

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS – UNIS / MG

ENGENHARIA CIVIL

N. CLASS.	M 624.58342
CUTTER	R375C
ANO/EDIÇÃO	2014

Mateus dos Reis

**CARTILHA PARA EXECUÇÃO DE LAJES TRELIÇADAS  
PRÉ-MOLDADAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE  
PEQUENO PORTE**

Varginha-MG

2014

**FEPESMIG**

Mateus dos Reis

**CARTILHA PARA EXECUÇÃO DE LAJES TRELIÇADAS  
PRÉ-MOLDADAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE  
PEQUENO PORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao departamento de engenharia civil do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS-MG, como parte dos requisitos para conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Varginha

2014

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS – UNIS / MG

ENGENHARIA CIVIL

**CARTILHA PARA EXECUÇÃO DE LAJES TRELIÇADAS  
PRÉ-MOLDADAS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS DE  
PEQUENO PORTE**

Mateus dos Reis

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau em Engenharia Civil no Centro Universitário do Sul de Minas pela banca examinadora:

---

Prof. M. Sc. Antônio de Faria

---

Prof<sup>a</sup> M. Sc. Luciana Bracarense Coimbra Veloso

---

Prof. M. Sc. Armando Belato Pereira

Varginha/MG

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Comportamento das lajes. . . . .	07
FIGURA 02 – Sistema de transmissão de cargas. . . . .	08
FIGURA 03 – Laje nervurada moldada no local. . . . .	09
FIGURA 04 – Tipos de vigotas pré-moldadas . . . . .	10
FIGURA 05 – Desenvolvimento das lajes ao longo do tempo. . . . .	10
FIGURA 06 – Treliça metálica eletrossoldada. . . . .	11
FIGURA 07 – Treliça com base de concreto e armadura adicional . . . . .	12
FIGURA 08 – Material de enchimento. . . . .	16
FIGURA 09 – Laje com bloco de cerâmica. . . . .	16
FIGURA 10 – Vigotas. . . . .	22
FIGURA 11 – Esquema de ensaios. . . . .	23
FIGURA 12 – Posicionamento das cargas concentradas. . . . .	24
FIGURA 13 – Numeração dos nós. . . . .	24
FIGURA 14 – Numeração das barras . . . . .	25
FIGURA 15 – Momento na vigota. . . . .	26
FIGURA 16 – Base de distribuição do carregamento no solo. . . . .	38
FIGURA 17 – Esquema do escoramento da laje treliçada. . . . .	38
FIGURA 18 – Desenho ilustrativo de como uma laje se comporta com a contra flecha. . . . .	44
FIGURA 19 – Cunhas para realização de contra flecha . . . . .	44
FIGURA 20 – Posicionamento das vigotas. . . . .	45
FIGURA 21 – Espaço mínimo da sinusóide. . . . .	45
FIGURA 22 – Enchimento sobre o apoio . . . . .	46
FIGURA 23 – Encaixe dos elementos de enchimento . . . . .	46
FIGURA 24 – Caixa de passagem elétrica em lajes. . . . .	47
FIGURA 25 – Apoio simples. . . . .	49
FIGURA 26 – Laje Contínua. . . . .	49
FIGURA 27 – Laje em balanço. . . . .	49
FIGURA 28 – Exemplo de canaleta para execução de nervuras. . . . .	50

FIGURA 29 – Importância da nervura de travamento....	.51
FIGURA 30 – Posicionamento da armadura positiva. ....	.51
FIGURA 31 – Espaçadores. ....	.52

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Tolerâncias dimensionais para elementos de enchimento. . . . .	15
TABELA 02 – Dimensões dos materiais de enchimento. . . . .	15
TABELA 03 – Armadura e altura das respectivas vigotas . . . . .	22
TABELA 04 – Resumo dos ensaios feitos em vigotas H8 . . . . .	23
TABELA 05 – Resumo dos ensaios feitos em vigotas H12. . . . .	23
TABELA 06 – Resumo dos processamentos feitos com vigotas H8. . . . .	25
TABELA 07 – Resumo dos processamentos feitos com vigotas H12. . . . .	25
TABELA 08 - Resultado para o cálculo do peso próprio dos outros tipos de lajes estudados . . . . .	30
TABELA 09 - Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H8 com enchimento cerâmico. . . . .	41
TABELA 10- Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H8 com enchimento EPS. . . . .	42
TABELA 11 - Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H12 com enchimento Cerâmico . . . . .	42
TABELA 12 - Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H12 com enchimento EPS. . . . .	43
TABELA 13 – Área mínima e quantidade de armadura de distribuição. . . . .	53
TABELA 14 – Características das malhas eletrossoldadas . . . . .	54
TABELA 15 – Capa mínima resistente para as alturas das lajes totais . . . . .	55

## **RESUMO**

Este trabalho tem como finalidade desenvolver uma cartilha contendo informações técnicas, para auxiliar oficiais, mestre de obras e auto construtores sobre a melhor maneira de se executar a laje nervurada pré-moldada treliçada em edificações residenciais de pequeno porte. Baseando-se nas normas da ABNT, NBR6118/2014 - Projetos de estruturas de concreto e NBR14859/2002-1 Lajes pré-fabricas, Parte 1: Lajes unidirecionais, e em artigos científicos, procurou-se detalhar de maneira simples e objetiva cada etapa, desde a chegada da laje treliçada na obra, até a retirada do escoramento. Servindo assim como um roteiro de execução para pessoas sem conhecimento técnico sobre o assunto.

Palavra chave: Laje treliçadas nervurada pré-moldadas, execução, residências, cartilha laje

## **ABSTRACT**

This work aims to develop a primer containing technical information to assist officers, master builder and auto manufacturers on the best way to run the ribbed slab lattice pre molded in small residential works. Based on the standards ABNT NBR6118:2014. Projects-concrete structures and NBR14859:2002-1 pre-slabs factories, Part 1: one-way slabs, and scientific articles, we tried to drill a simple and objective way each step from arrival of lattice slab in the work, until removal of shoring. Thus serving as a script execution for people without technical knowledge on the subject.

Keyword: ribbed slab lattice pre molded slab, performing, residential, slab primer



## SUMARIO

1	INTRODUÇÃO .....	03
1.1	JUSTIFICATIVA. ....	04
1.2	OBJETIVO.. ....	04
1.2.1	GERAL. ....	04
1.2.2	ESPECIFICO. ....	04
1.3	METODOLOGIA. ....	05
1.4	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO. ....	05
2	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO. ....	07
2.1	LAJES . ....	07
2.2	TIPOS DE LAJES. ....	08
2.3	LAJES COM VIGOTAS DE ARMADURAS TRELIÇADAS.. ....	10
2.4	MATERIAIS DE ENCHIMENTO. ....	14
3	FASE CONSTRUTIVA DA LAJE TRELIÇADA PRÉ-MOLDADA. ....	18
3.1	RECEBIMENTO E ESTOCAGEM DA LAJE NA OBRA. ....	18
3.1.1	VERIFICAÇÃO DOS MATERIAIS RECEBIDOS.....	18
3.1.2	ESTOCAGEM DE MATERIAL. ....	18
3.1.3	TRANSPORTE DOS MATERIAIS. ....	19
3.2	ESCORAMENTO. ....	21
3.2.1	RESISTÊNCIA DA VIGOTA TRELIÇADA. ....	22
3.2.2	CARGA DURANTE A EXECUÇÃO DA LAJE. ....	27
3.2.3	PESO PRÓPRIO DA LAJE EM ESTUDO. ....	27
3.2.3.1	PESO PRÓPRIO DA LAJE TRELIÇADA H8 COM ENCHIMENTO EM CERÂMICA. ....	27
3.2.3.2	PESO PRÓPRIO DO OUTROS TIPOS DE LAJE EM ESTUDO. ....	29
3.2.4	ESCORAMENTO. ....	30
3.2.4.1	ESCORAMENTO DE LAJE TRELIÇADA H8 COM ENCHIMENTO EM CERÂMICA. ....	30
3.2.4.2	ESCORAMENTO DA LAJE TRELIÇADA H8 COM ENCHIMENTO EM EPS. ....	33
3.2.4.3	ESCORAMENTO LAJE H12 COM ENCHIMENTO CERÂMICO. ....	33

3.2.4.4 ESCORAMENTO LAJE TRELIÇADA H12 COM ENCHIMENTO EM EPS. ....	36
3.2.5 FORMAS DE ESCORAMENTO. ....	37
3.3 CONTRA FLECHA. ....	38
3.4 COLOCAÇÕES DE VIGOTAS E MATERIAL DE ENCHIMENTO. ....	44
3.5 CONDIÇÕES DE APOIO DAS VIGOTAS. ....	46
3.5.1 APOIO SIMPLES . ....	46
3.5.2 ENGASTES. ....	47
3.6 NERVURAS NA LAJE. ....	49
3.6.1 NERVURAS DE TRAVAMENTO. ....	49
3.7 POSICIONAMENTOS DAS ARMADURAS. ....	50
3.8 CONCRETAGEM E ADENSAMENTO DO CONCRETO. ....	53
3.9 CURA DO CONCRETO. ....	56
3.9.1 PROCEDIMENTOS PARA RETIRADA DO ESCORAMENTO. ....	56
4 TÉCNICAS DE SEGURANÇA NA MONTAGEM E CONCRETAGEM DA LAJE. .	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS. ....	58
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.. ....	59
7 ANEXO A. ....	61
8 CARTILHA. ....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de lajes treliçadas nervuradas pré-moldadas no Brasil teve seu início no ano de 1990, sendo atualmente, mais utilizadas em construções de pequeno e médio porte, devido ao seu simples processo de fabricação, a redução do uso de fôrmas, o fácil manuseio e a simples execução.

Sua concepção consiste na substituição do concreto abaixo da linha neutra (concreto tracionado) por um elemento mais leve, diminuindo o peso próprio da laje e consequentemente aliviando a fundação. Isto está relacionado diretamente na redução do custo da obra, tornando-se assim uma solução economicamente viável.

Segundo MUNIZ (1991), o sistema de lajes treliçadas surgiu e teve larga utilização a partir da Segunda Guerra Mundial. Foi criado para superar algumas deficiências que as lajes pré-moldadas convencionais apresentavam, e em muito contribuiu para solucionar o problema da reconstrução dos países destruídos pela guerra, e a grave crise habitacional consequente.

De acordo com MAGALHÃES (2001) as lajes formadas por vigotas pré-moldadas foram disseminadas no Brasil por inúmeras pequenas empresas produtoras, das quais muitas delas, sem capacitação técnica para projetar, produzir e prestar assistência técnica aos construtores. Ocasionalmente assim em muitos casos problemas estruturais visíveis como, flechas excessivas, infiltrações, fissurações e até desmoronamentos.

Atualmente casas com área menor que 150m<sup>2</sup> não necessitam obrigatoriamente de projetos estruturais para a aprovação da prefeitura, e a maioria das que possuem são incompletos, pois grande parte dos engenheiros estruturais, em relação à laje, detalha apenas o sentido de montagem das vigotas e não visitam as obras. Com isso as fábricas que produzem as vigotas ficam responsáveis por dimensionar e detalhar as mesmas e fica por conta dos construtores a correta execução.

Assim, informações técnicas mais precisas sobre como realizar a correta execução das lajes treliçadas em edificações residenciais de pequeno porte, resultarão em um menor desperdício de tempo, mão de obra, insumos, evitando retrabalhos. Padronizando o uso desse sistema construtivo às mais diversas aplicações das quais ele se presta, sem adaptações inconvenientes.

## **1.1 Justificativa**

Um dos processos mais importantes para definir a qualidade de uma laje treliçada nervurada pré-moldada é a montagem da mesma na obra, em que, se deve respeitar vários procedimentos, como, distância entre as escoras, condição de apoio, contra-flecha necessária, altura do escoramento, adensamento e cura do concreto. Apesar deste tipo de laje ser bem difundida no Brasil, muitos construtores ainda estão despreparados para esta etapa, ocorrendo assim falhas que podem influenciar no comportamento estrutural da obra.

Diante dessa deficiência, este trabalho visa orientar pequenas edificações, a forma correta de montagem da laje treliçada, posicionamento de armadura, escoramento, contra flechas e medidas de segurança, através das normas e procedimentos técnicos.

## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Geral**

Desenvolver uma cartilha para edificações residenciais de pequeno porte que exemplifique detalhadamente os procedimentos corretos para execução da laje treliçada no canteiro de obra, direcionada a orientar oficiais, mestres de obras e os auto construtores (indivíduos sem especialização técnica que gerenciam obras próprias).

