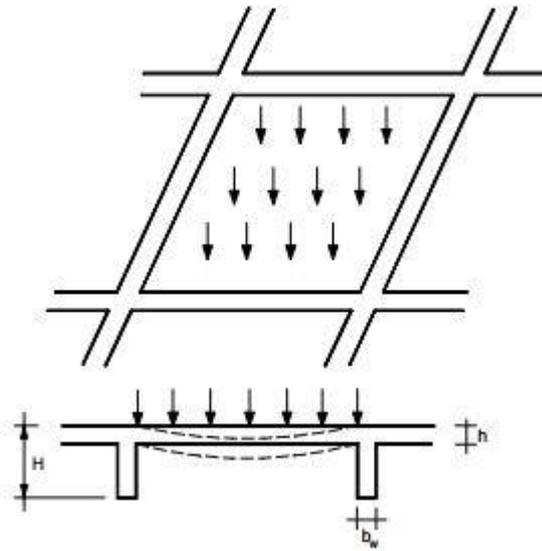


Figura 2 - Análise da laje como placa. Fonte: FRANCA e FUSCO (1997)

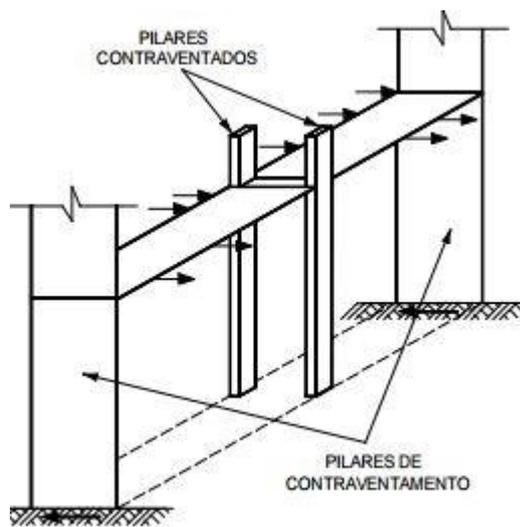


Figura 3 - Análise da laje como chapa. Fonte: FRANCA e FUSCO (1997)

A análise da laje como chapa é de suma importância para grandes edifícios, pois estabelece um contraventamento nos pilares.

Ainda segundo FRANCA e FUSCO (1997) as lajes são grandes responsáveis pela transmissão dos esforços horizontais permitindo aos pilares contraventados se apoiarem nos pilares de contraventamento, o que garante para a estrutura uma estabilidade maior. Na figura 4, mostra as forças horizontais de contraventamento que devem ser transmitidas pelas lajes e vigas dos diferentes pisos dos edifícios altos.

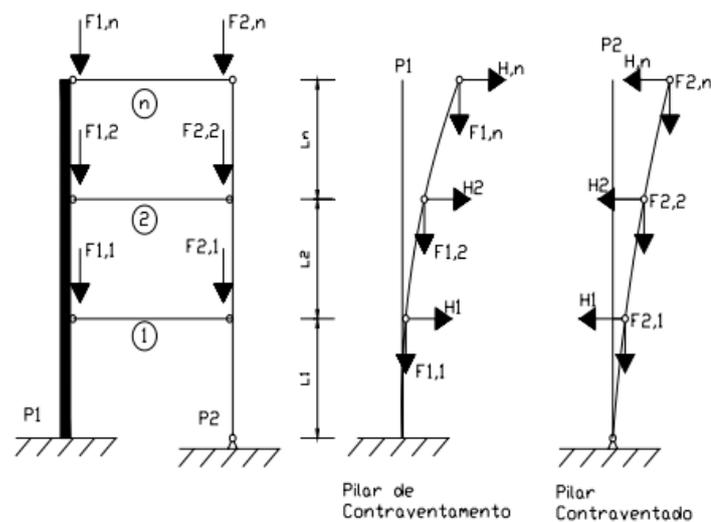


Figura 4 - Esquema da laje exercendo contravento nos pilares. Fonte: FRANCA e FUSCO (1997)

Por serem peças de concreto, as lajes necessitam de armadura para suportarem os esforços de tração no qual são submetidos oriundos do seu próprio peso e de outras cargas nela atuantes.

Devido ao seu comportamento de placa, os esforços de flexão e cisalhamento ocasionam a tração na estrutura da laje, assim como na análise em seu plano médio, visualizando-a como chapa.

2.2 LAJES NERVURADAS

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

A norma estabelece dois tipos de lajes: as moldadas no local e as pré-fabricadas, podendo a pré-fabricação ser total ou parcial.

As lajes moldadas no local (“*in loco*”) recebe essa denominação, por ser construída totalmente na própria obra, precisamente no local que serão estruturalmente utilizadas.

As lajes pré-fabricadas recebem elementos pré-fabricados para a sua construção, produzidos industrialmente, fora do canteiro de obras.

2.3 ARRANJOS CONSTRUTIVOS DAS LAJES PRÉ-FABRICADAS UNIDIRECIONAIS

A laje pré-fabricada unidirecional possui nervuras principais longitudinais dispostas em uma única direção, sendo formada por vigotas pré-fabricadas, complementadas por concreto moldado no local, formando as nervuras principais da laje na direção da própria vigota.

Os esforços solicitantes de maior magnitude ocorrem na direção do menor vão, na outra direção os esforços solicitantes são menores, portanto, são desprezados nos cálculos. As nervuras principais são calculadas para resistir o momento fletor na direção do vão menor.

As lajes unidirecionais que estão submetidas às cargas concentradas devem possuir nervuras secundárias, na seção transversal mínima dada pela NBR 6118:2014, perpendicular às nervuras principais.

De acordo com FRANCA e FUSCO (1997), em lajes que empregam vigotas de concreto armado ou de concreto protendido, não se admite a execução de nervuras transversais às vigotas, pois, é dificultoso colocar a armadura de nervuras transversais atravessando a alma das vigotas das nervuras principais. As nervuras transversais às vigotas somente podem ser executadas, em lajes que empregam vigotas treliçadas.

2.4 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

2.4.1 Vigota Treliçada

A laje nervurada é composta de vigotas pré-fabricadas, capazes de suportar seu peso próprio e as cargas de construção, dispensando o uso do tabuleiro da fôrma tradicional e necessitando apenas de cimbramentos intermediários.

A NBR 14859-1:2016 destaca que a vigota com armadura treliçada é um elemento constituído de concreto estrutural e armadura treliçada eletrossoldada. Quando necessário, deve ser complementada com armadura passiva inferior de tração, conforme for especificado em projeto. A figura 5 ilustra esquematicamente a vigota treliçada e o quadro 1 define as dimensões e tolerâncias, sendo:

$$S_m \text{ mínimo} = 5 + 0,1 \times h_b \text{ (mm)} \quad (1)$$

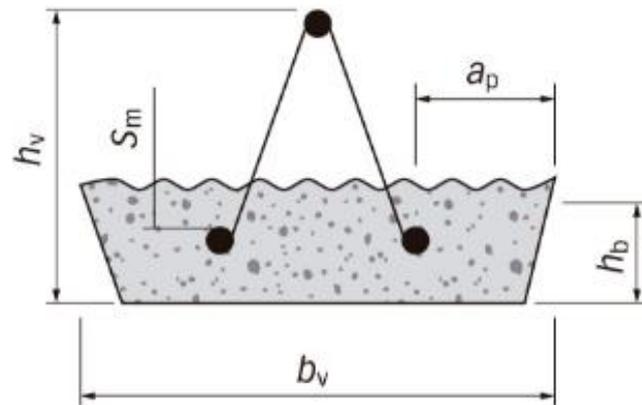


Figura 5 - Vigota treliçada. Fonte: Construnormas (2016)

Quadro 1- Dimensões e tolerâncias padronizadas para vigotas treliçadas

Largura mínima (mm) (b_v)	Altura mínima (mm) (h_v)	Largura mínima do apoio (mm) (a_p)	Altura mínima do apoio (mm) (h_b)
130 ± 5	75 ± 2	15 ± 1	30 ± 1

Fonte: NBR 14859-1:2016

A vigota treliçada, é o produto final que deverá ser entregue pelo fabricante ao cliente, formada pela armadura treliçada, armadura adicional e a base de concreto. Pode ser utilizada para execução de lajes, tanto maciças quanto nervuradas. Deve ser dimensionada para resistir aos esforços após a concretagem da laje, e também deve ter rigidez necessária para resistir ao transporte e a montagem.

O concreto utilizado na base da vigota treliçada deve atender as especificações das normas NBR 6118:2014, NBR 8953:1992, NBR 12654:1992 e NBR 12655:2006, e sua resistência à compressão deverá ser no mínimo 20 MPa, ou o valor mais alto especificado no projeto estrutural.

O comprimento desta vigota é definido em projetos e fornecido ao fabricante para que seja produzido no tamanho exato. A figura 6 detalha uma vigota devidamente concretada.

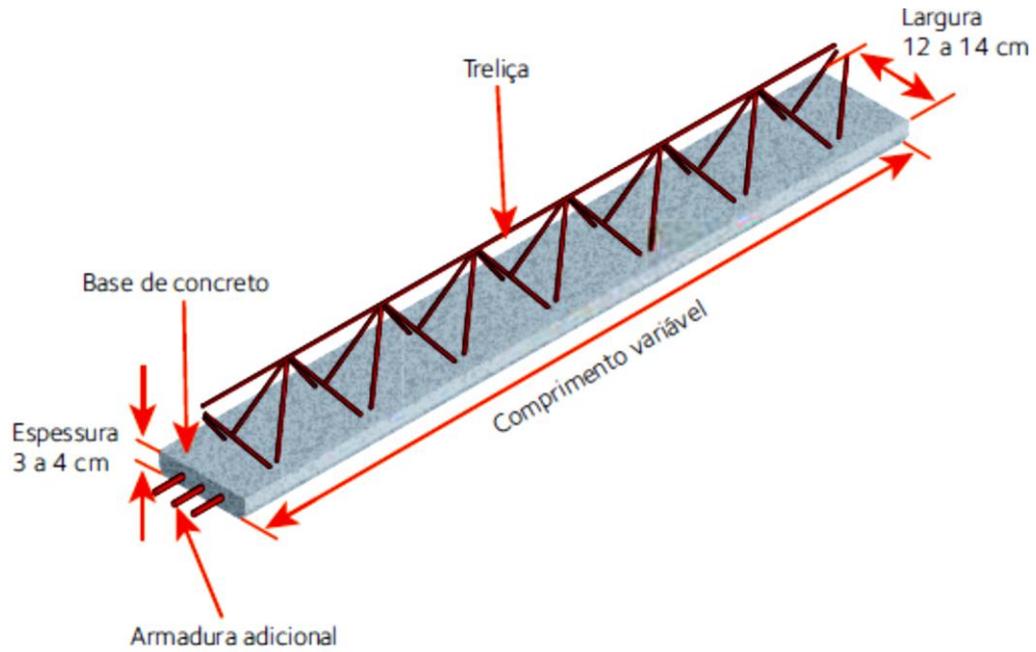


Figura 6 - Vigota concretada. Fonte: Arcelor Mittal (2016)

A figura 7 representa uma nervura de lajes com vigotas treliçadas:

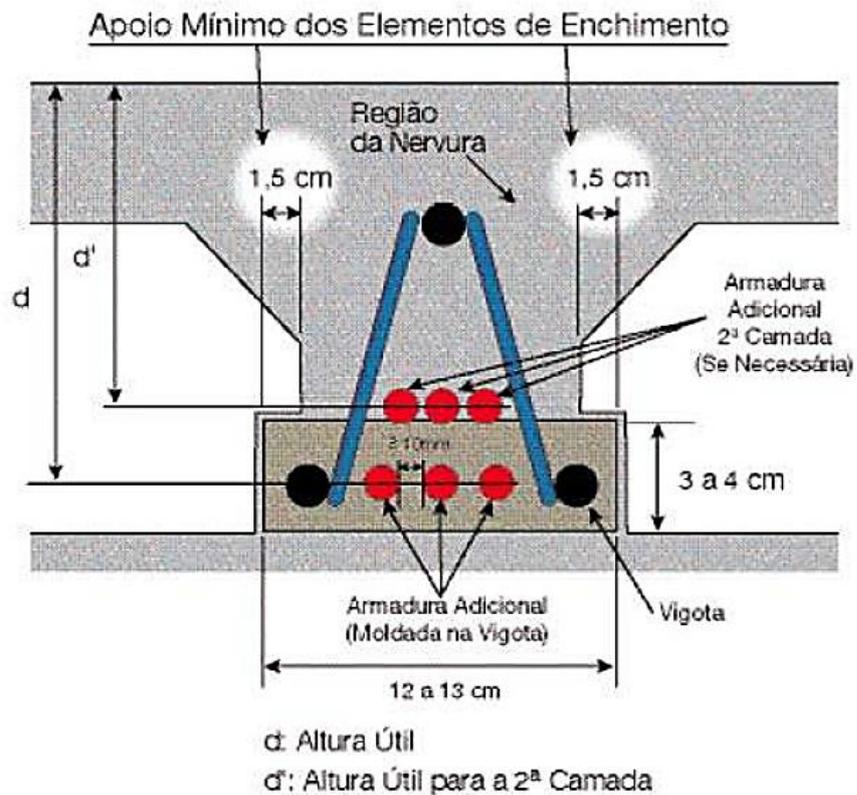


Figura 7 - Detalhe de nervura em lajes com vigotas treliçadas. Fonte: Arcelor Mittal (2016)

2.4.2 Elemento de Enchimento (EPS)

O EPS é a sigla internacional do Poliestireno Expandido, no Brasil é mais conhecido como isopor. Foi descoberto na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz.

O poliestireno expandido é uma matéria plástica, derivada do petróleo, regulamentada pela norma NBR 11752:2007, constituindo-se de uma espuma termoplástica, que contém em seu volume 98% de ar e 2% de matéria sólida, classificando-o como um material rígido e tenaz.

A Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX), ressalta que:

O EPS é um material plástico na forma de espuma com micro células fechadas, composto basicamente de “vazios” contendo ar, na cor branca, inodoro, reciclável e não poluente e fisicamente estável. Com essas características, é um material isolante da melhor qualidade nas temperaturas de 70° a 80° Celsius. Resistente fácil de recortar, leve e durável, é o melhor material para preenchimento de rebaixos ou vazios necessários a vários processos construtivos, principalmente lajes e painéis pré-fabricados ou semi-industrializados. Pelas mesmas qualidades pode ser a solução para aterros estáveis sobre solos frágeis. (ABRAPEX, 2006, pag. 07).

Segundo a ABRAPEX, as vantagens do EPS são:

- Baixa condutividade térmica;
- Baixo peso;
- Resistência mecânica;
- Baixa absorção de água;
- Facilidade de manuseio;
- Versatilidade;
- Resistência ao envelhecimento;
- Absorção a choques;
- Resistência a compressão.

Em geral, são fabricados três diferentes tipos de EPS, cujas propriedades são mostradas no quadro 02.

Quadro 2 - Características exigíveis para o poliestireno expandido

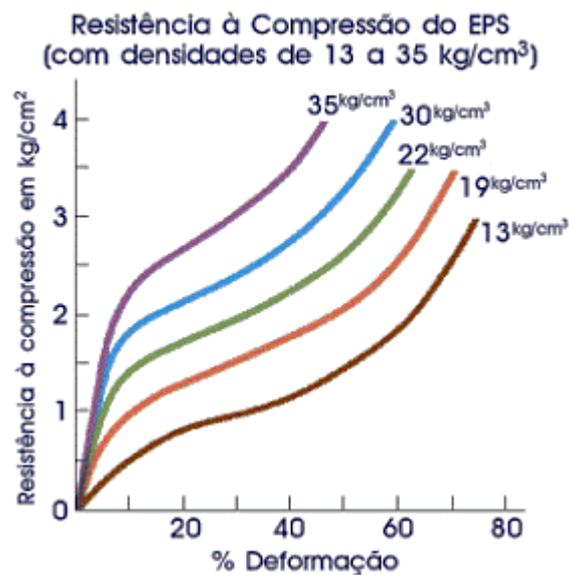
Propriedades	Norma	Unidade	Classe P			Classe F		
			I	II	III	I	II	III
Tipo de material	Metodo de ensaio							
Massa específica	NBR 11949	Kg/m ³	13 – 16	16 – 20	20 – 25	13 – 16	16 – 20	20 – 25
Resistencia à compressão com 10% de deformação	NBR 8082	KPa	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100
Resistência à flexão	ASTM C-203	KPa	≥ 150	≥ 190	≥ 240	≥ 150	≥ 190	≥ 240
Absorção de água imersão em água	NBR 7973	g/cm ³ x100	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Permeabilidade ao vapor d'água	NBR 8081	ng/Pa.s.m	≤ 7	≤ 5	≤ 5	≤ 7	≤ 5	≤ 5
Coefficiente de condutiv. Térmica a 23°C	NBR 12904	X/(m.k)	0,042	0,039	0,037	0,042	0,039	0,037
Flamabilidade	NBR 1948	_	Material não retardante à chama			Material retardante à chama		

Fonte: NBR 11752:2007

O EPS não serve de alimento a qualquer ser vivo inclusive micro-organismos, portanto não favorece a presença de cupins, não mofa e nem apodrece.

O gráfico 01, mostra a rigidez dos diferentes tipos de EPS por meio dos diagramas tensão-deformação.

Gráfico 1 - Diagrama de tensão-deformação do EPS



Fonte: ABRAPEX (2016)

2.4.3 Blocos de EPS para Lajes

O EPS aplicado em lajes pré-fabricadas tem a finalidade de preencher os espaços vazios entre as nervuras. Esta solução alivia o peso próprio das lajes, permitindo a redução de dimensionamento de toda a estrutura, além de reduzir mão de obra e tempo, garantindo assim, um serviço bem feito e mais viável economicamente.

Os blocos de EPS são fornecidos no comprimento de 2 a 6 metros, com seção de 0,50x1,00m a 1,20x1,20m. De acordo com o projeto, os EPS são cortados com facilidade em blocos menores, ou fornecidos no tamanho necessário, com perfeição dimensional difícil de encontrar em outros materiais.

No Brasil, já se dispõe máquinas de corte computadorizadas que confeccionam as peças a partir de leitura óptica dos desenhos, elevando a produção dos blocos de EPS.

Outra característica importante do EPS para aplicação em lajes é o seu baixo módulo de elasticidade, que permite uma adequada distribuição das cargas ao longo das linhas de apoio e uma perfeita vedação das juntas dos blocos, impedindo a exsudação do concreto moldado no local. Além disto, favorece a cura do concreto moldado no local, pois o EPS possui um coeficiente de absorção muito baixo.

Os blocos de EPS não participam da resistência final da estrutura, porém, devem ser dimensionados para suportarem os esforços neles existentes durante a fase de construção, pois, durante a montagem das armaduras e concretagem da laje, os blocos de EPS funcionam como elementos estruturais. A figura 8 mostra como o EPS é utilizado no enchimento de lajes.

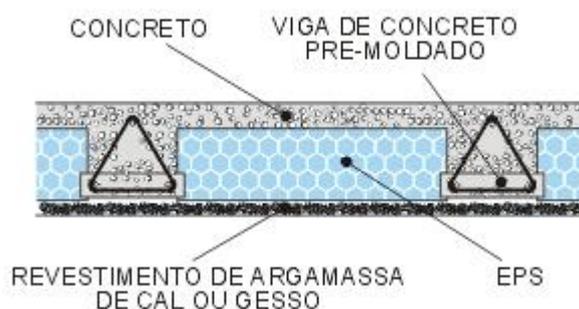


Figura 8 - EPS utilizado em enchimento de lajes. Fonte: ABRAPEX (2006)

A figura 9 apresenta o tipo usual de blocos de EPS empregado nas construção de lajes nervuradas pré-fabricadas.

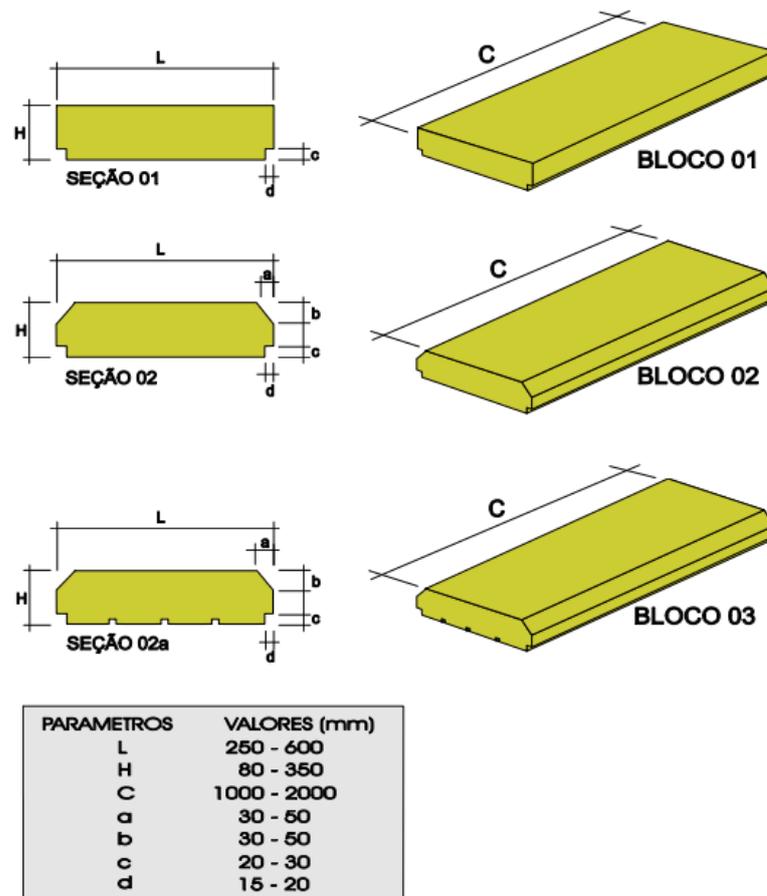


Figura 9 - Blocos em EPS para lajes nervuradas unidirecionais. Fonte: FRANCA e FUSCO (2016)

2.5 CARACTERÍSTICAS DO EPS

Atualmente, o EPS é o elemento mais leve para a aplicação de enchimento de laje nervurada unidirecional e bidirecional, além de oferecer flexibilidade nas dimensões (figura 10).



Figura 10 -Vigotas e blocos de EPS. Fonte: Trelicon (2016)

Essas vantagens, entre outras, fazem do EPS o material mais apropriado para todos os tipos de lajes, principalmente para lajes especiais com entre eixos e alturas maiores. Sua densidade varia de 13 a 35 kg/m³ e seu peso não interfere no peso próprio da laje. Ao contrário do revestimento de laje cerâmico, no bloco de EPS não há perdas de concreto.

Uma característica apresentada no EPS é a sua facilidade no manuseio durante o corte, agilizando o processo executivo da implantação das lajes, incluindo as geometrias curvas e irregulares. O mercado oferece diversas qualidades de EPS, com matéria-prima virgem e reciclada. É importante verificar o material com a resistência ideal para cada aplicação. As peças moldadas possuem dimensões preestabelecidas. Esses materiais possuem maiores densidades comparados com as peças recortadas. Por isso, recomenda-se o uso dessas quando a laje utilizar vigas pré-moldadas treliçadas ou protendidas. Peças moldadas possuem maior resistência às cargas de trabalho de concretagem.

O revestimento das lajes com EPS tem sido a preocupação dos profissionais. É importante seguir alguns cuidados para obter uma boa adesão, por exemplo: colocar aditivo à massa de chapisco com aditivos colantes para argamassa, de preferência à base acrílica e esperar a cura do chapisco para aplicação do revestimento final, que deve ser preparado sem excesso de água e com textura plástica (figura 11).



Figura 11 - Revestimento da Laje. Fonte: Comtrava (2016)

2.6 ARMADURAS TRELIÇADAS

As armaduras em treliças para lajes são compostas por uma armadura de aço pronta, pré-fabricada, em forma de estrutura espacial prismática. Essa treliça é constituída por dois fios de aço paralelos na base (banzo inferior) e um fio de aço no topo (banzo superior), soldados por eletrofusão ou caldeamento, aos dois fios de aço diagonais (sinusóides), com espaçamento regular, que formam um elemento rígido composto de duas treliças planas, inclinadas e unidas pelo vértice superior.

Os dois fios do banzo inferior resistem às tensões de tração por ação dos momentos fletores positivos, enquanto o fio do banzo superior atua como armadura de compressão durante a montagem e concretagem da laje treliçada, e pode colaborar na resistência ao momento fletor negativo. As diagonais da treliça funcionam como armaduras de cisalhamento, e servem para promover uma perfeita ligação entre o concreto pré-moldado da vigota e o concreto moldado “*in loco*”. A figura 12 detalha as partes de uma treliça.

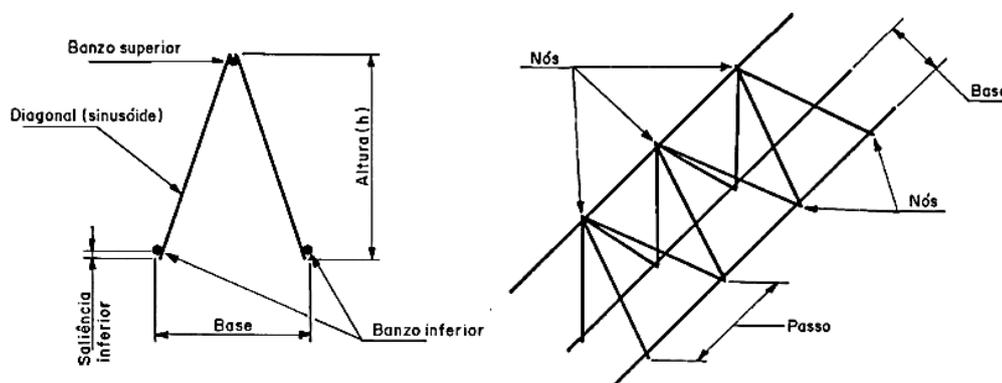


Figura 12 - Armadura pré-fabricada (treliça espacial) da vigota treliçada. Fonte: NBR 14862:2016

Nós: Ponto de junção entre os fios de aço que compõem as armaduras treliçadas, unidos por eletrossolda (caldeamento);

Altura (*h*): Distância entre a superfície limite inferior e a superfície limite superior, perpendicular à base e no eixo da seção transversal da armadura treliçada, expressa em milímetros (mm);

Passo: Distância entre eixos dos nós, entre os aços que compõem a armadura treliçada, expressa em milímetros (mm);

Base: Distância entre as faces externas entre os fios que compõem o banzo inferior, expressa em milímetros (mm).