### **1.2.2 Específicos**

- Exemplificar maneiras de receber e estocar as vigotas e o material de enchimento na obra
- Definir escoramento;
- Calcular distância entre as linhas de escoramento
- Tabelar valores executivos de contra flecha
- Exemplificar forma de escoramento
- Detalhar as condições de apoio das vigotas
- Instruir na montagem do material de enchimento

- Detalhar a posição das armaduras;
  - Negativa
  - Distribuição
  - Positiva complementar
- Exemplificar forma de concretagem e adensamento do concreto
- Definir método de cura do concreto
- Mostrar o método correto para retirada do escoramento.

### **1.3 Metodologia**

Primeiramente será realizado um levantamento de informações sobre o tema em questão, através de consultas em artigos científicos, monografias, sites confiáveis, livros e normas, tendo assim um embasamento teórico. Esta reunião de dados constitui a primeira fase do trabalho.

Com os dados reunidos os mesmos serão analisados e complementados para a produção da cartilha contendo os objetivos descritos.

Os cálculos que irão compor a cartilha serão realizados através de planilhas no Software Excel (Microsoft Office) e no Software Ftool 3.0 de cálculo de estruturas. Para a ilustração da cartilha os desenhos serão feitos através do Software Autocad . Para desenvolvimento de dados na cartilha será utilizado o Microsoft Word (Microsoft Office).

### **1.4 Estrutura do trabalho**

O presente trabalho visa elaborar uma cartilha contendo os métodos para uma correta execução da laje pré-moldada treliçada em edificações residenciais de pequeno porte. Levando em consideração as formas de escoramento, contra- flecha, condição de apoio, posicionamento das armaduras complementares, concretagem, adensamento e cura do concreto, por fim a retirada das escoras.

Os conceitos relacionados às lajes treliçadas pré-moldadas necessários para confecção desse trabalho estão localizados no referencial bibliográfico. Para facilitar o

entendimento dos construtores à cartilha será escrita com uma linguagem simples e objetiva, dividida nos seguintes capítulos:

- Componentes da Laje treliçada.
- Recebimento dos componentes da laje.
- Estocagem dos Materiais.
- Transporte dos materiais.
- Escoramento
- Posicionamento e montagem das vigotas e enchimento.
- Execução de nervuras transversais.
- Posicionamento das armaduras.
- Concretagem e adensamento do concreto.
- Cura do concreto.
- Retirada do escoramento.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 Lajes

As lajes em geral, figuram com dois papéis de extrema importância quando analisadas do ponto de vista estrutural: como placas ao suportarem as ações verticais aplicadas ao longo dos pisos, e como chapas, ao se constituírem em diafragmas rígidos horizontais que distribuem pelos diferentes pilares da estrutura as forças horizontais atuantes (CAIXETA, 1998).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) na NBR 6118:2014 define as placas como “elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais a seu plano. As placas de concreto são usualmente denominadas lajes”.

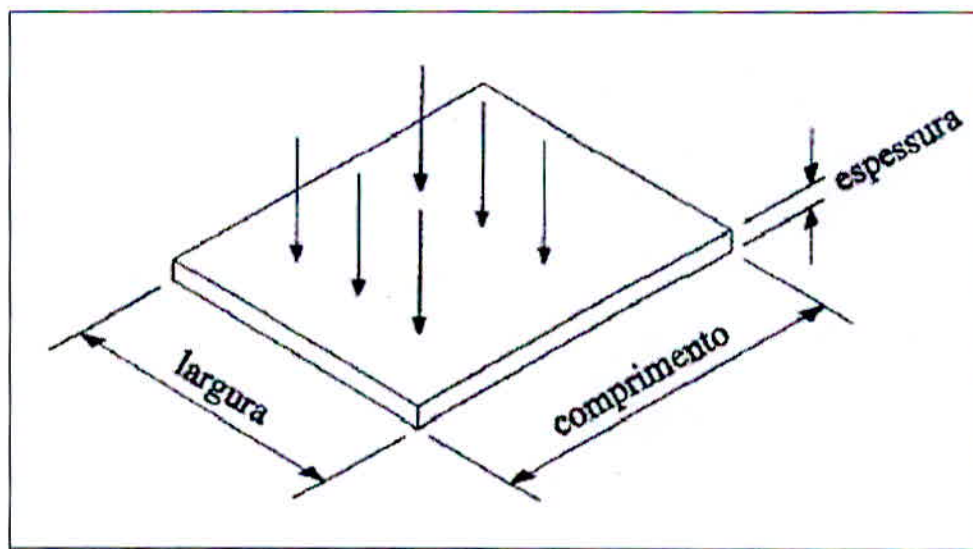


FIGURA 1:Comportamento da laje(SILVA, 2005)

O comportamento de chapa é conferido à laje pela sua capacidade de absorver esforços horizontais, garantindo assim a estabilidade global da estrutura através do travamento dos pilares e vigas.

Outra função importante das lajes é a de, quando construídas ligadas monoliticamente às vigas, para momentos fletores positivos, funcionarem como mesas de compressão da seção T (FERREIRA, 2005).

As principais cargas atuantes nas lajes são:

-peso próprio da laje;

- revestimento;
- paredes sobre a laje;
- carga acidental;

As Lajes são responsáveis por receberem estas cargas, transmitindo-as às vigas, que por sua vez, lhes conduzem até os pilares que as transferem para os elementos de fundação e estes finalmente ao solo.

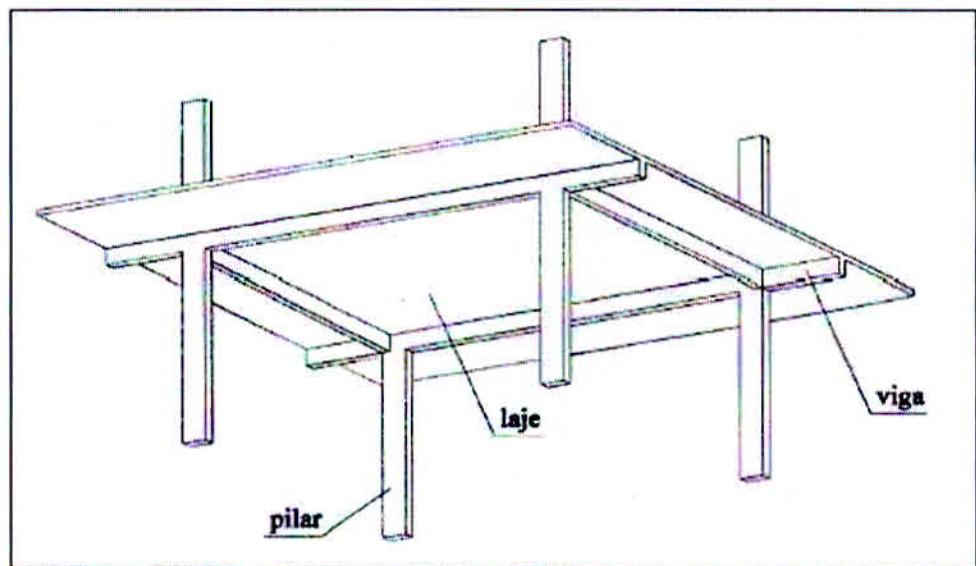


FIGURA 2: Sistema de transmissão de cargas (SILVA, 2005)

## 2.2 Tipos de lajes

Assim como o modo de se construir vem evoluindo, as formas de se produzir e executar as lajes também estão se modernizando. Procurando sempre baratear os custos, com segurança e trabalhabilidade. Desse modo é apresentado a seguir os tipos de lajes mais comuns encontrados no mercado do país, destacando o modelo de laje treliçada pré-moldada, que é o foco desse trabalho.

**LAJE MACIÇA** - Apresentam um bom comportamento estrutural, pois elas podem trabalhar nas duas direções distribuindo melhor o carregamento nas vigas de contorno, além de ser mais rígidas. Entretanto, grande parte de sua resistência é consumida para resistir ao esforço do seu peso próprio, encarecendo assim a estrutura (MAGALHÃES, 2001).



LAJE NERVURADA MOLDADA NO LOCAL - Consegue vencer vãos maiores que a anterior, devido à redução do seu peso próprio causado pela troca de parte do concreto abaixo da linha neutra (concreto tracionado) por um material de enchimento mais leve, formando assim nervuras que ligam a alma tracionada, à mesa comprimida. Contudo, esta ainda necessita ser moldada no local, o que acarreta grandes custos com escoramentos e fôrmas.

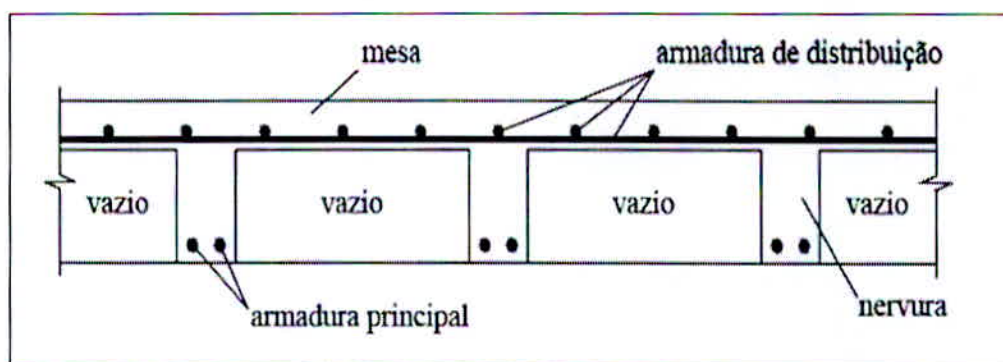


FIGURA 3: Laje nervurada moldada no local (SILVA, 2005)

LAJES PRÉ-MOLDADA TIPO TRILHO - Constituído de vigotas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, com o formato de T invertido, sendo que o material de enchimento apoia na lateral dessas vigotas. Esse modelo de laje reduz o número de fôrmas e escoramento quando comparado com os anteriores, também diminui a mão de obra e o tempo de execução. Porém, a capa de concreto comprimido não se adere perfeitamente à vigota, dificulta a execução de nervuras transversais e impossibilita a colocação de estribos nas vigotas a fim de combater o cisalhamento.

LAJES PRÉ-MOLDADAS TRELIÇADAS - Este modelo de laje é semelhante ao anterior, porém devido à armação treliçada existe uma grande aderência do concreto da capa com a nervura (estrutura monolítica). Ela também facilita a execução de nervuras transversais e sua armação diagonal pode ser considerada como armadura de cisalhamento (se ela estiver ancorada na mesa de compressão).

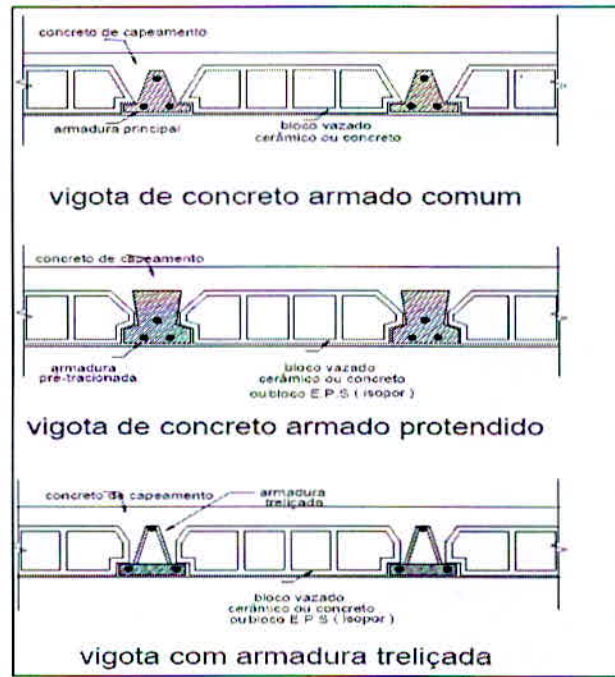


FIGURA 4: Tipos de Vigotas Pré-moldadas (DROPPA JR., 1999)

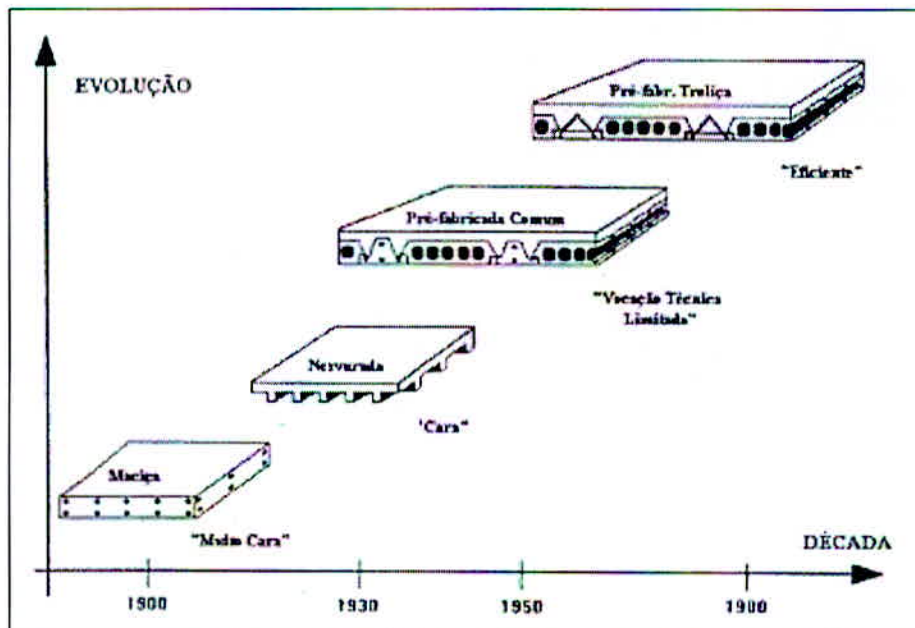


FIGURA 5: Desenvolvimento das lajes ao longo do tempo (PUMA ARMAÇÃO TRELIÇADA, 2003)

### 2.3 Lajes com vigotas de armaduras treliçadas

Dentre os quatro tipos de vigotas anteriormente citadas, destacam-se aquelas com armação treliçada. Estas fazem parte das lajes que são objeto de estudo deste trabalho.