O aço para fins de utilização em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado deve atender ao disposto no quadro 03:

Quadro 3 - Aços utilizados em lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado

Produto	Norma	Diâmetro nominal mínimo (mm)
Barras/ fios de aço CA-50/CA-60	NBR 7480	6,3 (CA-50) 4,2 (CA-60)
Tela de aço eletrossoldada	NBR 7481	3,4
Fios de aço para protensão	NBR 7482	3,0
Armadura treliçada eletrossoldada	NBR 14859-3	Diagonal (sinusóides): 3,4 Banzo superior: 6,0 Banzo inferior: 4,2

Fonte: ABNT 14859-1:2016

2.7 CAPEAMENTO E ARMADURA DE DISTRIBUIÇÃO

O concreto de capeamento é lançado na obra e deve se ligar ao concreto da vigota pré-fabricada, formando uma única estrutura de concreto. Esse elemento estrutural irá compor a mesa da nervura, capaz de resistir aos esforços de compressão da laje em serviço e também distribuir as cargas nas nervuras. Esse concreto deverá possuir resistência característica a compressão mínima de 20 MPa, conforme especificado na NBR 6118:2014 para o concreto estrutural.

A laje deve ser colocada sobre uma armadura, posicionada nas duas direções, denominada de armadura de distribuição. Esta armadura também deve ser especificada no projeto estrutural da laje.

De acordo com Manual Técnico de Lajes Treliçadas (2010), as funções desta armadura são:

- Combater os efeitos de retração;
- Consolidar a estrutura da nervura com a capa;
- Efetuar um controle da abertura de fissuras;
- Efetivar a distribuição das cargas pontuais.

A figura 13, representa o capeamento e armadura de distribuição em lajes com vigotas pré-fabricadas.

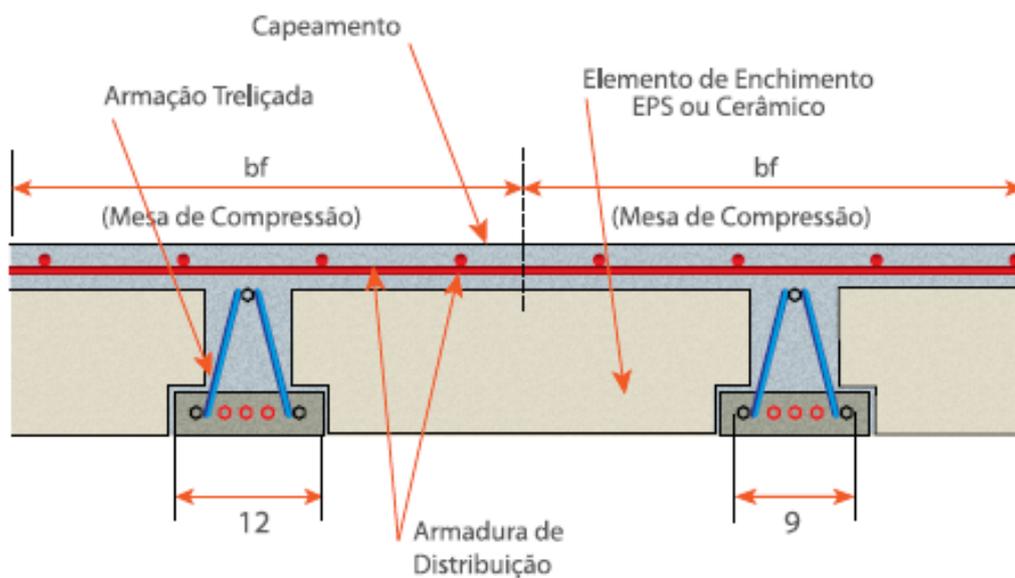


Figura 13 - Capeamento e armadura de distribuição em lajes com vigotas pré-fabricadas. Fonte: Arcelor Mittal (2016)

De acordo com a NBR 14859-1:2002 distribuição deve ter a seção de no mínimo $0,9 \text{ cm}^2/\text{m}$, para aços CA-50 e de $0,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ para aços CA-50 e CA-60, contendo pelo menos três barras por metro, conforme descrito na tabela 01.

Tabela 1 - Área mínima e quantidade de armadura de distribuição

Aço	Área mínima	Número de barras/m	
		Ø 5,0 mm	Ø 6,3 mm
CA-50	0,9 cm ² /m	5	3
CA-50, CA-60 e tela soldada	0,6 cm ² /m	3	3

Fonte: NBR 14859-1:2002

2.8 O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA

Quando se realiza o dimensionamento de uma estrutura, busca dentro de todas as variáveis analisadas, garantir a segurança da edificação, dando-lhe estabilidade e deixando-o sem deformações excessivas. Sendo assim, realizar um dimensionamento consiste em evitar a ruína (falha) da estrutura ou parte dela. Ressalta-se aqui que no campo da Engenharia Civil ruína e compreendida não só como a ruptura da estrutura, mas também como situação de deformações excessivas como fissuras inaceitáveis, prejudicando a perfeita utilização da edificação para qual foi projetada.

Em seu item 14.2.1 a NBR 6118:2014 retrata que o objetivo da análise estrutural é de determinar os efeitos das ações em uma estrutura, com a finalidade de se verificar os estados limites últimos e de serviço. Permite-se assim estabelecer os esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos, seja em uma parte ou em toda a estrutura.

CARVALHO e FIGUEIREDO JUNIOR (2014) esclarece que não se pode estabelecer uma segurança total da edificação contra todos os fatores aleatórios que interferem no processo de concepção, execução e utilização. A insegurança atribuída é direcionada as seguintes incertezas:

- Resistência dos materiais utilizados influenciada pelas condições de execução da obra, tempo da aplicação das cargas, fadigas, etc.;
- Pelas características geométricas da estrutura (posicionamento das armaduras, falta de precisão na localização na seção transversal dos elementos);
- Ações permanentes e variáveis;
- Imprecisões inerentes ao processo de cálculo, ocasionando valores bem diferentes dos reais.

Os métodos de cálculo das estruturas classificam-se nos métodos clássicos (também chamado método das tensões admissíveis) e nos métodos de cálculo na ruptura (ou dos estados limites). O primeiro é dito determinístico, considerando fixos, não aleatórios, os distintos valores numéricos que servem de partida para o cálculo (resistência dos materiais, valores de cargas, etc.). Determina neste método as tensões máximas correspondentes aos esforços solicitantes, supondo um comportamento elástico dos materiais. Tem como grande desvantagem o mau aproveitamento dos materiais que compõem a estrutura.

As estruturas de concreto além de serem dimensionadas para suportarem os esforços solicitantes devem ser projetadas também para resistirem as condições ambientais previstas na época do projeto mantendo assim sua segurança, estabilidade e otimizando sua vida útil.

A NBR 6118:2014 no item 6.2.1, define como vida útil de projeto:

Período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais. (NBR 6118:2014)

Visando atender as condições ambientais de projeto, o projetista deve-se ater para a agressividade do ambiente que está relacionada às ações físicas e químicas atuantes na estrutura considerada, independentemente das ações mecânicas ou outra de qualquer natureza. A tabela 2 traz as classes de agressividade ambiental para avaliação das condições ambientais no qual a estrutura estará sujeita durante sua vida útil.

Tabela 2 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingo de maré	

A durabilidade das estruturas de concreto está associada diretamente as características deste e da espessura e qualidade do concreto de cobertura da armadura. Definindo a classe de agressividade da estrutura, encontra-se no item 7.4 da NBR 6118:2014 uma tabela que relaciona a agressividade com a qualidade do concreto, que deve ser utilizada durante o dimensionamento das estruturas, conforme relacionado no quadro 4.

Quadro 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto ABNT NBR 8953	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: NBR 6118:2014

2.8.1 Dimensionamento Das Lajes Nervuradas

A abordagem feita na NBR 6118:2014 estabelece que as lajes nervuradas, tanto a moldadas no local quanto as treliçadas, apresentam uma zona de tração para momento positivo localizada nas nervuras entre as quais se pode colocar o material inerte. No caso das lajes unidirecionais o cálculo é realizado considerando a direção das nervuras, desprezando a rigidez transversal e também a de torção. Ainda nesta citada NBR, para efeito de projeto:

- a) As lajes que apresentam espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 65 cm podem dispensar o cálculo da flexão da mesa e quanto ao cisalhamento nesta região, permite-se a consideração dos critérios de laje;
- b) Para entre eixos de nervura entre 65 cm e 110 cm, deve-se considerar a flexão da mesa e o cisalhamento é analisado como vigas; permite-se essa verificação como laje para espaçamento entre nervuras até 90 cm com a largura média das nervuras maior que 12 cm;

- c) Nos casos da distância entre eixos de nervura maior que 110 cm, a mesa deverá ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, observando os limites mínimos de espessura.

No caso da não observação dos itens descritos, reforça-se considerar a capa da laje nervurada como maciça apoiada em uma grelha de vigas.

Em relação às dimensões limites das lajes nervuradas, a NBR 6118:2014 trata no item 13.2.4.2: “A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior que ou igual a $1/15$ da distância entre as faces das nervuras e não menor que 4 cm”.

A figura 14 ilustra as dimensões mínimas a serem adotadas no sistema de lajes treliçadas.

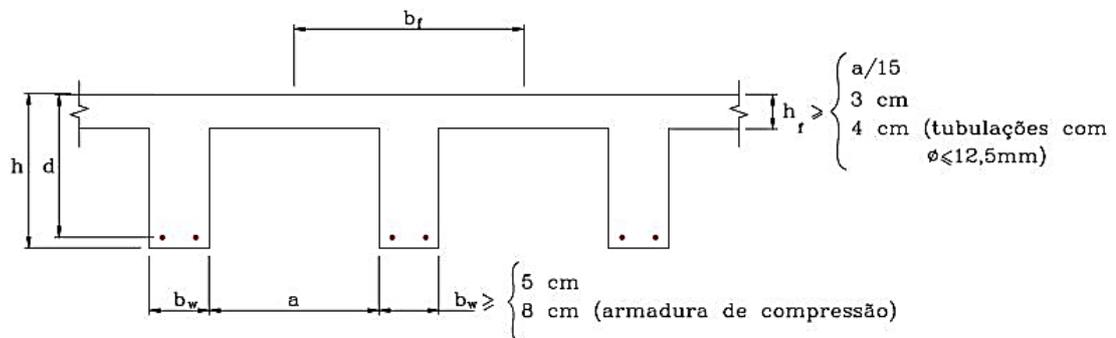


Figura 14 - Dimensões mínimas de uma seção típica de lajes treliçadas. Fonte: PINHEIRO (2007)

No caso da existência de tubulações horizontais, o valor mínimo admitido será de 5 cm para a espessura da mesa. Para o uso de tubulações com diâmetro ϕ maior que 10 mm, a mesa deverá ter espessura mínima de $4 \text{ cm} + \phi$ ou $4 \text{ cm} + 2\phi$, sendo este último para o caso de tubulações sobrepostas. O valor mínimo adotado para a espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm, sendo que as de valores inferior a 8 cm não podem conter armadura de compressão.

DROPPA Jr (1999), estabeleceu como variáveis de projeto, em sua dissertação de mestrado, que o projetista deve-se levar em consideração a sobrecarga na estrutura, o valor de intereixo que é função do elemento de enchimento e da base de concreto da vigota, o tipo do elemento de enchimento, a altura da treliça e a condição estática da laje. As variáveis alturas da laje, comprimento do vão e o valor da sobrecarga, são geralmente arbitrados nos manuais de dimensionamento produzidos pelos fabricantes desses tipos de lajes. A figura 15 mostra as principais dimensões de uma seção de laje treliçada.

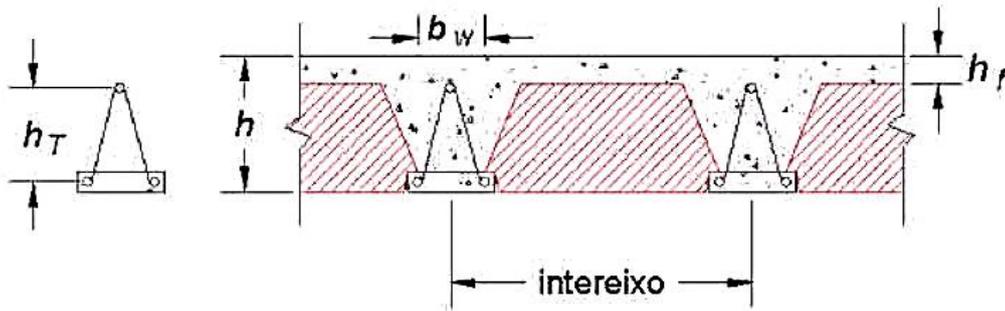


Figura 15 - Dimensões em uma seção de laje treliçada. Fonte: DROPPA Jr. (1999)

Para o sistema de lajes treliçadas a vinculação a ser considerada nas vigas deve ser, preferencialmente, apoiada, visto que a execução de um engaste nos apoios levaria a existência de momentos negativos ocasionando esforços de compressão. Como as treliças são dimensionadas para os esforços de tração (momento positivo), há necessidade de “combater” esse momento podendo-se limitar esse momento a resistência da nervura a compressão ou, para lajes consideradas contínuas, utilizar de mesa na região inferior (conhecida como laje dupla).

A figura 16 mostra o diagrama de momento negativo existente num sistema de laje contínua.

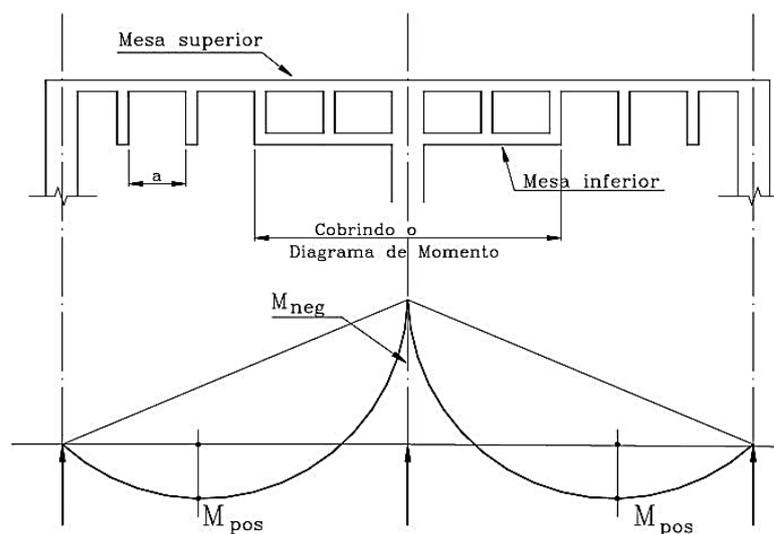


Figura 16 - Sistema de Laje contínua com momento negativo a ser considerado. Fonte: PINHEIRO (2007)

Em relação aos momentos fletores negativos intermediários, BASTOS (2015) admiti algumas hipóteses desde que obedecido os limites impostos para a posição da linha neutra do sistema:

- a) A seção retangular da nervura, com armadura simples negativa seja suficiente para resistir ao momento negativo;
- b) Sendo a seção da nervura insuficiente, pode-se aumentar a seção (geralmente a altura);
- c) Uso de armadura dupla, para $b_w \geq 8$ cm, na seção da nervura;
- d) Eliminar as continuidades considerando-se assim as lajes como isoladas, admitindo-se momentos negativos igual a zero nos apoios. Neste caso, a fim de evitar as fissuras, deve-se colocar armadura negativa construtiva, como exemplo ϕ 6,3 mm a cada 15 ou 20 cm, ou em maior quantidade em função dos vãos e carregamentos, principalmente.

A NBR 6118:2014 no item 14.7.7 especifica que, “as lajes nervuradas unidirecionais devem ser calculadas segundo a direção das nervuras, desprezadas a rigidez transversal e a rigidez a torção”.

Em relação ao uso de armaduras transversais neste tipo de sistema construtivo, DROPPA Jr. (1999), concluiu em seu trabalho de análise das lajes unidirecionais utilizando este tipo de arranjo que o uso de nervuras transversais influencia pouco na distribuição dos esforços solicitantes e nos deslocamentos. Considera-se assim apenas um sistema construtivo. Porém, quando há carregamento na laje como paredes de alvenaria, estas nervuras diminuem o deslocamento entre as vigotas. Ressalta-se aqui que em um provável colapso progressivo, essa armadura irá provocar um rearranjo dos esforços solicitantes provocando um aumento da rigidez da estrutura.

2.8.2 Considerações Sobre as Cargas para Dimensionamento das Lajes

Quando se trata do dimensionamento de cargas para as estruturas de concreto, a NBR 6180:1980 traz em seu conteúdo as especificações a serem consideradas para o lançamento das cargas na estrutura. A referida norma classifica as cargas em permanentes (g) e acidentais (q). A primeira compreende o peso próprio da estrutura, de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes. Já a carga acidental é aquela que depende do tipo de uso característico de cada edificação como fluxo de pessoas, móveis, veículos, etc.

Quando se trata de paredes divisórias sob a estrutura, a NBR 6120:1980 permiti admitir um carregamento uniformemente distribuído por metro quadrado de piso desde que esta carga seja não menor que um terço do peso por metro linear de parede pronta, observado o valor mínimo 1 kN/m².

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) traz em sua obra um quadro de valores bastante utilizados em dimensionamento de estruturas, baseado na norma supracitada. Estes valores estão representados no quadro 5.

Quadro 5 - Valores mínimos das cargas verticais para edificações

Local	Carga (kN/m ²)
Residências, dormitório, copa, cozinha e banheiro	1,5
Forros não destinados a depósito	0,5
Despensas, área de serviço, lavanderia e dependência de escritório	2,0
Compartimentos destinados a reuniões ou acesso público	3,0
Compartimentos destinados a bailes, ginástica ou esportes	5,0
Escadas, corredores e terraços com acesso ao público	3,0
Escadas, corredores e terraços sem acesso ao público	2,0
Lojas	2,0

Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

2.8.3 Verificações Dos Estados Limites

Para a correta compreensão dos parâmetros a serem analisados em um dimensionamento de lajes treliçadas, o projetista deve compreender os significados de Estado limite Último (ELU) e Estado Limite de Serviço (ELS), já que ambas definições são aplicáveis em projetos que envolvem peças de concreto.

Segundo a NBR 6118:2014, na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura em exame, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e de serviços. Portanto, as verificações dos estados limites devem ser atendidas para todos os elementos estruturais.

O item 3.2.1 da NBR 6118:2014, define o Estado Limite Último (ELU) como o estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura.

O elemento estrutural atinge o estado limite último, quando o momento fletor atuante for maior que as resistências das seções transversais.

Os Estados Limites de Serviço (ELS), conforme item 10.4 da NBR 6118:2014, são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, seja em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.

De acordo com o item 12.5.2 da NBR 6118:2014, as condições analíticas de segurança estabelecem que, as resistências não podem ser menores que as solicitações e devem ser verificadas em relação a todos os estados limites e todos os carregamentos para o tipo de construção considerado, ou seja, em qualquer caso deve ser respeitada a condição: $R_d \geq S_d$.

Para a verificação do estado limite último de perda de equilíbrio como corpo rígido, R_d (esforços resistentes de cálculo) e S_d (esforços solicitantes de cálculo) devem assumir os valores de cálculo das ações estabilizantes e desestabilizantes respectivamente.

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014), resumi que o método dos estados limites consistem em:

- Adotar os valores característicos para as resistências e para as ações. Dessa forma, aceita-se que, *a Priori*, as resistências efetivas possam ser inferiores aos seus valores característicos e que as ações efetivas possam ser superiores aos seus valores característicos;
- Cobrir os demais elementos de incerteza existentes no cálculo estrutural pela transformação dos valores característicos em valores de cálculo: minoram-se as resistências e majoram as ações. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014, p. 48).

As ações de acordo com item 11.7 da NBR 6118-2014 devem ser majoradas pelo coeficiente:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3}$$

Onde que:

γ_f : Coeficiente de ponderação das ações;

γ_{f1} : Parte do coeficiente de ponderação as ações, que considera a variabilidade das ações;

$\gamma_f 2$: Parte do coeficiente de ponderação as ações, que considera a simultaneidade de atuação das ações;

$\gamma_f 3$: Parte do coeficiente de ponderação as ações, que considera os desvios gerados nas construções e as aproximações feitas em projeto do ponto de vista das solicitações.

Os valores para a verificação são apresentados nos quadros 6 e 7:

Quadro 6 - Coeficiente $\gamma_f = \gamma_f 1 \cdot \gamma_f 3$

Combinações de Ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Pretensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte ABNT NBR 6118:2014

Quadro 7 - Valores de $\gamma_f 2$

Ações		$\gamma_f 2$		
		Ψ_0	Ψ_1^a	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
^a Para os valores de Ψ_1 relativo às pontes e principalmente para os problemas de fadiga. ^b Edifícios residenciais. ^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

A resistência de acordo com item 12.4 da NBR 6118-2014 deve ser minorada pelo coeficiente:

$$\gamma_m = \gamma_m 1 \cdot \gamma_m 2 \cdot \gamma_m 3$$

em que:

γ_m : Coeficiente de ponderação das resistências;

γ_m 1: Parte do coeficiente de ponderação das resistências que considera a variabilidade da resistência dos materiais envolvidos;

γ_m 2: Parte do coeficiente de ponderação das resistências que considera a diferença entre a resistência do material no corpo de prova e na estrutura;

γ_m 3: Parte do coeficiente de ponderação das resistências que considera os desvios gerados na construção e as aproximações feitas em projeto de ponto de vista de residências.

Os valores para a verificação no estado-limite último, são indicados na tabela 3.

Tabela 3 - Valores dos coeficientes γ_c e γ_s

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

Para o estado limite de serviço, não é necessário usar coeficientes de minoração, portanto, $\gamma_m = 1,0$.

Para obras usuais e situações em geral, segundo CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014), tem-se, para o concreto e o aço no estado limite último, os valores respectivos das resistências de cálculo:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} \quad (MPa) \quad (2)$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} \quad (MPa) \quad (3)$$

2.8.4 Estádios

O desempenho de uma seção de concreto sujeito a um carregamento, iniciando no zero até a sua ruptura, é dividido em 3 etapas denominadas de: estágio I, estágio II e estágio III.

O Estádio I corresponde a fase inicial do carregamento. Neste, as tensões normais que surgem são de baixa magnitude e o concreto consegue resistir as tensões de tração submetidas. A figura 17 representa o comportamento do concreto nessa etapa, denominada de flexão pura.

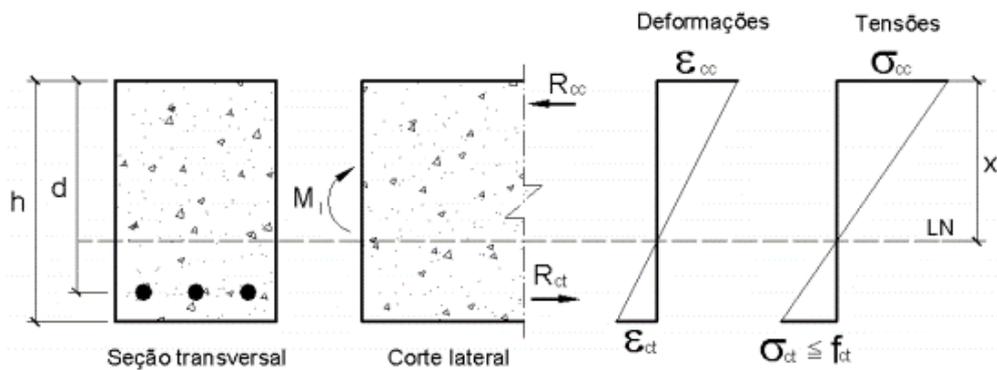


Figura 17 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio I). Fonte: PINHEIROS (2007)

Segundo PINHEIROS (2007) nesse estágio fica inviável o dimensionamento da estrutura devido à baixa resistência a tração que o concreto possui quando comparada compressão. É nessa fase que se determina o momento de fissuração da estrutura, possibilitando dimensionar a armadura mínima, de modo que a estrutura possa absorver os momentos fletores de mesma intensidade

Encerrado o estágio I com a fissuração da estrutura, inicia-se o estágio II. Neste nível, o concreto não suporta a tração e a seção encontra-se fissurada na região de tração. Despreza-se aqui a contribuição do concreto tracionado. Observa-se nessa fase que a região comprimida mantém o diagrama linear de tensões. A figura 18 representa o comportamento do concreto, no nível de estágio II.

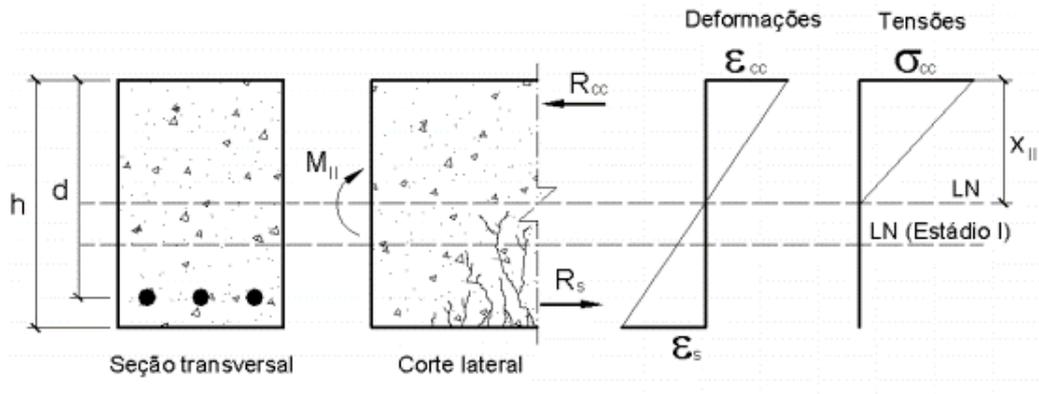


Figura 18 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio II). Fonte: PINHEIROS (2007)

O estágio II serve para verificar o funcionamento da peça em serviço. Com o aumento do carregamento vertical sobre a estrutura, as fissuras caminham no sentido da borda comprimida, aumentando a tensão na armadura, podendo atingir o escoamento ou não. Finaliza-se o estágio II com a plastificação do concreto.

No estágio III, o concreto localizado na zona comprimida (que encontra-se plastificada) encontra-se na iminência da ruptura. O diagrama das tensões fica representando conforme a figura 19.