As lajes treliçadas podem ser tratadas como estruturas monolíticas, devido à grande solidarização da armadura com o concreto moldado no local. A princípio, estas lajes têm o mesmo funcionamento estrutural de uma laje projetada da forma convencional, sendo que os elementos pré-moldados têm, no caso, função de racionalização na execução, proporcionando à obra rapidez e economia.(Droppa Jr., 1999)

As vigotas treliçadas são formadas por: uma base de concreto com espessura de 2,5 a 3,0 centímetros e largura que varia de 12 a 13 centímetros, A treliça metálica é constituída por dois fios de aço paralelos na base (banzo inferior), um fio de aço no topo (banzo superior), interligados por elétrofusão a dois fios de aço diagonais (sinusóides que oferecem rigidez ao conjunto na fase transitória), todos aços CA60 ( Silva, 2012). Se necessário existe ainda a possibilidade de adição de uma armadura na base de concreto da vigota para auxílio na resistência, de acordo com cálculo pré-executado. As figuras 6 e 7 exemplificam uma vigota treliçada.

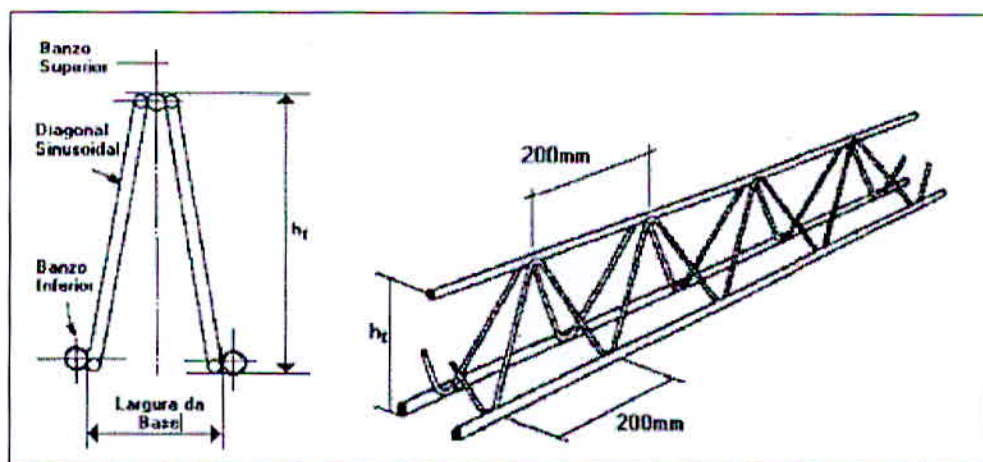


FIGURA 6: Treliça metálica elétriosoldada ( CAIXETA, 1998)

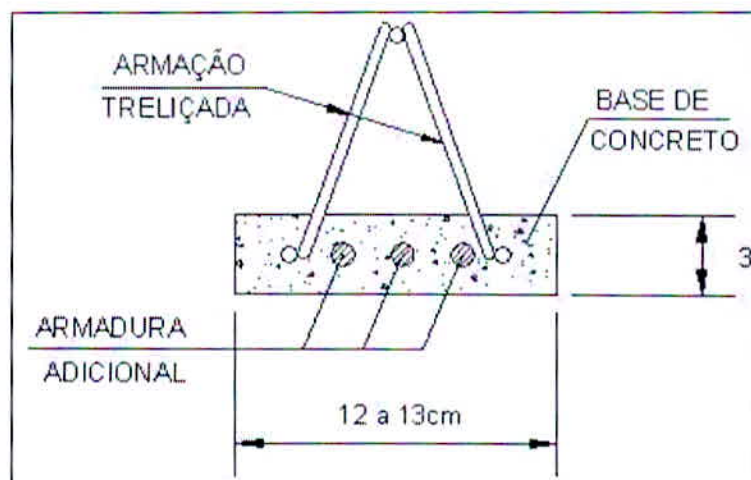


FIGURA 7: Treliça com base de concreto e armadura adicional( MANUAL DE FABRICAÇÃO PUMA)

Este tipo de laje facilita a execução de nervuras no sentido transversal às vigotas, com isso, ela pode ser tanto bidirecional (armada em duas direções com espaçamentos iguais entre as nervuras), quanto unidirecionais. O presente trabalho abrange melhor obras de pequeno porte, portanto, não atuam grandes cargas e a distância entre apoios não passa da ordem de cinco metros, com isso as lajes exemplificadas neste trabalho serão as unidirecionais. De acordo com a ABNT na NBR 14859:2002-1, laje unidirecional é “Laje nervurada constituída por nervuras principais longitudinais (NL) dispostas em uma única direção.” Podem ser empregadas algumas nervuras transversais (NT) perpendiculares às nervuras principais.

As principais vantagens da laje treliçada segundo MUNIZ (1991) são:

- diminuição do peso próprio da laje e o conseqüente alívio sobre as fundações;
- possibilidade de embutir todas as instalações entre a capa de concreto e a base de concreto pré-moldado;
- em função do bom acabamento e regularidade superficiais dos elementos pré-moldados, na face inferior e requerida apenas uma fina camada de regularização;
- redução significativa de fôrmas, acarretando economia de madeiramento e evitando desperdícios com engrossamentos desnecessários dos perfis concretados;
- sensível redução do escoramento da laje, já que se recomenda apenas a colocação de escoras com travessas a cada 1,5 m durante a fase de cura da capa do concreto;

- em lajes contínuas, o uso de vigotas com armação treliçada permite a continuidade estrutural pela colocação de armadura negativa sobre os apoios, sem que isso signifique qualquer problema para sua fixação;

- sendo a armação treliçada fabricada a partir de rolos de fio de aço trefilados CA-60, eliminam-se as perdas das pontas dos vergalhões utilizados na preparação da armadura no canteiro;

- reduz a quantidade de estoque e movimentação de materiais e pessoas no canteiro de obras, diminui a mão de obras de ferreiros, armadores e carpinteiros e aumenta a rapidez da construção da estrutura.

Segundo DROPPA JR(1999):

- É de fácil manuseio no transporte horizontal e vertical, pois possui baixo peso próprio (0,1 kN/m);

- Redução dos escoramentos, proporcionando redução de mão-de-obra e materiais;

- Reduz a possibilidade do aparecimento de fissuras pela condição que oferece de grande aderência entre as vigotas e o concreto do capeamento;

- Facilita a colocação de nervuras moldadas no local na direção perpendicular às vigotas;

- Oferece uma maior resistência ao cisalhamento devido à presença das diagonais que exercem a função de estribos.

Para que todas essas vantagens desse sistema construtivo sejam garantidas é necessário tomar algumas providências, que segundo MAGALHÃES(2001) são:

- a armadura das diagonais poderá ser colaborante na resistência ao cisalhamento somente se estiver eficazmente ancorada na região comprimida do concreto.

- em lajes contínuas, deve-se verificar o posicionamento da armadura negativa durante o lançamento e adensamento do concreto, de modo a garantir o valor e altura útil (d) especificado em projeto.

- sendo estas lajes formadas por elementos esbeltos, em edifícios com maior número de pavimentos deve-se analisar a resistência do plano da laje na transferência de ações horizontais, de modo que as lajes treliçadas apresentem comportamento efetivo de diafragma.

- Por serem formados por elementos muito esbeltos, deve ser verificado o comportamento para o estado limite de deformações excessivas.

## **2.4 Materiais de enchimento**

Elementos de enchimento são componentes pré-fabricados com materiais inertes diversos, sendo maciços ou vazados, intercalados entre as vigotas em geral com a função de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar. São desconsiderados como colaborantes nos cálculos de resistência e rigidez da laje, devem ainda ter resistência característica à carga mínima de ruptura de 1,0 kN, suficiente para suportar esforços de montagem durante a montagem e concretagem da laje (ABNT, NBR 14859:2002-1). A norma também padroniza as dimensões e os formatos dos elementos de enchimento para laje treliçada pré-moldada, ficando por conta da fábrica a responsabilidade de garantir um material com as especificações normativas e por conta do comprador a fiscalização se o mesmo está adequado (Tab. 1 e 2).

TABELA 1: Tolerâncias dimensionais para elementos de enchimento, EPS (ABNT, NBR14859:2002-1)

		Nominal	Real	Tolerância mm
		Ruptura Frágil	Altura cm	H7
H8	8,0			± (2,0)
H10	9,5			± (3,0)
H12	11,5			± (3,0)
H16	15,5			± (3,0)
H20	19,5			± (4,0)
H24	23,5			± (4,0)
H29	28,5			± (4,0)
Largura cm	25			25
	30		30	± (3,0)
	32		32	± (3,0)
	37		37	± (4,0)
	39		39	± (4,0)
	40		40	± (4,0)
	47		47	± (5,0)
	50		50	± (5,0)
Comprimento cm	20		20	± (3,0)
	25		25	± (3,0)
Altura do Apoio cm	3,0		3,0	± (1,0)
Largura do apoio cm	1,5	1,5	± (1,0)	
Ruptura Dúctil	Todas as dimensões			± (1,0)

TABELA 2: dimensões dos materiais de enchimento: (ABNT, NBR 14859:2002-1)

Altura ( h <sub>e</sub> ) nominal		7,0 (mínima): 8,0 ; 9,5 ; 11,5 ; 15,5 ;19,5 ; 23,5 ; 28,5
Altura ( b <sub>e</sub> ) nominal		25,0 (mínima): 30,0 ; 32,0 ; 37,0 ; 39,0 ; 40,0 ; 47,0 ; 50,0
Comprimento (c) nominal		20,0 (mínimo): 25,0
Abas de	(a <sub>v</sub> )	3,0
Encaixe		

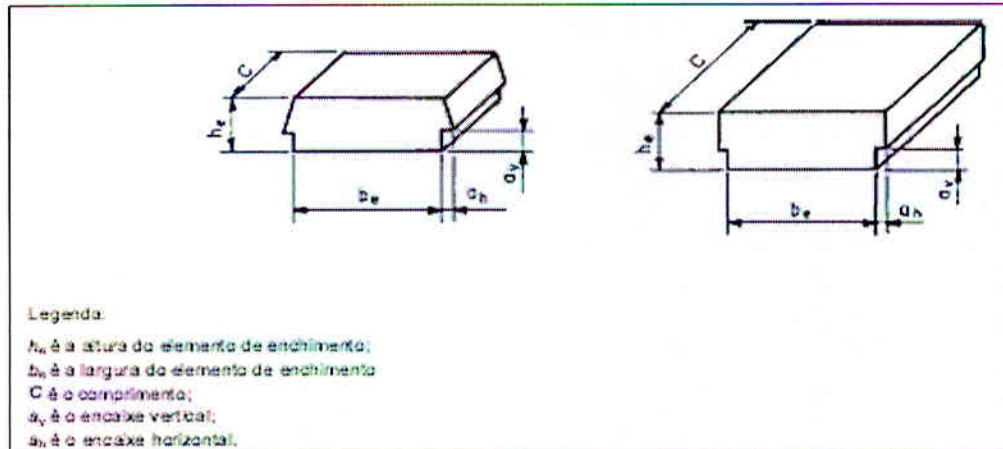


FIGURA 8: Material de enchimento (ABNT, NBR 14859:2002-1)

Os mais usados são:

**Bloco cerâmico:** Os blocos cerâmicos são utilizados por serem mais leves e melhores isolantes que o concreto, também propiciam uma boa aderência a revestimento inferior (do forro). Mas quando comparado com os outros tipos de enchimentos se torna um material mais pesado e de fácil absorção de água.