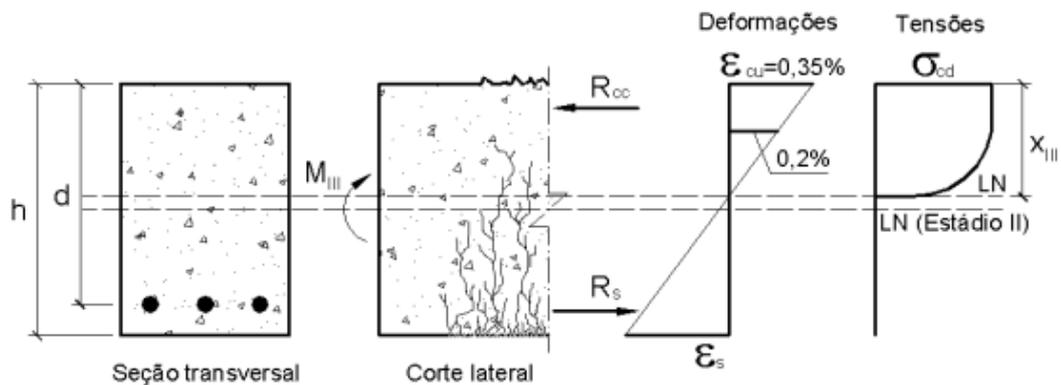


Figura 19 - Comportamento do concreto na flexão pura (Estádio III). Fonte: PINHEIROS (2007)

É nesse estágio que se dimensiona o cálculo na ruptura ou cálculo no estágio III. Nos estádios I e II dizemos que a estrutura está no ELS e no estágio III encontra-se no ELU.

2.8.5 Considerações sobre Flexão das Nervuras

Segundo CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014), o momento máximo de uma nervura no sistema de laje pré-moldada considerando-a simplesmente apoiada, é expresso de acordo com a equação 4:

$$M_{max} = \frac{p \cdot l^2}{8} \text{ (kN.m)} \quad (4)$$

Onde:

p = carga atuante na nervura (kN/m);

l = vão da nervura (m).

O cálculo da laje nervurada segue um modelo matemático que a considera um conjunto de vigas paralelas trabalhando independentemente tendo um formato de seção em “T”. A NBR 6118:2014 ressalta-se que, 5 cm é a espessura mínima da nervura.

A resistência da nervura depende da treliça espacial utilizada que serve também de ligação entre o concreto do elemento pré-moldado e o concreto da capa.

2.8.6 Determinação das Flechas nas Nervuras Pré Moldadas

A verificação das flechas nas nervuras será analisada considerando a estrutura dimensionada no Estado Limite de Serviço considerando as deformações excessivas. Devido existência de uma série de equações para obtenção desta variável, estas estarão descritas no Capítulo 3 deste trabalho juntamente com as análises a serem consideradas, seguindo os padrões adotados na NBR 6118:2014, considerando o deslocamento da flecha imediata, que surge na estrutura após a retirada do escoramento e também da flecha formada ao longo do tempo de utilização da estrutura, efeito denominado de fluência.

2.8.7 Verificação ao Cisalhamento.

A verificação do cisalhamento nas lajes treliçadas assemelha-se ao das vigas já que as lajes representam um conjunto de vigas bi apoiadas ou vigas contínuas. A dificuldade de se colocar esse tipo de armadura nos elementos de pequena altura, faz com essa verificação não seja tanto comum.

De acordo com a NBR 6118:2014 as lajes nervuradas podem necessitar de armadura transversal para resistir aos esforços de tração vindos da força cortante, se a força cortante solicitante de cálculo (V_{sd}) a uma distância d do apoio for menor ou igual a resistência cortante de projeto ($VRd1$). As equações 5, 6 e 7 descrevem as expressões para determinação da cortante na nervura das lajes:

$$V_{sd} \leq VRd1 = [\tau R_d \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1)] \cdot b_w \cdot d \text{ (kN/m)} \quad (5)$$

onde:

$$\tau R_d = 0,25 \cdot f_{ctd} = 0,25 \cdot \left(\frac{f_{ctk, inf}}{\gamma_c} \right) \text{ (kN/cm}^2\text{)} \quad (6)$$

$$\rho_1 = \frac{As_1}{b_w \cdot d} \leq 0,02 \quad (7)$$

As_1 = para as lajes com vigotas pré moldadas, representa o somatório de todas as nervuras da seção (cm²);

d = altura útil das nervuras (m);

b_w = soma das larguras das nervuras no trecho considerado (cm);

k = coeficiente com os seguintes valores: |1| para elementos em que 50% da armadura inferior não chegam até o apoio; |1,6-d |, não menor que |1|, com d em metros.

2.8.8 Cálculo de Armadura na Seção da Nervura

Em uma laje apoiada em vigas e estas em pilares, tem-se uma estrutura considerada monolítica onde todos os elementos que a compõem trabalham em conjunto para manterem o seu funcionamento, ou seja, lajes, vigas e pilares não trabalham independentemente.

Havendo uma deformação em uma viga, por exemplo, parte da laje irá ser deformada, comportando-se como se fosse parte da viga, colaborando em sua resistência. Para o sistema estrutural de lajes treliçadas, a nervura passa a ter uma seção em forma de “T”. Em um corte transversal observa-se que há um conjunto de vigas com a forma de “T” trabalhando lado a lado, conforme mostrado na figura 20. CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014).

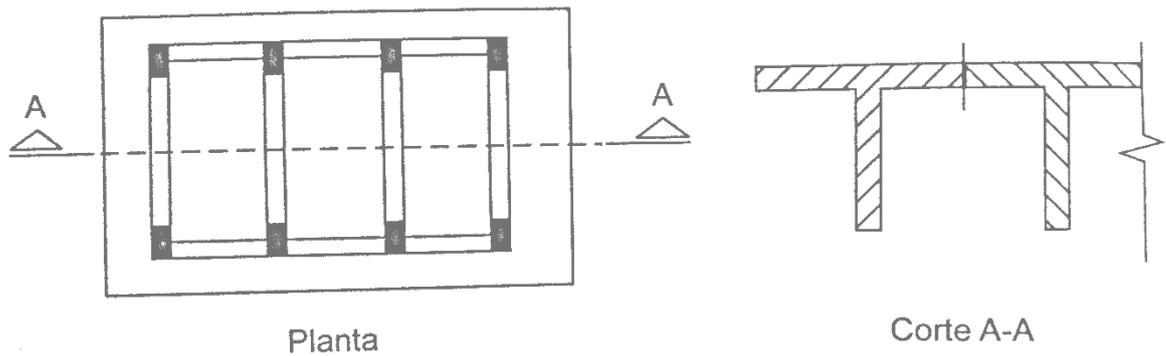


Figura 20 - Vigas de seção transversal "T". Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) considera que uma viga (neste caso a treliça) será considerada como seção "T" somente quando a mesa e parte da alma estiverem comprimidas. Em caso contrário a seção será dimensionada como se fosse retangular. A figura 21 representa ambas situações.

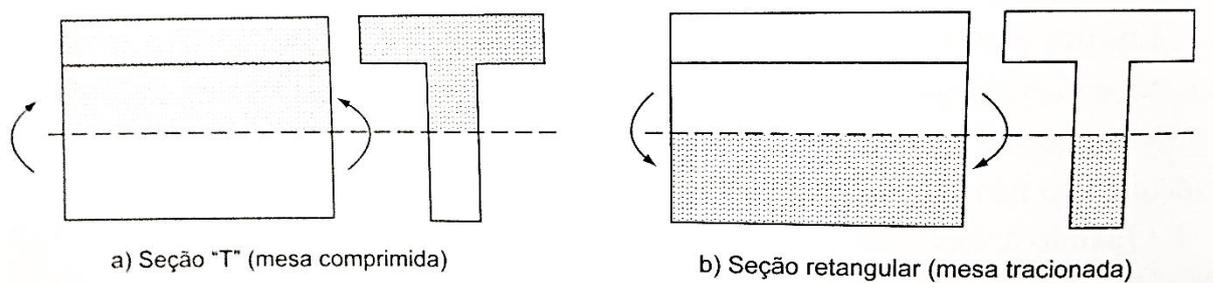


Figura 21 - Seção "T" comprimida a esquerda e seção retangular a direita. Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

Sendo assim, nos trechos em que houver momentos negativos junto aos apoios (vigas contínuas), provavelmente a seção da viga será considerada retangular, já que parte da alma estará comprimida.

Outra análise feita por CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) é que a viga de seção "T" será assim considerada se a linha neutra estiver passando pela alma e caso contrário a seção será retangular, conforme mostrado na figura 22.

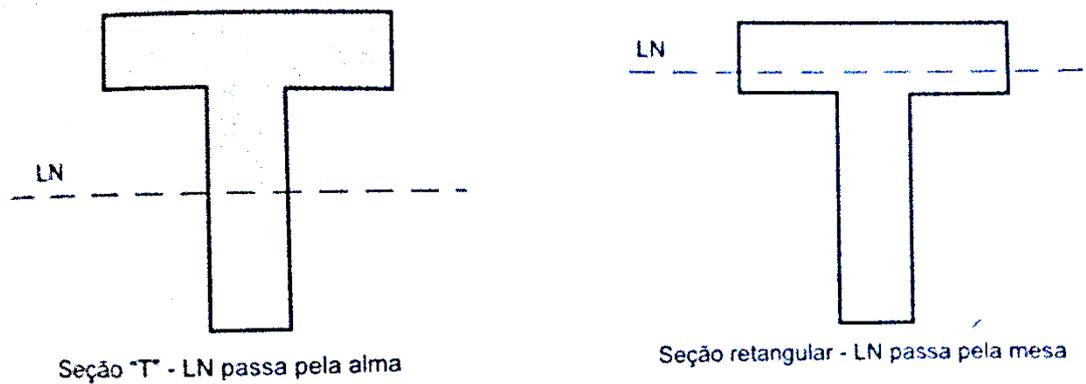


Figura 22 - Influência da linha neutra na determinação da geometria da seção. Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

Os momentos são determinados conforme a altura da linha neutra (LN), sendo que quando esta passa pela alma da seção, o momento resistido pelas abas é definido como:

$$M1 = Fc1. \left(d - \frac{he}{2} \right) = 0,85. fcd. hf. (bf - bw). \left(d - \frac{hf}{2} \right) \quad (kN.m) \quad (8)$$

O momento (M2) absorvido pela nervura fica:

$$M2 = Md - M1 = Fc2. \left(d - \frac{y}{2} \right) \quad (kN.m) \quad (9)$$

A figura 23 demonstra de maneira esquemática a influência das seções na determinação da área de aço.

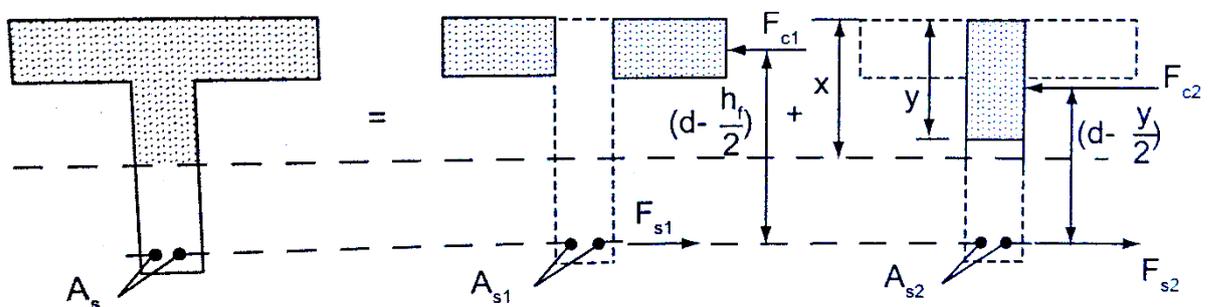


Figura 23 - Seção "T" dividida em duas seções retangulares. Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

A armadura é obtida através da seguinte equação:

$$A_s = \frac{M_1}{\left(d - \frac{hf}{2}\right) \cdot f_{yd}} + \frac{M_2}{(KZ) \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (cm^2) \quad (10)$$

3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM PAINEL DE LAJE BIAPOIADA

O exemplo adotado a seguir representa uma situação hipotética de um painel de laje composta por vigotas treliçadas tendo o EPS como seu material de enchimento no preenchimento das nervuras. Conforme descrito nos objetivos deste trabalho o foco direciona-se na averiguação dos parâmetros a serem analisados para um correto dimensionamento de um sistema estrutural contendo a composição de material descrito acima. A abordagem nos direcionamentos apontados na NBR 6118:2014 foram levadas em conta bem como a aplicação das cargas sob o painel, orientado pela NBR 6120:1980. A figura 24 representa as medidas do painel de laje a ser dimensionado.