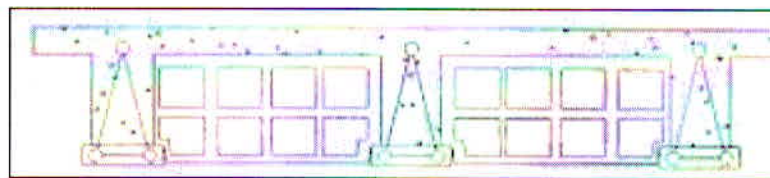


FIGURA 9: Laje com blocos cerâmicos (REVISTA TÉCNICA, 2003)

**Blocos de EPS:** O EPS cada vez mais vem ganhando espaço no mercado principalmente de lajes pré-moldadas. Por ser um elemento leve, de fácil manuseio e seguro, muitos projetistas já estão optando por ele como material de enchimento. Algumas das vantagens do EPS:

- Por apresentar baixo peso específico, proporciona uma redução do peso próprio da estrutura e conseqüentemente se economiza em aço, concreto e fundação;
- Permite recorte nas dimensões desejadas e é produzido em grandes blocos;
- Não prejudica a cura do concreto, pois não absorve água com facilidade;
- Utilizando o bloco de EPS tem se mais conforto acústico;



-Em caso de incêndio é um material seguro, pois não propaga chamas;

-Não apodrece e não mofa;

-Pode ser feito estoque desse material naturalmente ao tempo;

-Tem custo acessível.

A desvantagem do EPS é a má aderência que ele tem com o revestimento inferior. Para suprir essa deficiência é necessário aplicar uma resina para fixar melhor o chapisco. Também existem no mercado EPS reciclados de baixa densidade, consequentemente baixa resistência, que podem se romper com o lançamento do concreto.

### **3 FASE CONSTRUTIVA DA LAJE PRÉ-MOLDADA TRELIÇADA.**

Tão importante quanto um projeto bem elaborado, é a montagem e concretagem da laje na obra, pois estas etapas são de extrema importância para garantir a resistência final da mesma. Devem-se respeitar as normas e procedimentos técnicos para que não exista risco de patologias como, trincas, flechas excessivas e até mesmo a ruína da edificação. Abaixo está reunida informações técnicas das formas de execução da laje treliçada pré-moldada no canteiro de obra, seguindo os seguintes passos;

#### **3.1 Recebimento e estocagem da laje treliçada na obra**

##### **3.1.1 Verificação dos materiais recebidos**

Na chegada da laje à obra o responsável deve verificar os seguintes aspectos:

- se a altura da laje é a correta;
- se os materiais de enchimento estão nas dimensões contratadas e conforme a norma citada acima;
- se o projeto de execução da laje (se houver) condiz com a planta arquitetônica.

##### **3.1.2 Estocagem dos materiais**

Para a estocagem dos materiais que compõem a laje treliçada pré-moldada, deve-se considerar principalmente três aspectos:

- a proteção dos materiais contra intempéries ou colisões;
- a ocupação do menor espaço físico possível;
- a facilidade de movimentação dos materiais durante o processo de montagem;

Durante a estocagem, as vigotas treliçadas devem ser empilhadas na posição horizontal em um local nivelado. Elas devem ser colocadas sobre ripas com espaçamentos menores que dois metros, com no máximo seis vigotas de largura e dez vigotas de altura. Os elementos de enchimento devem ser alocados em condições que os protejam de exposições prolongadas ao sol, vento, chuva e fogo, preservando suas características. Uma forma sugerida pelos fabricantes para se empilhar o material de enchimento é na proporção 1:1:3, sendo o primeiro item relativo à altura, o segunda à

largura e o terceiro ao comprimento. No caso do enchimento cerâmico as pilhas não devem ultrapassar um metro e oitenta de altura, sendo feitas amarrações nas extremidades para garantir sua estabilidade. Já no EPS, devido ao seu baixo peso próprio, podem ser feitas pilhas de até três metros de altura se estas estiverem protegidas das ações do vento.

### 3.1.3 Transporte dos materiais

Durante o transporte, tanto para a estocagem, quanto para a utilização dos componentes da laje treliçada, deve-se tomar alguns cuidados para não afetar as suas características estruturais e evitar acidentes.

No caso das vigotas treliçadas o transporte geralmente é feito de forma manual neste tipo de edificação. Com isso é recomendado que o colaborador transporte a vigota pelo ponto em que as diagonais se encontram com o banzo superior, não deixando vãos livres superiores a três metros e cinquenta centímetros e partes em balanço superiores a um metro. Recomenda-se também que vigotas treliçadas com comprimentos superiores a dois metros sejam transportadas por dois colaboradores.

Abaixo está a verificação do vão máximo resistido pela armadura treliçada devido apenas ao seu peso próprio, ou seja durante o transporte da mesma.

Vigota H8 (significa vigota treliçada com oito centímetros de altura e a H12 com doze centímetros de altura)

$$M_{rv} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad \dots \{1\}$$

$M_{rv} = 0,287 \text{ kN.m}$  Momento resistido pela armadura treliçada em questão (exemplificado no item 3.2.1)

$q$  = carga referente ao peso próprio da vigota treliçada

$$q = \gamma \cdot b \cdot h + q_t \quad \dots \{2\}$$

$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$  peso do concreto

$b = 0,13 \text{ m}$  largura da base de concreto

$h = 0,03 \text{ m}$  altura da base de concreto

$q_t = 0,0073 \text{ kN/m}$  peso da armadura treliçada em questão (catálogo gerdau)

$$q = 24 \cdot 0,13 \cdot 0,3 + 0,0073$$

$$q = 0,1 \text{ KN/m}$$

Considerando a vigota bi-apoiada, equação 1, tem-se:

$L =$  vão máximo em metros

$$0,287 = \frac{0,1 \cdot l^2}{8}$$

$$L = 4,8\text{m}$$

Portanto a vigota treliçada H8 suporta o vão máximo recomendado de três metros e cinquenta centímetros.

Em relação ao momento negativo verifica-se que a pior situação é quando apenas um colaborador transporta uma vigota. Abaixo estão os cálculos do maior momento negativo que a vigota treliçada suporta.

Para momento negativo máximo tem-se:

$x = 0,03 \text{ m}$  altura da linha neutra na altura da base de concreto

$d = 0,075 \text{ m}$  altura do centro aço tracionado até a extremidade comprimida

$$K_x = \frac{x}{d} = 0,4 \quad \dots \{3\} \quad \text{ok, pois está dentro do limite que é de } 0,45$$

$$K_z = 0,839 \text{ tabela*}$$

\*Tabela: Em todo trabalho para se obter os valores respectivos de  $K_x$ ,  $K_z$  e  $K_{md}$  foi utilizado a tabela do livro Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado (CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R, 2007)

$$A_s = \frac{M_d}{K_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad \dots \{4\}$$

$A_s = 0,28 \text{ cm}^2$  área de aço do banzo superior

$M_{d_n} =$  Momento negativo de cálculo

$$K_z = 0,839$$

$F_{yd} = 52,17 \text{ kN/cm}^2$  força de cálculo resistente a tração do aço

$$0,28 = \frac{Md}{0,839 \cdot 7,5 \cdot 52,17}$$

$$M_{dn} = 91,9 \text{ kN.cm}$$

$$M_n = \frac{91,9}{1,4} = 65,64 \text{ kN.cm}$$
 momento negativo resistido pela vigota treliçada

Com este momento consegue-se chegar no maior vão em balanço que a estrutura suporta (equação 5).

$$M_n = \frac{q \cdot l^2}{2} \quad \dots \{5\}$$

$$M_n = 65,64 \text{ kN.cm}$$

$q = 0,001 \text{ kN/cm}$  peso próprio da vigota treliçada

$l =$  vão máximo em balanço

$$65,64 = \frac{0,001 \cdot l^2}{2}$$

$$L = 360 \text{ cm} = 3,60 \text{ m.}$$

Portanto, o esforço do comprimento de no máximo um metro da vigota treliçada que ficará em balanço será facilmente resistido.

Vigota H12

Como o peso próprio da vigota treliçada H12 é praticamente o mesmo do da vigota H8 e devido ao momento resistido pela armadura treliçada H12 ser maior que o resistido pela armadura H8 (item 3.2.1). Tem-se que os valores citados acima recomendados pelos fabricantes são facilmente atendidos pelas vigotas treliçadas H12.

### 3.2 Escoramento

O escoramento ou cimbramento é uma estrutura provisória, destinada a auxiliar as vigotas pré-fabricadas a suportar a carga de trabalho (vigotas, material de enchimento, ferragens auxiliares, concreto, pessoas, etc.) durante a montagem da laje e período de cura de concreto (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2007).

Esta é umas das principais fases durante a execução da laje treliçada na obra, pois as vigotas só resistem a determinados tamanhos de vãos (que serão estudados logo a seguir) durante a concretagem, com isso necessitam de apoios intermediários para melhor distribuição das cargas, ou seja, necessitam de escoramento.

O foco deste trabalho é edificações residenciais de pequeno porte, portanto as vigotas utilizadas nos estudos serão com armação do tipo H-8 e H-12(Figura 10 e Tabela 3), pois elas atendem bem as necessidades deste tipo de edificação as quais normalmente não superam vãos de 5,0 m e cargas totais de 4,5 kN/m<sup>2</sup>.

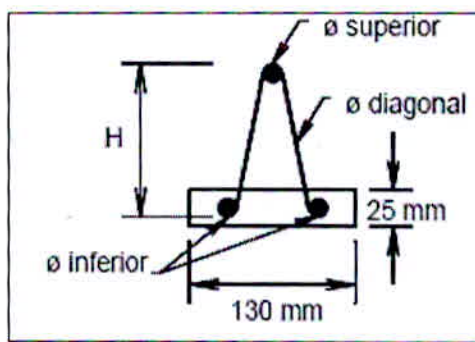


FIGURA 10: Vigotas (GASPAR, 1997)

TABELA 3: armaduras e alturas das respectivas vigotas

	ø sup.	ø inf.	ø diag.	Altura
Vigota H-8	6,0mm	4,2mm	3,4mm	80mm
Vigota H-12	6,0mm	6,0mm	4,2mm	120mm

### 3.2.1 Resistência da vigota treliçada

Em estudos sobre segurança das lajes GASPAR (1997), ensaiou estes dois tipos de vigotas, citados acima, para saber a máxima carga que elas resistem e sua fase de montagem e concretagem. Primeiramente ele utilizou 6 vigotas com comprimento de 3,0 m, sendo, três do modelo H-8 e três do modelo H-12, simplesmente apoiadas sujeitas a duas cargas concentradas dispostas da melhor forma para se conseguir um diagrama de momento fletor parecido com o da carga distribuída. O ensaio foi feito deste modo graças à dificuldade em se aplicar uma carga distribuída em laboratório. No

meio do vão também foi instalado um transdutor mecânico de deslocamento, a fim de medir os deslocamentos verticais causados.