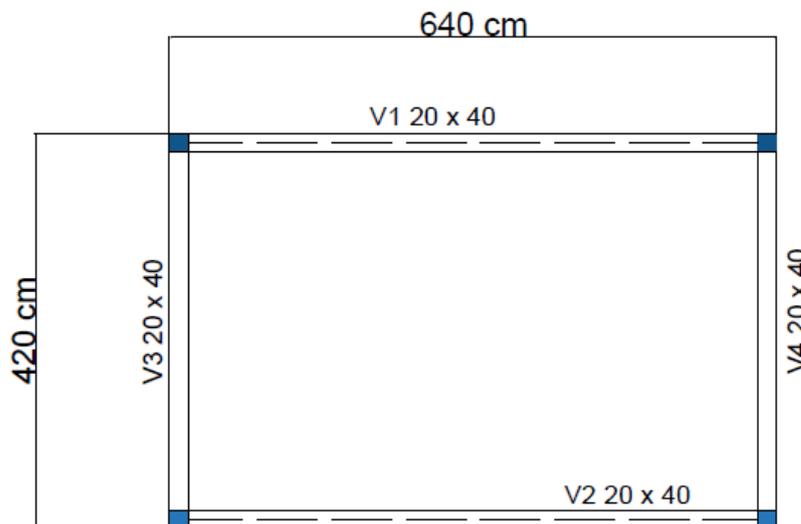


Figura 24 - Painel de laje considerado para o exemplo de dimensionamento. Fonte: Arquivo Pessoal (2017)

Para este dimensionamento, considerar-se-á a laje como simplesmente apoiada na viga, cerca de 50% da base de sua seção, sendo assim o comprimento da nervura atribuída ao

dimensionamento será de 4,0 metros. A figura 25 ilustra a distância denominada de vão livre em um sistema de laje.

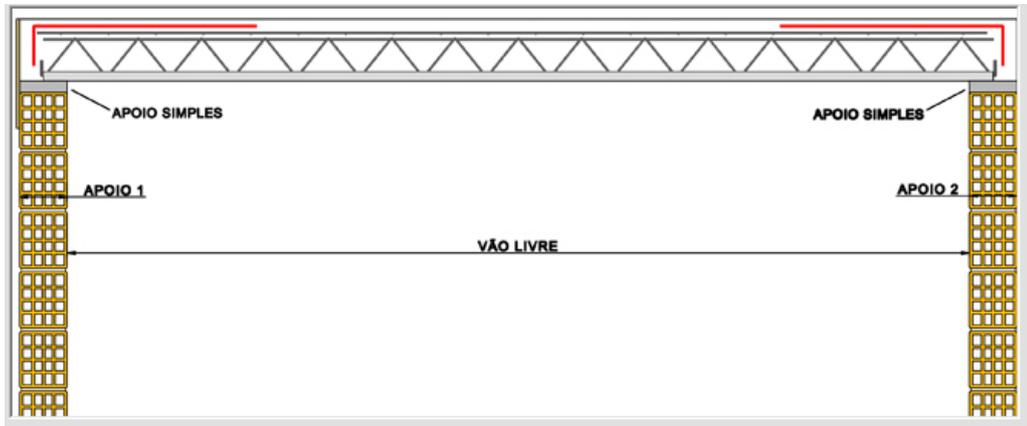


Figura 25 - Vigota Bi apoiada demonstrando o vão livre. Fonte: Software FAULIM TR-LTNU (2017)

As lajes são ditas unidirecionais por terem as nervuras dispostas em apenas um sentido no painel de laje. No caso do exemplo, as nervuras ficarão apoiadas nas vigas 1 e 2, conforme especificado na figura 26.

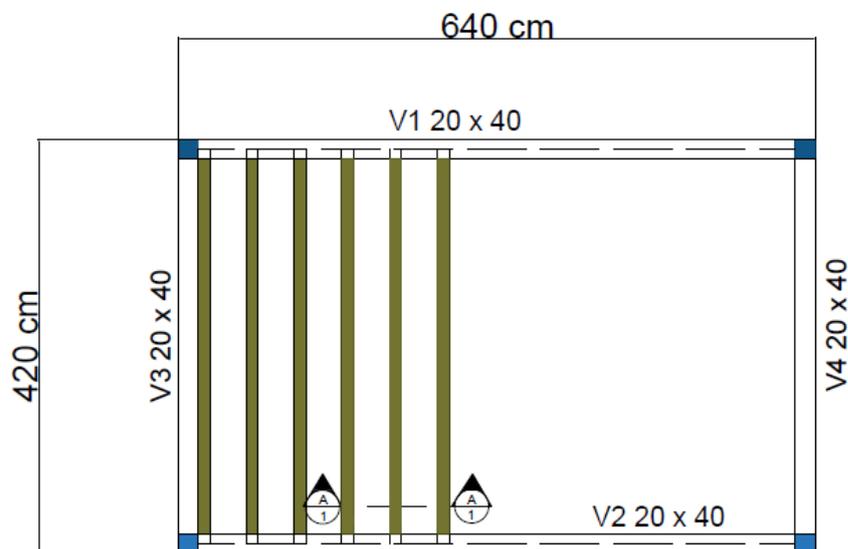


Figura 26 - Disposição das treliças na laje. Fonte: Arquivo Pessoal (2017)

Para dar seguimento ao processo de dimensionamento deve-se primeiramente definir as características geométricas da laje. É importante que o projetista tenha conhecimento do tipo de material disponível em sua região para atender as especificações de projeto.

Analisando as condições da laje a ser utilizada, as empresas responsáveis pela fabricação deste produto devem passar ao projetista as informações referentes as características construtivas de tal. Para efeito deste trabalho, utilizou-se as informações da Empresa Salema-Pré Fabricados em Concreto, situado em São Bernardo do Campo/SP, onde as informações de carregamento podem ser retiradas, conforme mostrado no quadro 8.

Quadro 8 - Informações da Empresa Salema sobre as lajes produzidas.

Laje Acabada	Capa de Concreto	Altura Trelica	EIXO (ml)	SOBRECARGA (KGF/m2) X VÃO LIVRE(m)			PESO PRÓPRIO (Kgf/m ²)	CONSUMO CONCRETO (m ³ / m ²)
				100	200	300		
12	04	08	0.43	5,10	4,85	4,45	150	0.052
14	04	10	0.43	6,10	5,60	5,20	164	0.058
16	04	12	0.43	6,90	6,70	6,40	176	0.063
20	04	16	0.43	8,40	8,25	7,80	202	0.073
25	05	20	0.43	10,00	9,70	9,35	252	0.093
30	05	25	0.43	11,50	10,90	10,00	303	0.113

Fonte: Salema Pré-fabricados (2017)

Os valores admitidos acima são válidos para intereixo de 43 cm, representando a distância horizontal entre os eixos das nervuras. A figura 27 ilustra como fica a disposição das treliças juntamente com o EPS.

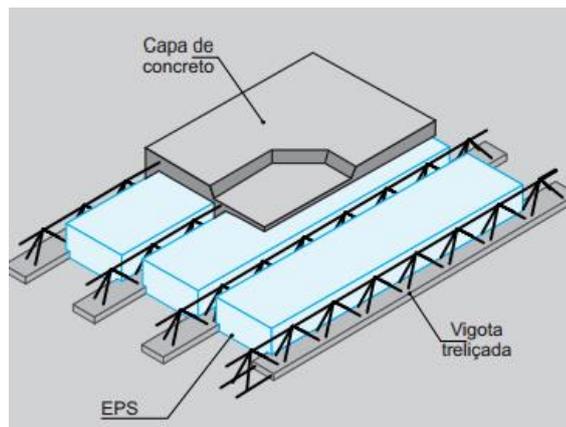


Figura 27 - Ilustração do sistema de laje treliçada da empresa Salema. Fonte: Salema Pré-fabricados (2017)

Baseado nestas informações, será admitida uma laje com as características construtivas de acabamento de 12 cm, tendo como seu peso próprio o valor de 150 kgf/m² (equivalente a 1,47 kN/m²). Como carga acidental, considerou-se o painel de laje como sendo de forros não

destinados a depósitos e, conforme apresentado no quadro 5 deste trabalho, sua carga será de $0,5 \text{ kN/m}^2$.

Para o revestimento superior considerou-se uma espessura de 3 cm de argamassa de cimento e areia e de 2 cm para o revestimento inferior do mesmo material. Segundo a tabela 1 da NBR 6120:1980, este material adotado possui peso específico aparente de 21 kN/m^3 . Levantado esses carregamentos, a figura 28 representa o corte AA da figura 26, incluindo os revestimentos superior e inferior.

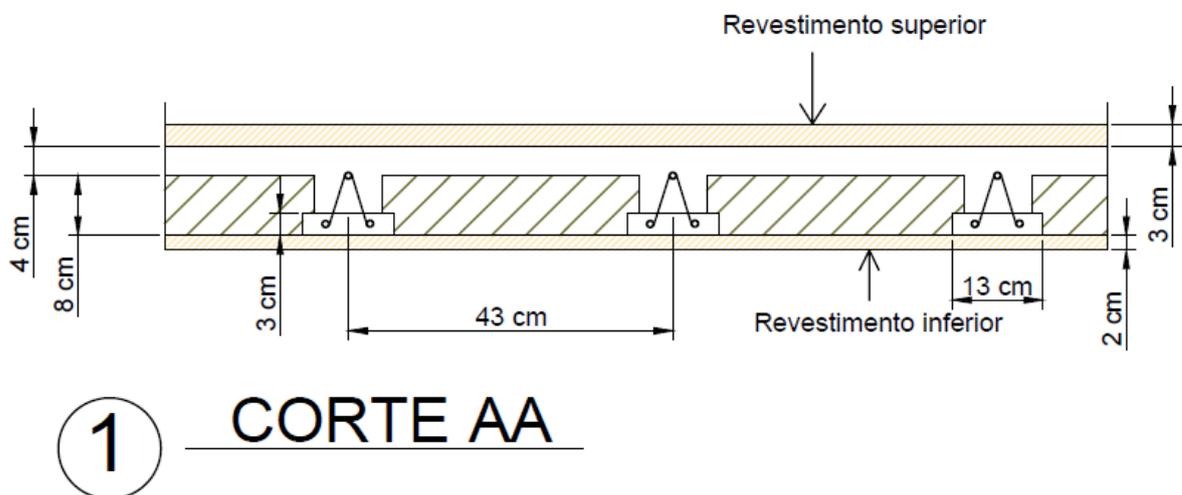


Figura 28 - Representação do corte AA da figura 26. Fonte: Arquivo pessoal (2017)

O quadro 9 apresenta um resumo das características propostas ao painel de laje a ser dimensionado.

Quadro 9 - Características do painel de laje

Características			
Peso Próprio (g1)	Sobrecarga Permanente (g2)	Sobrecarga de Utilização (q)	Altura total de laje
1,47 kN/m ²	1,05 kN/m ²	0,5 kN/m ²	12 m

Fonte: Arquivo pessoal (2017)

O valor atribuído a sobrecarga permanente que consta no quadro 9, fora encontrado multiplicando-se o peso específico aparente do revestimento pelo somatório da altura do revestimento superior e inferior:

$$g_2 = \gamma \times \Sigma(h) \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (11)$$

$$g_2 = 21 \times (0,03 + 0,02)$$

$$g_2 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

Os carregamentos referenciados encontram-se distribuídos em toda a superfície da laje. No dimensionamento das nervuras deve-se levar em consideração a largura colaborante (representada pelo b_f da figura 14), que representa o comprimento da laje que está descarregando sua carga sob a nervura.

Segundo a NBR 6118:2014, no item 14.6.2.2: “a largura colaborante é dada pela largura da viga b_w acrescida de no máximo 10% da distância “a” entre os pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que haja laje colaborante.”

Estima-se, pela própria NBR 6118:2014, que a medida “a”, para viga simplesmente apoiada, equivale ao comprimento “l” do tramo considerado, que neste caso representa a medida de 43 cm. Sendo assim a distribuição do carregamento sob a laje pode ser determinado pelo somatório dos carregamentos multiplicado pela medida da largura colaborante (b_f):

$$P = \Sigma(g_1 + g_2 + q) \times b_f \text{ (kN/m)} \quad (12)$$

$$P = (1,47 + 1,05 + 0,5) \times 0,43$$

$$P = 1,30 \text{ kN/m}$$

3.1 DETERMINANDO O MOMENTO FLETOR NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Conhecendo o carregamento atuante na nervura, o momento fletor máximo sob a estrutura é determinado pela equação 4, descrita no capítulo 2. Sendo assim:

$$M = \frac{1,30 \times 4^2}{8}$$

$$M = 2,60 \text{ kN.m}$$

Esse momento é conhecido como momento característico, sendo que para efeito de dimensionamento este é majorado em 40%, resultando no momento de cálculo, sendo $Md = 3,64 \text{ kN.m}$. As condições aqui descritas estão levando em conta todo o carregamento sofrido no painel de laje e estabelece as condições estruturais para o Estado Limite Último (ELU), onde se considera os carregamentos agindo simultaneamente e em condições majoradas.

3.2 DETERMINANDO A ALTURA DA LINHA NEUTRA

O carregamento vertical que incide sobre a laje deixa-a sob uma condição de compressão na região superior e outra de tração na região inferior. O limite de transição da situação de compressão-tração é onde se define a linha neutra (LN), representando o eixo onde não há efeito da carga atuante na laje (ver figuras 17,18 e 19).

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) estabelece que a posição da linha neutra, para concretos com $fck \leq 50 \text{ MPa}$ pode ser determinada pela equação 13:

$$x = \frac{0,68 \cdot d \pm \sqrt{(0,68 \cdot d)^2 - 4 \cdot 0,272 \cdot \left(\frac{Md}{bw \cdot fcd}\right)}}{0,544} \text{ (cm)} \quad (13)$$

Onde:

fcd = resistência de cálculo para o concreto (ver equação 2)

bw = distância entre as nervuras da treliça (neste exemplo sendo 10 cm). Desconsiderando 1,5 cm de cobrimento lateral de cada lado.

d = altura útil, representando o eixo da armadura tracionada até a face mais comprimida da seção, podendo ser escrito pela equação 14:

$$d = h - c - \emptyset \frac{long}{2} \text{ (cm)} \quad (14)$$

Sendo:

h = altura total de laje (12 cm para este exemplo)

c = cobrimento da armadura (utilizado 1,5 cm para este exemplo)

\emptyset long= diametro a armadura utilizada no dimensionamento.