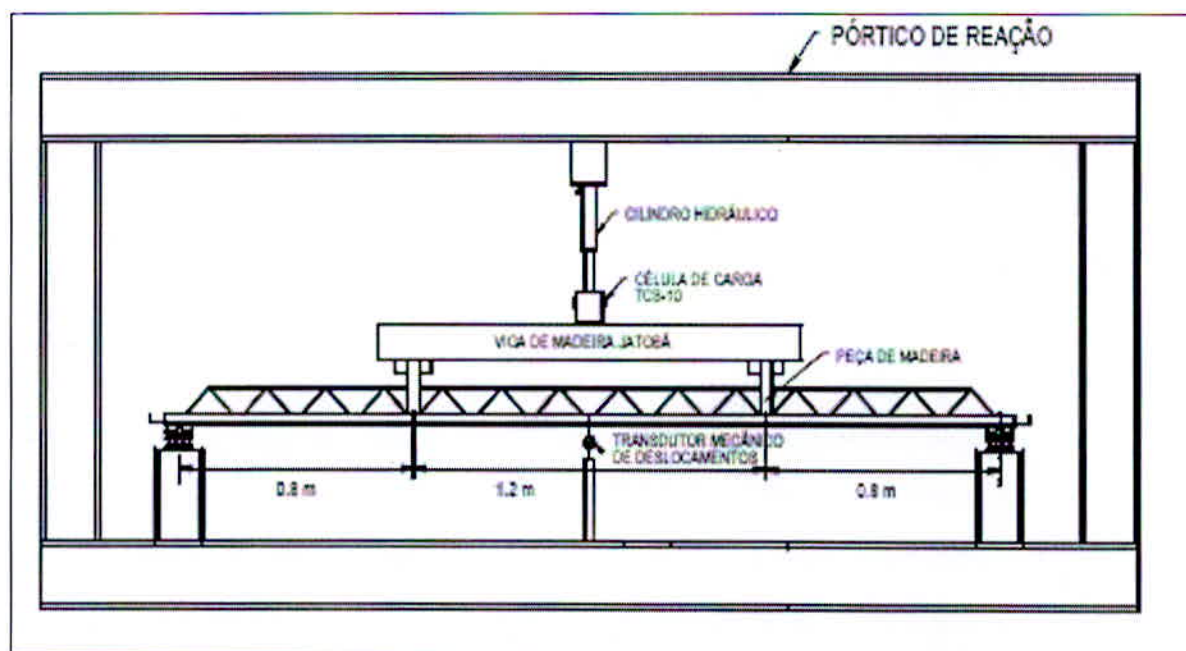


FIGURA 11: Esquema do ensaio, (GASPAR, 1997)

Após o ensaio as cargas de ruptura  $P$  (ensaio) encontradas e os deslocamentos verticais máximos obtidos  $\delta_{\text{médio}}$ , foram resumidos nas tabelas abaixo. Foi verificado também que não ocorre um colapso súbito da peça, sendo o banzo superior a primeira parte a se deformar.

TABELA 4: Resumo dos ensaios feitos com vigotas H-8 (GASPAR, 1997).

Vigota H - 8	$P$ (ensaio) (kN)	$\delta_{\text{médio}}$ (mm)
1	0,708	18,92
2	0,759	15,36
3	0,688	15,96
MÉDIA	0,718	16,75

TABELA 5: Resumo dos ensaios feitos com vigotas H-12 (GASPAR, 1997).

Vigota H - 12	$P$ (ensaio) (kN)	$\delta_{\text{médio}}$ (mm)
1	1,397	12,48
2	1,407	11,88
3	1,473	12,77
MÉDIA	1,426	12,38

A partir desses valores e utilizando o programa SAP90, foram feitas análises estruturais das armaduras treliçadas, mantendo as mesmas características geométricas e desconsiderando a base de concreto que se encontra na parte tracionada, para:

- determinar a carga de compressão na barra superior das armaduras treliçadas;
- verificar o comportamento da estrutura como pórtico espacial;
- verificar o comportamento da estrutura considerando somente os nós das diagonais articuladas;

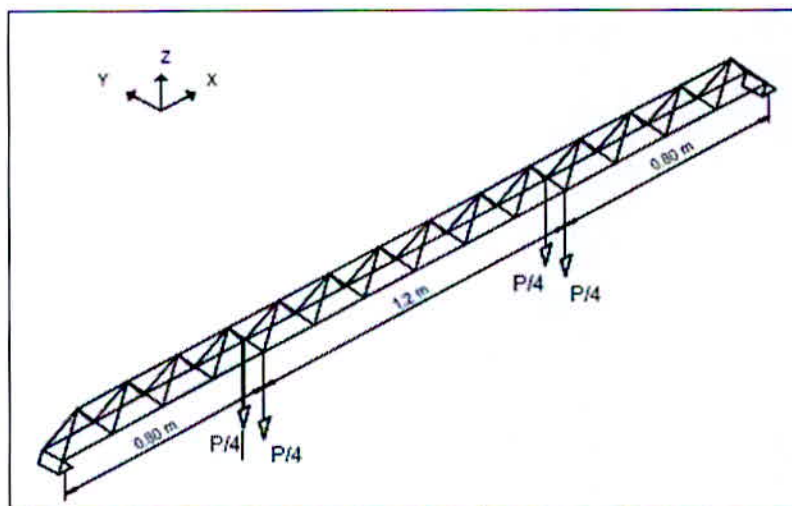


FIGURA 12: posicionamento das cargas concentradas (GASPAR, 1997).

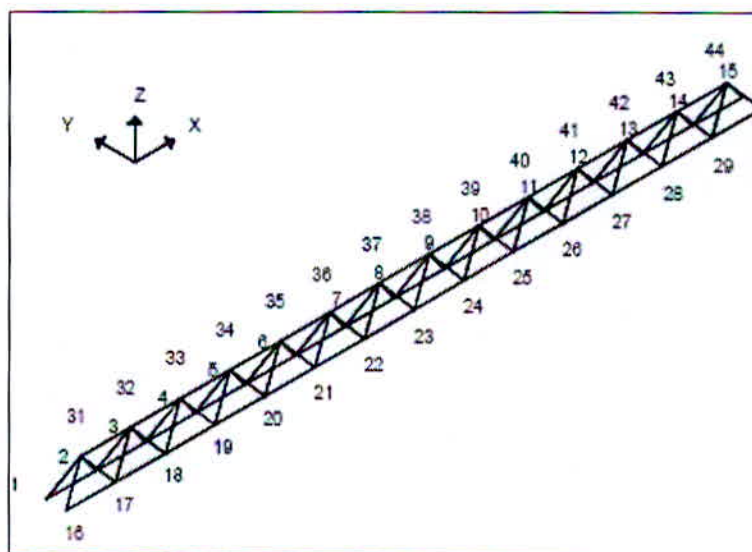


FIGURA 13: Numeração dos nós (GASPAR, 1997).



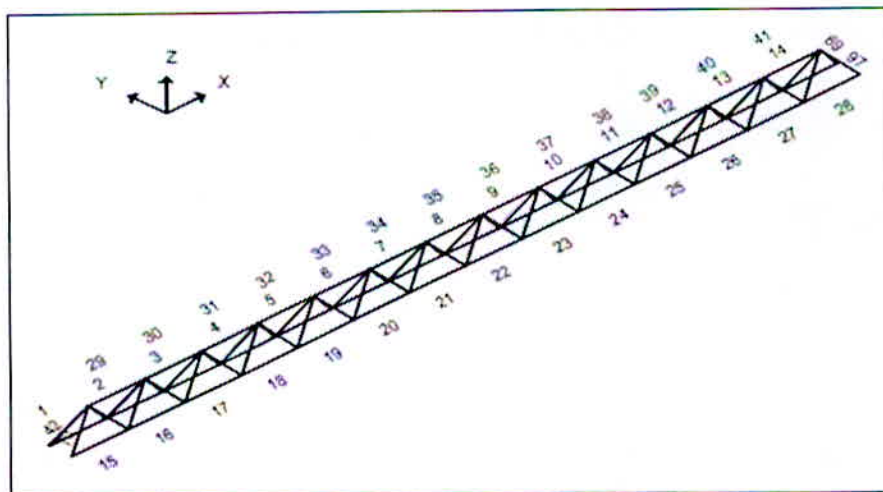


FIGURA 14: Numeração das barras (GASPAR, 1997).

Com esses ensaios numéricos GASPAR chegou a uma carga de ruptura  $P$  (ensaiada) e as cargas críticas de compressão  $N_{cr}$  nas barras 32 a 38 (Figura 14), superiores da armadura treliçada que por estarem no meio do vão, são as mais exigidas (Tabelas 6 e 7). Notou-se também que os valores de cargas de ruptura aplicada encontrados tanto no ensaio teórico quanto no pratico foram iguais tornando assim as experiências compatíveis.

TABELA 6: Resumos dos processamentos feitos com vigotas H-8 (GASPAR, 1997)

Vigota	$\Phi$ inferior	$\Phi$ diagonal	$\Phi$ superior	$P$ (ensaio)	$N_{cr}$
H- 8	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)
1	4,2	3,4	6,0	0,708	3,54
2	4,2	3,4	6,0	0,759	3,79
3	4,2	3,4	6,0	0,688	3,44
MEDIA				0,718	3,59

TABELA 7: Resumos dos processamentos feitos com vigotas H-12 (GASPAR, 1997).

Vigota	$\Phi$ inferior	$\Phi$ diagonal	$\Phi$ superior	$P$ (ensaio)	$N_{cr}$
H- 12	(mm)	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)
1	6,0	4,2	6,0	1,397	4,65
2	6,0	4,2	6,0	1,407	4,69
3	6,0	4,2	6,0	1,473	4,91
MEDIA				1,426	4,75

Descoberta a força normal de compressão crítica consegue-se definir o momento fletor resistente pelas vigotas. Através da seguinte condição de equilíbrio:

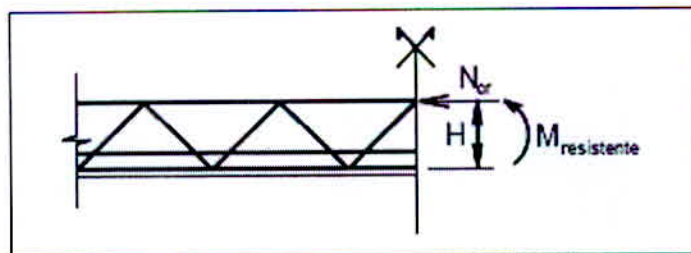


FIGURA 15: momento na vigota (GASPAR,1997)

$$M_{\text{resistente}} = N_{\text{cr}} \cdot H \quad \dots \{6\}$$

Onde:

$N_{\text{cr}}$  = Força de compressão crítica no banzo superior da armadura treliçada

$M_{\text{resistente}}$  = Máximo Momento fletor resistente pela vigota

$H$  = Altura da armadura treliçada (braço de alavanca)

-Portanto para as vigotas H-8 tem-se:

Carga crítica de compressão média  $N_{\text{cr}} = 3,59 \text{ kN}$  (tabela 6)

Altura da treliça  $H = 0,08 \text{ m}$

Então;

$$M_{\text{resistente}} = 3,59 \cdot 0,08 = 0,287 \text{ kN.m}$$

-E para a vigota H-12 tem-se:

Carga crítica de compressão média  $N_{\text{cr}} = 4,75 \text{ kN}$  (tabela 7)

Altura da treliça  $H = 0,12 \text{ m}$

Com isso;

$$M_{\text{resistente}} = 4,75 \cdot 0,12 = 0,570 \text{ kN.m}$$

### **3.2.2 Carga durante a execução da laje**

A carga atuante durante a montagem e concretagem da laje é um dos fatores preponderantes para o cálculo da distância entre as linhas de escoramento. De acordo com a ABNT na norma NBR 14859:2002-1 o material de enchimento deve suportar uma carga mínima de 1,0 kN suficiente para resistir aos esforços de trabalho durante a montagem e concretagem da laje. Porém a norma não especifica uma carga acidental de trabalho em que a laje está sujeita durante a montagem e concretagem, pois estas dependem da forma como será executado este serviço.

Como este trabalho trata de edificações residenciais de pequeno porte e a concretagem deste tipo de edificação é feita geralmente de forma manual, com no máximo auxílio de betoneiras. Será considerado uma carga acidental de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, que corresponde a uma pessoa trabalhando sobre a laje, mais algum possível acúmulo de concreto que pode ocorrer devido a concretagem ser feita de forma manual.

### **3.2.3 Peso próprio das lajes treliçadas em estudo**

As lajes que serão estudadas são dos tipos:

- Laje nervurada pré-moldada treliçada H8 com enchimento cerâmico;
- Laje nervurada pré-moldada treliçada H8 com enchimento EPS;
- Laje nervurada pré-moldada treliçada H12 com enchimento cerâmico;
- Laje nervurada pré-moldada treliçada H12 com enchimento EPS;

#### **3.2.3.1 Peso próprio da Laje treliçada H8 com enchimento cerâmico.**

Características do enchimento cerâmico:

Altura: 7cm

Base: 30cm

Comprimento: 20cm

$M = 2,5 \text{ Kg}$  Massa da lajota\*

Lajota\* = enchimento cerâmico

$$N_m = \frac{1}{L} \quad \dots\{7\} \quad - \text{Índice de quantitativo de material/m}^2$$

$L = 0,43$  m Largura da Base da vigota + Base do enchimento

$$N_m = \frac{1}{0,43} = 2,3 \text{ metros de material/m}^2$$

$$Q_m = \frac{1}{c_e} \quad \dots\{8\} \quad \text{Quantidade de lajotas/ metro}$$

$C_e$  = Comprimento da lajota

$$Q_m = \frac{1}{0,20} = 5 \text{ lajotas/m}$$

$$Q_l = N_m \cdot Q_m \quad \dots\{9\} \quad \text{Quantidade de lajotas/m}^2$$

$$Q_l = 2,3 \times 5 = 11,5 \text{ lajotas/m}^2$$

$$M_l = Q_l \cdot M \quad \dots\{10\} \quad \text{Massa da lajota/ m}^2$$

$$M_l = 11,5 \times 2,5 = 28,75 \text{Kg/m}^2$$

$$P_l = M_l \cdot a_g \quad \dots\{11\} \quad - \text{Peso da lajota/m}^2$$

$a_g$  = Aceleração da gravidade

$$P_l = 28,75 \cdot 10 = 287,5 \text{ N/m}^2$$

Vigota treliçada

$$P_v = q \cdot N_m \quad \dots\{12\} \quad - \text{Peso da vigota treliçada:}$$

$$q = 0,1 \text{ kN/m (pág. 19 e 20)}$$

$$P_v = 0,1 \cdot 2,3 = 0,23 \text{ kN/m}^2$$

Concreto complementar

$C = 4$  cm Capa da concreto

$$L = 43 \text{ cm (pág. 27)}$$

$L_n = 10\text{cm}$  Largura da nervura

$A_c =$  Área de concreto

$$A_c = C \cdot L + L_n \cdot H_n \quad \dots\{13\}$$

$$H_n = H - C - H_v \quad \dots\{14\} \quad \text{- altura da nervura}$$

$$H_n = 11 - 4 - 3 = 4\text{cm}$$

$$A_c = 0,04 \cdot 0,43 + 0,1 \cdot 0,04 = 0,0212\text{m}^2$$

$$V_c = A_c \cdot C_c \quad \dots\{15\} \quad \text{- Volume de concreto}$$

$C_c = 1\text{ m}$  Comprimento do concreto

$$V_c = 0,0212 \cdot 1 = 0,0212\text{m}^3$$

$$P_c = V_c \cdot \gamma \cdot N_m \quad \dots\{16\} \quad \text{- Peso do concreto}$$

$$N_m = \frac{1}{0,43} = 2,3 \text{ metros de material/m}^2$$

$\gamma = 25\text{ kN/m}^3$  peso do concreto armado

$$P_c = 0,0212 \cdot 25 \cdot 2,3 = 1,20 \text{ kN/m}^2$$

Peso total da laje treliçada H8 com enchimento cerâmico:

$$P_t = P_l + P_v + P_c \quad \dots\{17\} \quad \text{- Peso da laje}$$

$$P_t = 0,29 + 0,23 + 1,20 = 1,72 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.3.2 Peso próprio dos outros tipos laje em estudo

Para o cálculo do peso próprio dos outros tipos de lajes estudados foi utilizado uma planilha feita a partir do software Excel de autoria do Professor Mestre Antônio Faria.

TABELA 8: Resultado para o cálculo do peso próprio dos outros tipos de lajes estudados (Faria, 2013)

Material Bloco	b <sub>v</sub> (cm)	h <sub>v</sub> (cm)	c <sub>v</sub> (cm)	a <sub>v</sub> (cm)	a <sub>v</sub> (cm)	massa (kg)	Capa (cm)	b <sub>v</sub> (cm)	h <sub>v</sub> (cm)	V <sub>bloco</sub> (cm <sup>3</sup> )	T <sub>superfície</sub> (kN/m <sup>2</sup> ) bloco	A <sub>bloco</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>cono</sub> (cm <sup>2</sup> )	Peso Laje (kN/m <sup>2</sup> )
Cerâmica	30,0	7,0	20,0	1,5	3,0	2,500	4,0	13,0	3,0	4320	5,68	216,0	257,0	1,70
	30,0	11,0	20,0	1,5	3,0	3,5	4,0	13,0	3,0	6840	5,02	342,0	303,0	2,16
EPS	30,0	8,0	100,0	1,5	3,0	0,310	4,0	13,0	3,0	25500	0,12	255,0	281,0	1,52
	30,0	11,0	100,0	1,5	3,0	0,420	4,0	13,0	3,0	35400	0,12	354,0	291,0	1,70

### 3.2.4 ESCORAMENTO

Abaixo está a verificação do máximo distanciamento entre as linhas de escoras que as lajes nervuradas treliçadas pré-moldadas estudadas suportam.

Para a realização destes cálculos está sendo considerado um concreto de  $F_{ck} = 20$  mPa, um aço CA60 e um cobrimento mínimo estipulado pela NBR 6118:2014 para lajes de 2cm, compostos por 1cm do concreto da base da treliça mais 1cm do revestimento inferior da laje.

#### 3.2.4.1 ESCORAMENTO DE LAJE TRELIÇADA H8 COM ENCHIMENTO EM CERÂMICA

Peso próprio da laje com cerâmica: 1,7kN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga de utilização durante a concretagem: 1,5kN/m<sup>2</sup>

$q_t = 3,2$  kN/m<sup>2</sup> Carga total sobre a laje

$A_v = 0,43$  Área de influência de uma nervura

$q_v = q_t \cdot A_v$  ... {18} - Carga/nervura

$q_v = 3,2 \cdot 0,43 = 1,4$  kN/m . nervura

Considerando a vigota bi-apoiada (equação 9):

$$M_{rvd} = \frac{qv \cdot L^2}{8} \quad \dots \{19\}$$

$$M_{rvd} = \frac{0,287}{1,2} = 0,24 \text{ kN.m} \quad \text{Momento de calculo resistido pela armadura treliçada:}$$

L = espaçamento entre as escoras

$$0,24 = \frac{1,4xL^2}{8}$$

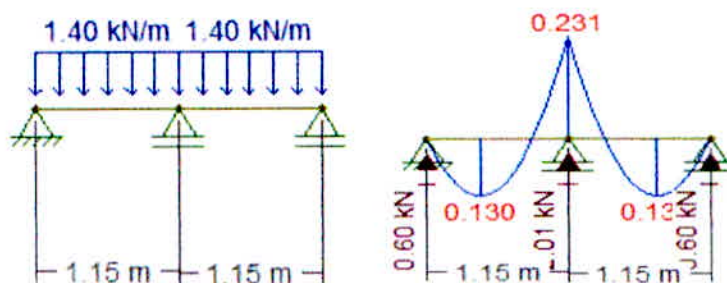
$$L = 1,17\text{m}$$

Para facilitar a execução será adotado 1,15 m.

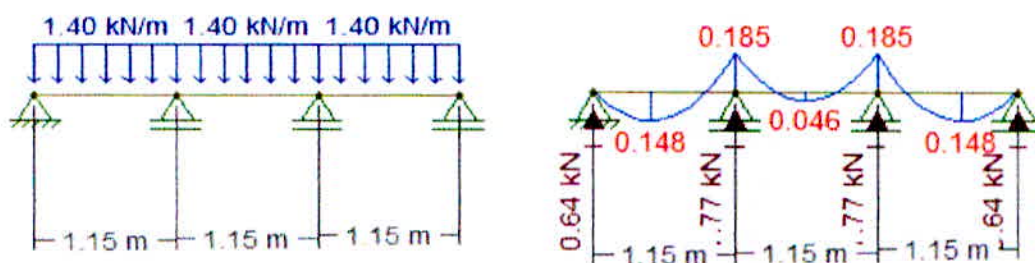
Momento Negativo

Para verificar se a vigota treliçada resiste ao momento negativo causado pelo escoramento, utilizou-se o maior espaçamento possível entre as escoras, que neste caso é de 1,15 m, vão este que gera o maior momento negativo na vigota. Com o software Ftool foram analisadas as possíveis situações para vigotas treliçadas de no máximo cinco metros.

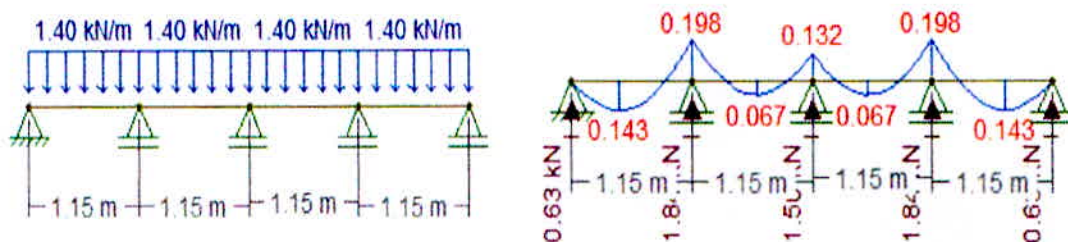
1º situação: com apenas uma linha de escoramento



2º situação: com duas linhas de escoramento



3º situação: com três linhas de escoramento



Analisando os três casos verifica-se que o maior momento fletor negativo encontra-se na primeira situação quando a vigota treliçada está com apenas uma linha de escoramento.

A partir desse valor foram feitos os cálculos para verificar se a vigota treliçada resiste a esse momento.

$$K_{md} = \frac{M_d}{b_v \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \dots \{20\}$$

$$M_d = 23,1 \cdot 1,4 = 32,34 \text{ kN.cm Momento de calculo}$$

$$b_v = 13 \text{ cm base da vigota}$$

$$d = 7,5 \text{ cm altura do centro aço tracionado até a extremidade comprimida}$$

$$f_{cd} = \frac{2}{1,4} = 1,43 \text{ kN/cm}^2 \text{ força de calculo de compressão do concreto}$$

$$K_{md} = \frac{32,34}{13 \cdot (7,5)^2 \cdot \left(\frac{2}{1,4}\right)} = 0,031$$

$$\text{Tabela} \rightarrow K_{md} = 0,031$$

$$K_x = 0,045$$

$$K_z = 0,982$$

Altura da linha neutra:

$$Y_x = k_x \cdot d \cdot 0,8 \quad \dots \{21\}$$

$$Y_x = 0,045 \cdot 7,5 \cdot 0,8 = Y_x = 0,27 \text{ cm}$$



Base de Concreto = 3cm > 0,27cm ; A linha neutra está na base de concreto.

$$A_s = \frac{M_d}{k \cdot d \cdot f_{yd}} \quad \dots \{22\}$$

$A_s$  = Área de aço

$$F_{yd} = \frac{60}{1,15} = 52,17 \text{ kN/cm}^2 \text{ força de cálculo de resistência a tração do aço}$$

$$A_s = \frac{32,34}{0,982 \cdot 7,5 \cdot 52,17} = 0,08 \text{ cm}^2$$

$A_s = 0,08 \text{ cm}^2$  OK, pois a barra de 6mm do banzo superior tem  $0,28 \text{ cm}^2$  de área de aço.

### 3.2.4.2 ESCORAMENTO DA LAJE TRELIÇADA H8 COM ENCHIMENTO EM EPS

Peso próprio =  $1,52 \text{ Kn/m}^2$

Sobrecarga de utilização durante a concretagem =  $1,5 \text{ Kn/m}^2$

$q_t = 3,02 \text{ Kn/m}^2$  Carga total sobre a laje

$$M_{r\text{vd}} = \frac{0,287}{1,2} = 0,24 \text{ kN.m} \quad \dots \{23\} \text{ Momento de calculo resistido pela armadura treliçada}$$

$A_v = 0,43$  Área de influência de uma nervura

$$q_v = q_t \cdot A_v \text{ Carga/nervura} \quad \dots \{24\}$$

$$q_v = 3,02 \cdot 0,43 = 1,3 \text{ kN/m} \cdot \text{nervura}$$

Portanto considerando a vigota bi apoiada:

$$M_{r\text{vd}} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad \dots \{25\}$$

$$0,24 = \frac{1,3 \cdot l^2}{8} \therefore L = 1,21 \text{ m}$$

Pela diferença ser de apenas seis centímetros entre os vãos de escoramento da laje com enchimento cerâmico e da laje com enchimento em EPS, para facilitar o entendimento será adotado o espaçamento de 1,15m também para a laje com EPS.

Como o espaço entre as linhas de escoras é o mesmo da laje com cerâmica, as armaduras são iguais e o peso próprio diminuiu devido ao EPS. A vigota treliçada resiste ao momento negativo máximo gerado pelo escoramento.