Para determinar o valor da altura útil será estipulada um \emptyset long de 10mm. Assim:

$$d = 12 - 1,5 - \frac{1}{2}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

Um outro parâmetro que deve ser observado é o tipo de ambiente no qual a estrutura será executada. A tabela 2 (ver capítulo 2) deste trabalho mostra as diferentes classificações de agressividade. Considerando que o painel de laje representa uma estrutura de uma residencia e admitindo encontrar-se em zona urbana, a tabela 2 classifica-o em um risco de deterioração pequena com agressividade moderada. De posse desta informação e analisando o quadro 4 (ver capítulo 2), conclui-se que o concreto a ser utilizado nesta laje deverá possuir um $f_{ck} \geq 25$ Mpa. Considerou-se $f_{ck} = 25 \text{ Mpa} = 2,5 \text{ KN/cm}^2$ para prosseguir com o dimensionamento. Resolvendo a equação 15:

$$x = \frac{0,68.10 \pm \sqrt{(0,68.10)^2 - 4.0,272. \left(\frac{364}{10. \left(\frac{2,5}{1,4} \right)} \right)}}{0,544}$$

Resulta em duas raizes, sendo $x_1 = 21,52 \text{ cm}$ e $x_2 = 3,49 \text{ cm}$.

O valor encontrado em x_1 não foi considerado pois representa uma altura de LN fora das dimensões da seção da laje. Analisando x_2 , deve-se avaliar a condição $x/d \leq 0,45$, onde CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) estabelece que até este valor, o aço e o concreto trabalham na estrutura de forma eficiente sendo o concreto para a compressão e o aço para a tração. Sendo assim:

$$\frac{3,49}{10} \leq 0,45 \quad \therefore \quad 0,35 \leq 0,45 \rightarrow \text{condição satisfatória}$$

É importante verificar essa condição pois proporciona o adequado comportamento ductil para lajes. CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014)

Satisfeito as condições de projeto, a área de aço é determinada pela equação 15:

$$A_s = \frac{M_d}{z \cdot f_{yd}} \text{ (cm}^2\text{)} \quad (15)$$

Onde:

M_d = momento de cálculo

f_{yd} = resistência de cálculo do aço (ver equação 3)

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15}, \text{ considerado aço CA 50 com } f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

z = distância entre a LN e a região de maior tração dada por:

$$z = d - 0,4x$$

$$z = 10 - 0,4 \cdot 3,49 = 8,60 \text{ cm}$$

Assim:

$$A_s = \frac{364}{8,6 \times \left(\frac{435}{10}\right)}$$

$$A_s = 0,973 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{área total da seção de aço}$$

Considerando que as barras de aço com \varnothing 8mm possuem área de seção de 0,5 cm², pode-se concluir que o acréscimo de 2 barras com \varnothing 8mm irá atender a área de aço determinada no dimensionamento.

Na análise do Estado Limite Último, observa-se que o há muitos parâmetros a serem analisados no dimensionamento da nervura da laje. Os carregamentos atribuídos influenciam diretamente na determinação do momento fletor máximo que a estrutura estará submetida bem como o vão livre considerado. A análise da agressividade do meio influência diretamente na escolha do f_{ck} do concreto a ser utilizado.

Concluído o dimensionamento da estrutura no ELU, deve ser verificada as condições desta no ELS, determinando o deslocamento da flecha.

3.3 ANALISANDO A ESTRUTURA NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)

A NBR 6118:2014 traz em seu texto diversas situações estruturais onde se aplica as condições para Estados Limites de Serviços, sendo cada uma direcionada para uma situação específica. No caso da análise proposta neste trabalho, o ELS a ser verificado será o dirigido as deformações excessivas, abreviado de ELS-DEF, onde as deformações atingem os limites aceitáveis para sua utilização normal. É conhecido também como a análise da flecha na estrutura.

A seguir será apresentado uma sequência de procedimentos que levarão a uma análise final do ELS-DEF.

3.3.1 Verificando as Características Mecânicas da Seção.

A NBR 6118:2014 estabelece em seu item 8.2.5 que a resistência a tração no ELS-DEF para concretos de até 50 MPa é determinada pela equação 16:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{\frac{2}{3}} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (16)$$

onde f_{ck} representa a resistência do concreto utilizado, que neste projeto é de 25 MPa, resultando:

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot 25^{\frac{2}{3}}$$

$$f_{ct,m} = 2,56 \text{ MPa} = 2560 \text{ kN/m}^2$$

Outro fator que é determinante para a análise do ELS-DEF é o módulo de elasticidade (E), que representa a medida de rigidez da estrutura. Segundo a NBR 6118:2014, quando se analisa a tração e compressão de uma mesma seção, adota-se o módulo de deformação secante (E_{cs}), dado por:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (17)$$

onde:

$$E_{ci} = \alpha e \cdot 5600 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (18)$$

para f_{ck} de 20 a 50 Mpa;

αe está relacionado ao tipo de agregado utilizado, portanto, $\alpha e = 1,0$ (para granito).

$$\alpha i = 0,8 + 0,2 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{80}\right) \quad (19)$$

Assim:

$$E_{cs} = \left(0,8 + 0,2 \cdot \left(\frac{25}{80}\right)\right) \times (1,0 \cdot 5600 \cdot \sqrt{25}) = 24150 \text{MPa} = 24,15 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$$

Em relação ao aço, a NBR 6118:2014 em seu item 8.3.5 estabelece que o módulo de elasticidade do aço (E_s) pode ser admitido em 210 GPa ou $E_s = 210 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$

3.3.2 Analisando as Características no Estádio I

Como visto no item 2.8.4, o Estádio I corresponde ao instante inicial da ação do carregamento sob a estrutura onde se tem o próprio concreto resistindo as tensões de tração. Nesta fase, deve-se determinar o momento de inércia que age na seção dimensionada.

CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) estabelece 3 equações para este cálculo:

$$A_g = (bf - bw) \cdot hf + bw \cdot h \quad (20)$$

$$y_g = \frac{(bf - bw) \cdot \left(\frac{hf^2}{2}\right) + bw \cdot \frac{h^2}{2}}{A_g} \quad (21)$$

$$I_g = \frac{(bf - bw) \cdot hf^3}{12} + \frac{bw \cdot h^3}{12} + (bf - bw) \cdot hf \cdot \left(y_g - \frac{hf}{2}\right)^2 + bw \cdot h \cdot \left(y_g - \frac{h}{2}\right)^2 \quad (22)$$

Onde:

A_g = área da seção geométrica (cm^2)

y_g = centro de gravidade (cm)

I_g = momento de inércia à flexão (cm^4)

Analisando os dados da seção, conforme figura 29, tem-se que: $b_f = 43 \text{ cm}$; $b_w = 10 \text{ cm}$; $h_f = 4 \text{ cm}$ e $h = 12 \text{ cm}$. Assim:

$$A_g = (43 - 10) \cdot 4 + 10 \cdot 12 = 252 \text{ cm}^2$$

$$y_g = \frac{(43 - 10) \cdot \left(\frac{4^2}{2}\right) + \frac{10 \cdot 12^2}{2}}{252} = 3,90 \text{ cm}$$

$$I_g = \frac{(43 - 10) \cdot 4^3}{12} + \frac{10 \cdot 12^3}{12} + (43 - 10) \cdot 4 \cdot \left(3,90 - \frac{4}{2}\right)^2 + 10 \cdot 12 \cdot \left(3,90 - \frac{12}{2}\right)^2$$

$$I_g = 2621,7 \text{ cm}^4 \cong 26,22 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

3.3.3 Analisando as Características no Estádio II

Nesta fase, a estrutura estará sujeita a um aumento do momento fletor, o que modifica o comportamento estrutural da seção, exigindo armadura, já que o concreto não consegue resistir aos esforços solicitantes de tração. Deve-se determinar o novo momento de inércia que surge na estrutura. CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) estabelece as seguintes equações para tal:

$$X_{II} = \frac{-a_2 \pm \sqrt{(a_2)^2 - 4 \cdot a_1 \cdot a_3}}{2 \cdot a_1} \text{ (cm)} \quad (23)$$

Onde:

$$a_1 = \frac{b_f}{2} \text{ (cm)} \quad (24)$$

$$a_2 = h_f \cdot (b_f - b_w) + (a_e - 1) \cdot A_s' + a_e \cdot A_s \text{ (cm)} \quad (25)$$

Sendo:

$$\alpha e = \frac{Es}{Ecs} \quad (26)$$

As = área de aço da base da treliça mais a determinada no ELU.

$$a3 = -d'.(\alpha e - 1).As' - d.\alpha e.As - \frac{hf^2}{2}.(bf - bw) \text{ (cm)} \quad (27)$$

Sendo:

$$d = h - c - \frac{\emptyset long}{2} \text{ (cm)} \quad (28)$$

Para situações onde não há armadura negativa e a seção é considerada retangular, CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO (2014) estabelece que $bf = bw$; $hf = 0$ e $As' = 0$, o que permite calcular as variáveis:

$$a1 = \frac{bf}{2} = \frac{43}{2} = 21,5 \text{ cm}$$

$$a2 = \alpha e.As = \frac{210 \times 10^6}{24,15 \times 10^6} \cdot 1,28 = 11,13 \text{ cm}^2$$

$$a3 = -d.\alpha e.As = -\left(12 - 1,5 - \frac{0,8}{2}\right) \cdot \frac{210 \times 10^6}{24,15 \times 10^6} \cdot 1,28 = -112,42 \text{ cm}^3$$

A posição XII fica definida como:

$$XII = \frac{-11,13 \pm \sqrt{11,13^2 - 4 \cdot 21,5 \cdot (-112,42)}}{2 \cdot 21,5}$$

tendo com raiz a ser considerada $XII = 2,04 \text{ cm}$.

A inércia fica determinada pela equação:

$$Ix, II = \frac{bf \cdot xII^3}{3} + \alpha e.As.(xII - d)^2 \text{ (m}^4\text{)} \quad (29)$$

$$I_{x,II} = \frac{43.2,04^3}{3} + \left(\frac{210 \times 10^6}{24,15 \times 10^6} \right) \cdot 1,28 \cdot (2,04 - 10,1)^2$$

$$I_{x,II} = 844,75 \text{ cm}^4 = 8,44 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

3.3.4 Analisando Momento Ativo e Momento de Fissuração

Quando se trata de dimensionamento do Estado Limite de Serviço avaliando as deformações excessivas, o item 11.8.3 da NBR 6118:2014 traz as considerações acerca dessa situação, onde deve ser observado a condição estipulada no item “a” onde os carregamentos podem atuar durante grande parte do tempo de vida da estrutura, classificando-a como quase permanente.

Na tabela 11.4 da NBR 6118:2014, fica determinado que para combinações quase permanentes de serviço, tem-se uma solicitação de carregamento de:

$$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_2 F_{qj,k} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (30)$$

Onde:

$F_{d,ser}$ = valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

ψ_2 = coeficiente de carga acidentais. Para este trabalho fica estipulado em 0,3, conforme mostrado no quadro 7 deste trabalho.

$\Sigma F_{gi,k}$ = somatório das cargas permanentes;

$\Sigma F_{qj,k}$ = somatório da carga acidental

Retornando aos carregamentos dados no quadro 8, pode-se definir o carregamento para cada nervura no ELS-DEF, conforme equação 30:

$$F_{d,ser} = (1,47 + 1,05) + 0,3 \cdot 0,5 = 2,67 \text{ kN/m}^2$$

Assim para cada nervura tem-se: $F_{d,ser} = 2,67 \cdot 0,43 = 1,15 \text{ kN/m}$

Definido o carregamento para a nervura o momento ativo é definido conforme equação 4:

$$M_{at,ser} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1,15 \cdot 4^2}{8} = 2,3 \text{ kN.m}$$

Quando se trata do dimensionamento no ELS-DEF, considera-se a estrutura trabalhando tanto no estágio I quanto no estágio II. O momento de fissuração representa a separação entre esses comportamentos. A NBR 6118:2014 estabelece seu cálculo como:

$$Mr = \frac{(\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c)}{y_c} \quad (kN \cdot m) \quad (31)$$

Sendo:

α = fator de correlação entre a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta = 1,2 para seções T ;

y_c = distância do centro de gravidade da seção a fibra mais tracionada = (h- y_{cg})

I_c = momento de inércia da seção bruta de concreto;

f_{ct} = resistência a tração direta do concreto (sendo para este projeto o $f_{ct,m}$)

$$Mr = \frac{1,2 \cdot 2560 \cdot 24,44 \times 10^{-6}}{(0,12 - 0,0377)} = 0,91 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3.3.5 Rigidez Equivalente

Para a determinação da flecha imediata em estruturas de concreto, deve estabelecer a rigidez equivalente da seção a ser dimensionada. Todas as variáveis estabelecidas anteriormente irão compor o cálculo da rigidez para posteriormente determinar a flecha na laje. A NBR 6118:2014 estabelece, em seu item 17.3.2.1.1, que o rigidez equivalente é dada por:

$$(EI)_{eq, t0} = Ecs \left\{ \left(\frac{Mr}{Mat} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{Mr}{Mat} \right)^3 \right] \cdot I_x, II0 \right\} \quad (kN \cdot m^2) \quad (32)$$

Substituindo as variáveis encontradas anteriormente tem-se:

$$(EI)_{eq, t0} = 24,15 \times 10^6 \cdot \left\{ \left(\frac{0,91}{2,3} \right)^3 \cdot 26,22 \times 10^{-6} + \left[1 - \left(\frac{0,91}{2,3} \right)^3 \right] \cdot 8,44 \times 10^{-6} \right\}$$

$$(EI)_{eq, t0} = 230,42 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

3.3.6 Determinando a Flecha Imediata

A flecha imediata representa a deformação que a estrutura sofrerá após a retirada das escoras de sustentação da laje concretada. É dada por:

$$a = \frac{\alpha c \cdot p \cdot l^4}{(EI)_{eq}} \quad (cm) \quad (33)$$

Onde:

p = carga definida por combinação;

l = vão da viga;

$(EI)_{eq}$ = rigidez equivalente;

αc = coeficiente que depende da condição estática do sistema considerado. Para vigas simplesmente apoiada e carga uniformemente distribuídas, $\alpha c = \frac{5}{584}$

Assim:

$$a = \frac{\left(\frac{5}{584}\right) \cdot 1,15.4^4}{230,42} = 0,011 \text{ m} = 1,10 \text{ cm}$$

3.3.6 Flecha Diferida no Tempo

A flecha diferida no tempo representa o deslocamento que a estrutura sofrerá devido ao efeito da fluência, representando o deslocamento que o carregamento provoca na estrutura ao longo de um certo período. É estabelecido na NBR 6118:2014, no item 17.3.2.1.2, que o coeficiente αf será de:

$$\alpha f = \frac{\Delta \xi}{1 + 50 \rho'} \quad (34)$$

O ρ' da equação é considerado quando se tem estruturas protendidas, que não é o caso deste dimensionamento. Sendo assim:

$$\alpha f = \Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0) \quad (cm) \quad (35)$$

O coeficiente ξ é função do tempo e a NBR 6118:2014 permite determiná-lo através das expressões:

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

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

É importante atentar para essa variável, pois o tempo inicial representará o momento quando for retirada as escoras da laje, ou seja, a própria estrutura estará sustentando o seu carregamento considerado no projeto. Sendo assim, iremos considerar que as escoras do projeto dimensionada será retirada no prazo de 28 dias (equivalente a 0,933 meses), onde o concreto consegue alcançar a sua resistência considerável. Para o tempo final considerar $\xi(t) = 2$, assim:

$$\xi(t) = 0,68 \cdot (0,996^{0,933}) \cdot 0,933^{0,32} = 0,66$$

$$\alpha f = \Delta \xi = \xi(t) - \xi(t_0) = 2 - 0,66 = 1,34 \text{ cm}$$

A NBR 6118:2014 estabelece que a flecha final desenvolvida na estrutura é obtida multiplicando-se a flecha imediata por $(1 + \alpha f)$:

$$a_{total, \infty} = 1,10 \cdot (1 + 1,34) = 2,57 \text{ cm}$$

Para o deslocamento final calculado deve-se compará-lo com o deslocamento limite estabelecido na NBR 6118:2014. Encontrado na tabela 13.3 que estabelece os limites aceitáveis para o deslocamento de estruturas dimensionadas no ELS-DEF, encontra-se que a flecha limite é dada por :

$$a_{lim} = \frac{l}{250} \text{ (cm)} \quad (36)$$

sendo l o comprimento do vão

$$a_{lim} = \frac{400}{250} = 1,60 \text{ cm}$$

Comparando que o valor total do deslocamento da flecha, observa-se que está maior que o valor limite: $2,57 \text{ cm} > 1,60 \text{ cm}$. Ocorrendo esse tipo de situação, a NBR 6118:2014 permite aplicar uma contraflecha na estrutura desde que seu deslocamento não seja superior a $l/350$. Levando em consideração essa possibilidade, tem-se:

$$a_{total, \infty} = 2,57 - \left(\frac{400}{350}\right) = 1,43 \text{ cm} < 1,60 \text{ cm}$$

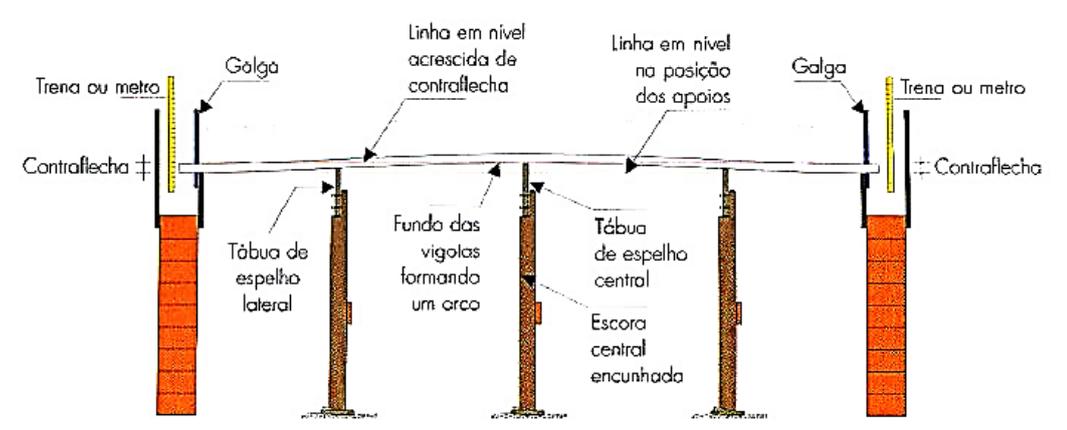


Figura 29 - Aplicação de contraflecha em uma laje. Fonte: Tijolaje (2017)

3.4 VERIFICANDO O CISALHAMENTO

Conforme descrito no item 2.8.7 deste trabalho a verificação ao cisalhamento ($VRd1$), será dada pela equações 5, 6 e 7. Sendo assim:

$$\tau_{Rd} = \frac{0,25 \cdot 2560}{1,4} = 457,14 \text{ KN/m}^2$$

$$\rho_1 = \frac{1,28}{9 \cdot 10,1} = 0,014 \leq 0,02$$

$$k = 1,6 - 0,101 = 1,499 \cong 1,5$$

$$VRd1 = [457,14 \cdot 1,5 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,014)] \cdot 9 \cdot 0,101 = 10,97 \text{ KN}$$

Ressalta aqui, que este procedimento adotado está baseado na NBR 6118:2014. Esta norma estabelece que para entre eixos de nervura menor que 65cm, considera-se os critérios de laje para verificação ao cisalhamento.

Para a determinação do esforço solicitante de cálculo, a força cortante máxima (V) para um sistema de vigas bi apoiadas é dada por:

$$V = \frac{P \cdot l}{2} \quad (37)$$

onde P = carga distribuída;

l = comprimento da viga

Assim:

$$V = \frac{1,3 \cdot 4}{2} = 2,6 \quad \therefore V_{sd} = 2,6 \cdot 1,4 = 3,64 \text{ KN}$$

$$3,64 \text{ KN} \leq 10,57 \text{ KN}$$

Concluindo assim, que a laje dimensionada não necessita de armadura para combater a tensão de cisalhamento, já que a solicitação de cálculo (V_{sd}) é menor que a de projeto (V_{Rd1}).

3.5 ANÁLISE FINAL DO DIMENSIONAMENTO

Diante dos procedimentos apresentados para o dimensionamento da laje, pode-se concluir que a armadura dimensionada no ELU apresenta as condições necessárias para desempenhar sua função estrutural dentro dos limites de segurança e aceitação estabelecidas em norma, desde que seja aplicada uma contraflecha na estrutura, no intuito de manter o limite estabelecido na NBR 6118:2014 para o deslocamento total da flecha. Na figura 29 observa-se uma ilustração do processo de aplicação da contraflecha em uma laje. Ressalta-se aqui que o projetista deverá informar, em projeto, o valor que deverá ser aplicado na estrutura relativo a contraflecha.

Em relação a armadura de distribuição, conforme tratado no item 2.7 deste trabalho, poderá ser adotada para este painel de laje um sistema que atenda as especificações relacionadas na tabela 1, garantindo uma segurança a mais para o projetista caso venha a ocorrer, principalmente, o acréscimo de carga pontual sobre a laje.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais com enchimento em EPS requer do projetista conhecimentos sobre as características estruturais da obra. No projeto apresentado neste trabalho, observou-se que há inúmeras variáveis que devem ser estabelecidas para que uma estrutura de laje trabalhe dentro dos limites de segurança e funcionalidade estipulado nas normas vigentes. Verificou-se que quando uma estrutura é dimensionada, esta tem por objetivo atender determinados parâmetros estabelecidos em seu dimensionamento.

No exemplo do projeto, considerou-se que a funcionalidade da laje seria para uma edificação residencial com o intuito de ser apenas laje de cobertura. A alteração desta característica para uma laje de piso, por exemplo, acarretaria uma mudança de carregamento sobre ela e conseqüentemente alteraria a sua estabilidade. Haveria uma diferenciação para o Estado Limite Último e também para o Estado Limite de Serviço, onde provavelmente a armadura dimensionada nas nervuras não atenderiam as especificações de carga. Outra variável de suma importância a ser analisada e a classe de agressividade que a estrutura estará submetida. Dependendo do local de exposição, uma mesma estrutura não atenderá as mesmas condições de armadura estando submetidas a diferentes ambientes.

A consideração do vão livre para as lajes também influencia no dimensionamento da estrutura, pois sua variação para maiores distâncias acarreta um aumento no momento de flexão, exigindo possivelmente diferenciação na armadura.

Outro parâmetro bastante importante na etapa executiva da obra é manter o escoramento da laje dentro do limite estabelecido em projeto, pois o comprimento da flecha causada pela efeito de fluência está diretamente ligada ao período em que a laje fica submetida ao escoramento, sendo inversamente proporcional a esta variável. A verificação do Estado Limite de Serviço quanto as deformações excessivas nos permite estabelecer parâmetros aceitáveis para a deformação da estrutura, sem que esta comprometa as armaduras mantendo-as protegidas quanto a corrosão, garantindo também que todo o conjunto fique dentro dos limites de aceitabilidade sensorial dos usuários.

Ambas as características do Estado Limite Último (ELU) e do Estado Limite de Serviço de deformações excessivas (ELS-DEF) devem ser atendidas de forma simultânea pois dimensionar um sistema estrutural apenas no ELU, por exemplo, não impedirá o surgimento de deslocamentos indesejáveis na laje fora dos padrões de aceitabilidade e, analisar apenas o ELS-DEF não garantirá um dimensionamento correto do aço, sendo assim a correlação entre esses Estados Limites é algo que deve ser estabelecido dentro de qualquer projeto estrutural.

Diante do conjunto de parâmetros observados para o dimensionamento de lajes treliçadas unidirecionais fica evidente que o responsável pela execução de um projeto desta natureza deverá manter o máximo grau de fidelidade para com as exigências de projeto para que a estrutura atenda a sua funcionalidade e tenha maior tempo de vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859-1: Laje pré-fabricada- Requisitos. Parte 1: Lajes Unidirecionais.** ABNT, 2002.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.** ABNT, 2014.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859-1: Laje pré-fabricadas de concreto - Parte 1: Vigotas, minipainéis e painéis - Requisitos.** ABNT, 2016.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859-2: Laje pré-fabricadas de concreto - Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos.** ABNT, 2016.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14859-3: Laje pré-fabricadas de concreto – Parte 3: Armaduras eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos.** ABNT, 2016.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** ABNT, 1980.
- ARCELOR MITTAL. **Manual Técnico das lajes treliçadas.** Disponível em: <
<http://longos.arcelormittal.com.br/pdf/produtos/construcao-civil/outros/manual-tecnico-trelicas.pdf>>. Acesso em 28/10/2016.
- BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Lajes de Concreto.** Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista, 2015.
- CARVALHO, R. C; FILHO J. R.F. **Calculo e detalhamento de estruturas Usuais de Concreto Armado: Segundo a NBR 6118:2014.** Ed. 4. São Carlos: EdUFSCar, 2014.

CONFEA- Conselho Federal de Engenharia e Agronomia. Disponível em:
<<http://normativos.confea.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=3>>. Acesso em 13 de novembro de 2016.

CUNHA, M. O. **Recomendação para projetos de lajes formada por vigotas com armação treliçada**. São Carlos.119p. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

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

FRANCA A. B. M.; FUSCO P. B. **As lajes nervuradas nas modernas construções de edifícios**. São Paulo: AFALA; ABRAPEX, 1997.

JUNIOR J. A. **Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas**. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.

KAEFER, Luís Fernando- **A EVOLUÇÃO DO CONCRETO ARMADO**. São Paulo, 1998.

LOPES A. F. O. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas moldadas no local com forma de polipropileno e lajes pré-fabricadas treliçadas**. Dissertação de Pós-Graduação – Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru, 2015.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Escola de Engenharia de São Carlos- Departamento de Engenharia de Estruturas, 2007.

VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil: Pré-fabricação, monumentos, Fundações**. Volume III. Studio Nobel. São Paulo, 2002.