### 3.2.4.3 ESCORAMENTO LAJE H12 COM ENCHIMENTO CERÂMICO

Seguindo a mesma linha de raciocínio dos anteriores.

Peso próprio = 2,16 kN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga de utilização: 1,5 kN/m<sup>2</sup>

Momento resistido pela vigota = 0,570kN.m

$q_t = 3,66 \text{ kN/m}^2$  Carga total sobre a laje

$A_v = 0,43$  Área de influência de uma nervura

$q_v = q_t \cdot A_v$  Carga/nervura

$q_v = 3,66 \cdot 0,43 = 1,57 \text{ kN/m} \cdot \text{nervura}$

Considerando a vigota bi-apoiada:

$$M_{rv} = \frac{q_v \cdot l^2}{8} \quad \dots \{26\}$$

$M_{rvd} = \frac{0,57}{1,2} = 0,475 \text{ kN.m}$  Momento de cálculo resistido pela armadura treliçada

L = espaçamento entre as escoras

$$0,475 = \frac{1,57 \times L^2}{8}$$

$$L = 1,55 \text{ m}$$

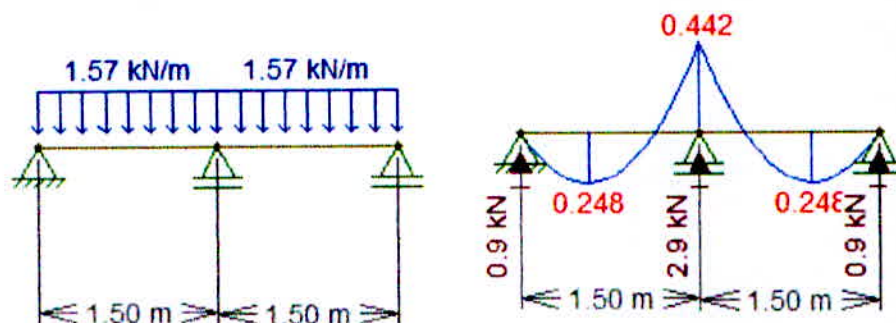
Para facilitar a execução será adotado 1,50 m.

Momento Negativo

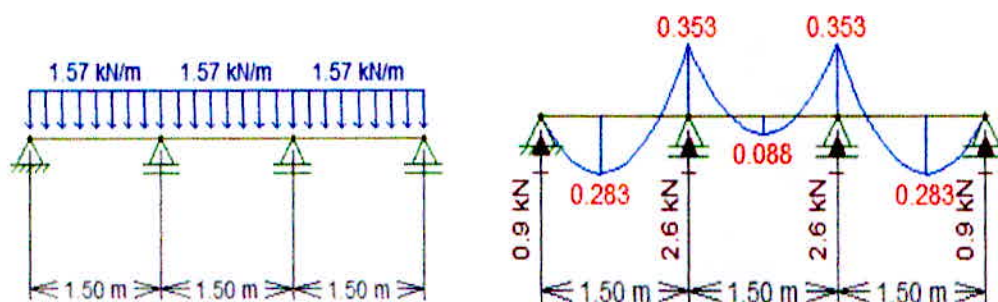
Para verificar se a vigota treliçada resiste ao momento negativo causado pelo escoramento, utilizou-se o maior espaçamento possível entre as escoras, que neste caso

é de 1,50 m, vão este que gera o maior momento negativo na vigota. Com o software Ftool foram analisadas as possíveis situações para vigotas treliçadas de no máximo cinco metros.

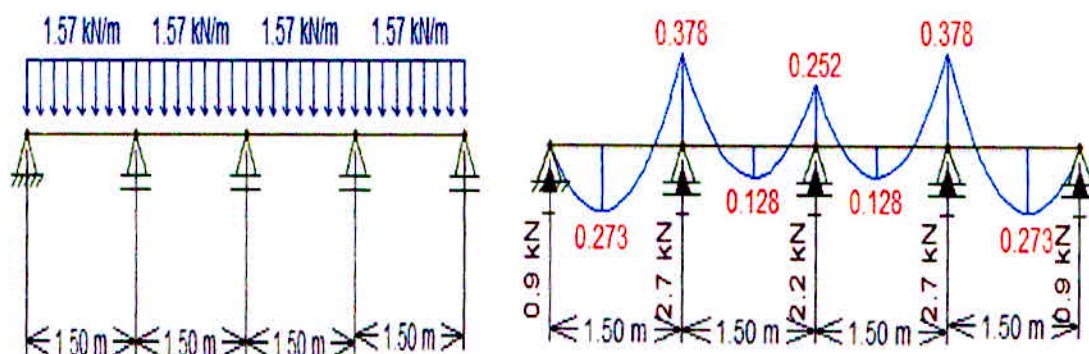
1º situação: com apenas uma linha de escoramento



2º situação: com duas linhas de escoramento



3º situação: com três linhas de escoramento



Máximo momento negativo = 0,442Kn.m

$$K_{md} = \frac{Md}{lfxd^2xfcd} \quad \dots\{27\}$$

$$K_{md} = \frac{44,2 \times 1,4}{13 \times (11,5)^2 \times \left(\frac{2}{14}\right)} = 0,025$$

Tabela →  $K_{md} = 0,025$

$$K_x = 0,037$$

$$K_z = 0,985$$

Altura da linha neutra:

$$Y_x = k_x \cdot d \cdot 0,8 \quad \dots\{28\}$$

$$Y_x = 0,037 \cdot 11,5 \cdot 0,8$$

$$Y_x = 0,34\text{cm}$$

A linha neutra esta na base de concreto da vigota treliçada

Base de concreto 3cm > 0,34cm = OK

$$A_s = \frac{Md}{K_z x d x f_y d} \quad \dots\{29\}$$

$$A_s = \frac{1,4 \times 44,20}{0,985 \times 11,5 \times \left(\frac{60}{1,15}\right)} = 0,1\text{cm}^2 = \text{OK}$$

O banzo superior da armadura treliçada tem diâmetro de 6,0mm e uma área de aço de  $0,28\text{cm}^2 = 0,28\text{cm}^2 > 0,1\text{cm}^2 = \text{OK}$

#### 3.2.4.4 ESCORAMENTO LAJE TRELIÇADA H12 COM ENCHIMENTO EM EPS

Peso próprio: 1,70 KN/m<sup>2</sup>

Sobrecarga de utilização durante a concretagem: 1,5KN/m<sup>2</sup>

Carga total sobre a laje: 3,20KN/m<sup>2</sup>

$q_t = 3,20 \text{ Kn/m}^2$  Carga total sobre a laje

$A_v = 0,43$  Área de influência de uma nervura

$q_v = q_t \cdot A_v \dots \{30\}$  - Carga/nervura

$q_v = 3,20 \cdot 0,43 = 1,38 \text{ kN/m} \cdot \text{nervura}$

$M_{rvd} = \frac{0,57}{1,2} = 0,475 \text{ kN.m}$  Momento de cálculo resistido pela armadura treliçada

Considerando a vigota bi-apoiada:

$M = \frac{q \cdot l^2}{8} \dots \{31\}$

$0,475 = \frac{1,38 \cdot l^2}{8}$

$l = 1,65 \text{ m}$

Para não ocorrer falhas durante a execução será adotado o espaçamento entre as escoras de 1,50m. Mesmo espaçamento da laje treliçada H12 com cerâmica.

Como a vigota treliçada é a mesma do caso anterior e o momento máximo negativo do caso anterior é maior que o deste caso. A vigota suportará este momento com facilidade tal qual o outro.

### 3.2.5 Forma de escoramento

Os fabricantes também recomendam que sejam feitas linhas de escoras com tábuas de 25 a 30 cm de largura, colocadas em espelho, estas devem ser devidamente fixadas em pontaletes contraventados nas duas direções.(Gaspar, 1997).

A ABNT na NBR 6118:2014, determina que o diâmetro ou o menor lado da seção retangular dos pontaletes não deve ser inferior a 50 mm, para madeiras duras, e 70 mm para madeiras moles.

Em escoras apoiadas no solo deve haver um preparo preliminar para que elas não afundem, e isto pode ser feito através da colocação de pedaços de tábuas sob cada

escora. Também é necessário que o local onde as escoras forem apoiadas seja compactado, de modo a evitar rebaixamento no momento da montagem e concretagem. Isso é feito com um soquete de mão e no momento da montagem dos escoramentos. (MATTOS, 2009).



FIGURA 16: Base de distribuição do carregamento no solo (MATTOS,2009)

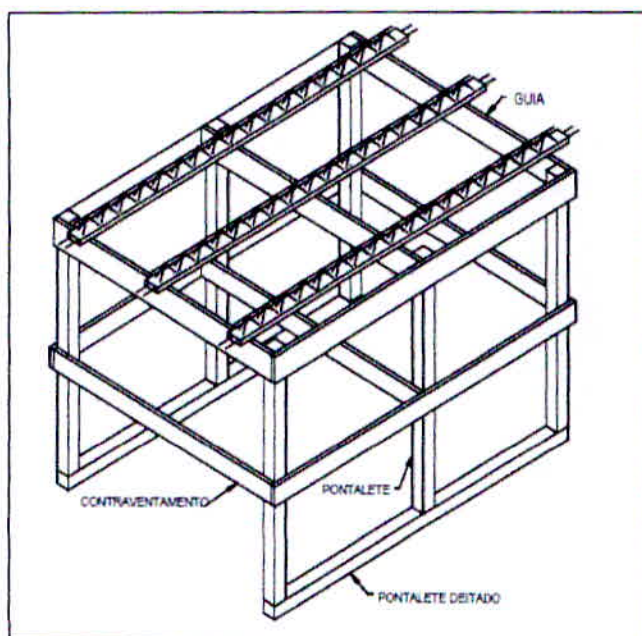


FIGURA 17: Esquema de escoramento da laje treliçada (GASPAR,1997)

### 3.3 Contra-flecha

É aplicada no escoramento das lajes treliçadas em sentido contrário ao da flecha. Para se conseguir o valor da contra flecha, calcula-se a flecha teórica utilizando os momentos de inércia da seção homogeneizada e fissurada nas verificações dos Estados Limites de Serviço de Deformação Excessiva (ELS-DEF) e de Abertura das fissuras (ELS-W).

Em lajes submetidas à flexão ocorre variação do valor do momento fletor entre as seções adjacentes, originando também variação na altura da linha neutra e, conseqüentemente, na profundidade das fissuras. Antigamente considerava-se apenas a Inércia no Estádio II puro, desconsiderando as partes menos solicitadas e a resistência à tração das seções de concreto ainda íntegras entre as fissuras, causando assim um superdimensionamento da estrutura.

Com isso verificou-se a necessidade de incluir estas parcelas e conseguir estimar com mais precisão o comportamento dos deslocamentos e fissuras conseqüentes do carregamento. A Fórmula de Branson veio suprir esta necessidade através do cálculo da inércia efetiva ( $I_e$ ).

$$I_e = \left(\frac{M_r}{M}\right)^3 \cdot I_I + \left(1 - \left(\frac{M_r}{M}\right)^3\right) \cdot I_{II} \quad \dots \{32\}$$

$I_e$  = Inércia efetiva

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ctm} \cdot I_0}{y_t} \text{ Momento de fissuração} \quad \dots \{33\}$$

$\alpha = 1,2$  para seções em formato T

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} (\text{MPa}) \quad \dots \{34\}$$

$y_t$  = é a distancia do centro de gravidade a fibra mais tracionada da seção

$I_I$  = Inércia no Estádio I

$M$  = Momento fletor atuante no vão

$I_{II}$  = Momento de Inércia da seção do Estádio II

O cálculo começa com a verificação se a estrutura esta no Estádio I ou Estádio II, através da equação  $M > M_r$ .

Se  $M < M_r$  pode-se usar na equação da flecha a Inércia I.

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^2}{384 \cdot E \cdot I} \quad \dots \{35\}$$

Mas se  $M > M_r$ , tem que se calcular a Inércia equivalente  $I_e$ .

Para isto necessita-se das Inercias do Estádio I e do Estádio II.

Com estes valores através da equação de Branson se calcula a Inércia equivalente.

$$I_e = \left(\frac{M_r}{M}\right)^3 \cdot I_I + \left(1 - \left(\frac{M_r}{M}\right)^3\right) \cdot I_{II} \quad \dots \{36\}$$

Descoberto o valor de  $I_e$ , utiliza-se a equação da flecha:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^2}{384 \cdot E \cdot I_e}$$

onde:

q = carga em questão

l = comprimento da vigota

$E = 476 \cdot f_{ck}^{1/2}$  MPa

$I_e$  = Inercia equivalente

Assim descobre-se a flecha, sendo que a flecha limite é dada pela equação:

$$f_{lim} = \frac{l}{250} \quad \dots \{37\}$$

l = comprimento da vigota

Caso a flecha venha a ser maior que a flecha limite ainda existe a possibilidade da utilização da contra flecha, para inverte ou apenas igualar esta equação:

Se  $f < f_{lim}$  OK

Se  $f > f_{lim}$

Pode-se usar a contra flecha que é definida pela literatura como:



$$cf = \frac{l}{350}$$

l = comprimento da vigota

Mas se mesmo com a contra flecha a flecha for maior que a flecha limite, é necessário alterar a área da seção.

Se  $f - cf > f_{lim}$  Alterar seção

Para se obter os valores das flechas nas respectivas lajes estudadas, utilizou-se uma planilha de cálculos (Anexo A) feita no Software Excel de autoria do Professor Mestre Antônio Faria e os resultados estão dispostos nas tabelas abaixo:

TABELA 09 – Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H8 com enchimento cerâmico

Vão(cm)	Flecha(cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha(cm)	Observação
150	-	-	-	OK
200	0,06	0,8	-	OK
250	0,41	1	-	OK
300	1,15	1,2	0,5	OK
350	1,99	1,4	1,0	OK
380	2,49	1,52	1,0	OK
390	2,66	1,56	1,0	Alterar seção

TABELA 10 : Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H8 com enchimento EPS

Vão(cm)	F0lecha(cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha(cm)	Observação
150	-	-	-	OK
200	0,04	0,80	-	OK
250	0,32	1,00	-	OK
300	1,01	1,20	0,5	OK
350	1,86	1,4	1,0	OK
390	2,54	1,56	1,0	OK
400	2,71	1,60	1,0	Alterar seção

TABELA 11: Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H12 com enchimento Cerâmico

Vão(cm)	Flecha(cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha(cm)	Observação
300	0,28	1,20	0,0	OK
350	0,84	1,40	0,5	OK
390	1,42	1,56	1,0	OK
400	1,58	1,6	1,0	OK
450	2,36	1,8	1,0	OK
500	3,15	2	1,5	OK

TABELA 12: Contra Flecha em Laje Nervurada Pré-moldada treliçada H12 com enchimento EPS

Vão(cm)	Flecha(cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha (cm)	Observação
300	0,20	1,20	0,0	OK
350	0,64	1,40	0,5	OK
390	1,20	1,56	1,0	OK
400	1,36	1,6	1,0	OK
450	2,16	1,8	1,0	OK
500	2,97	2	1,5	OK

Nota-se que a flecha é um condicionante em relação ao maior vão livre que a laje pode vencer. Para edificações residenciais, a laje H8 com enchimento cerâmico consegue vencer um vão máximo de três metros e oitenta centímetros, a laje H8 com enchimento em EPS consegue vencer um vão máximo de três metros e noventa centímetros, já as lajes H12 conseguem vencer o vão máximo estudado por este trabalho que é de cinco metros.

Outra vantagem de se utilizar a contra flecha é que no centro do vão a laje terá somente a capa de concreto e suas respectivas armaduras, já nos apoios, devido ao nivelamento da capa, terá uma altura maior de concreto ajudando no combate aos esforços de cisalhamento.

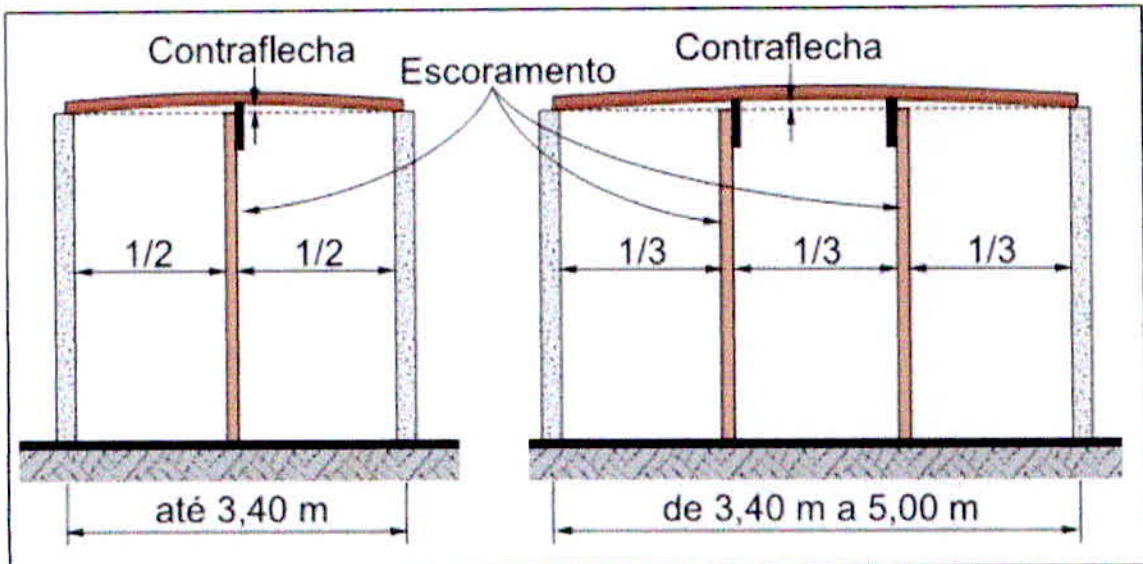


FIGURA 18: Desenho ilustrativo de como a laje se comporta com a Contra flecha (Folheto informativo mãos a obra, ABCP, 2000)

A contra flecha pode ser executadas através de cunhas postas nas bases das escoras de madeiras (figura 13).



FIGURA 19: Cunhas para a realização da contra flecha (MATTOS,2009)

Como este trabalho trata apenas de edificações residenciais de pequeno porte, existe a possibilidade de se padronizar a contra flecha de acordo com o tamanho do vão livre. Para isso é necessário

### 3.4 Colocações das vigotas e materiais de enchimento

Depois de realizado o escoramento e as devidas contra flechas, inicia-se a colocação das vigotas. O melhor posicionamento das vigotas quando estão em dois tramos de laje diferentes apoiadas paralelamente em uma mesma parede é posiciona-las

de modo contínuo, apoiando pelo menos cinco cm da base de concreto sobre a alvenaria ou viga. (Figura 15, Primeiro caso).

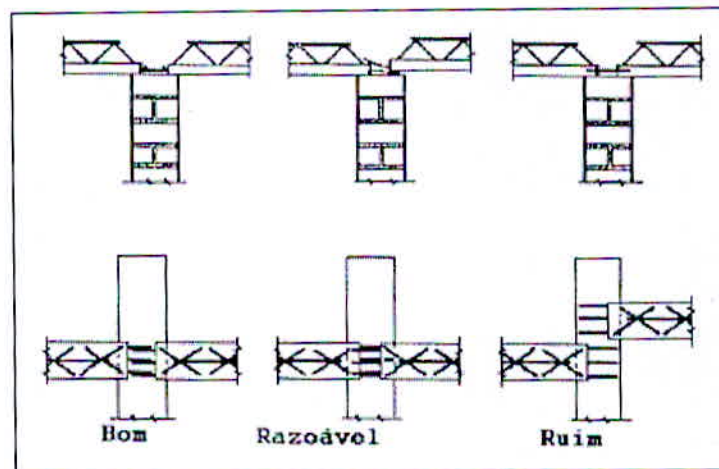


FIGURA 20 : Posicionamento das vigotas (CAIXETA, 1998)

A norma europeia, EUROCODE EN 15037-1:2004 recomenda no anexo D, sobre detalhes dos apoios e ancoragem das armaduras, que o último encontro da sinusóide com a armadura inferior da base de concreto da vigota (ponto 1, figura 16), esteja sobre o apoio ou, no máximo, a 10 cm da face final da base ( $b=10$  cm).

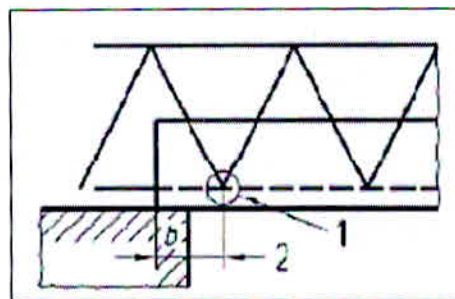


FIGURA 21: espaço máximo da sinusóide (EUROCODE EN 15037-2004, anexo D)

Para garantir o correto espaçamento entre as vigotas é colocado um bloco de enchimento em suas extremidades. E por razões de economia a primeira fileira de blocos de elementos leves apoiam-se na parede ou viga, no mínimo 1,5cm sobre elas. Com isso consegue-se economizar uma vigota em cada painel de laje. Esse procedimento facilita também a passagem de tubulações hidráulicas e elétricas embutidas, pois é sempre mais fácil quebrar um bloco de elemento leve do que uma vigota.

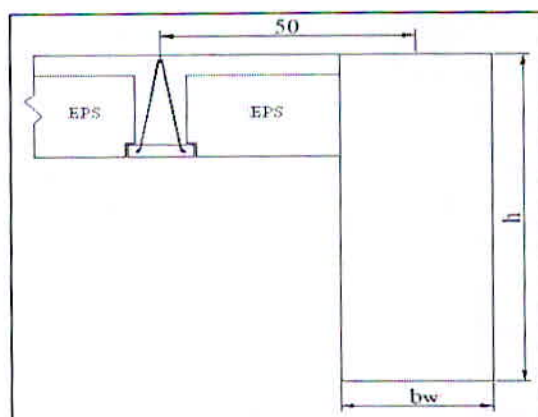


FIGURA 22: Enchimento sobre o apoio (BUIATE E LIMA, 2005)

É necessário também durante a montagem tomar o cuidado para não deixar folgas, principalmente no EPS, pois este é menos resistente que o bloco cerâmico. Travando melhor esses elementos, evitam-se possíveis deslizamentos e quebras durante a concretagem. No momento da montagem consegue-se verificar com mais detalhes a qualidade do material de enchimento, pois no posicionamento notam-se pequenas diferenças que são imperceptíveis quando estes estão empilhados e podem causar a ruptura ou deslizamento dos mesmos. Percebido a falta de qualidade nos materiais é necessário acionar o fabricante para a troca do mesmo.

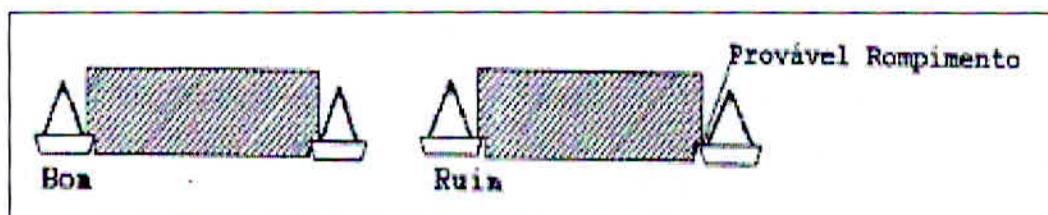


Figura 23: Encaixe dos elementos de enchimento (CAIXETA,1998)

No decorrer dessa fase de montagem, no caso de edificações residenciais de pequeno porte, existem referentes à parte elétrica, caixas de passagem para a tubulação. Elas têm o formato dos materiais de enchimento e se encacham perfeitamente nas vigotas. Evitando assim adaptações e agilizando o serviço.

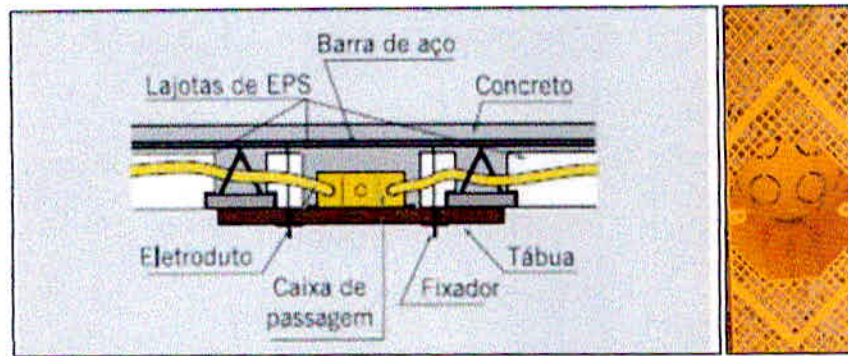


FIGURA 24: Caixa de passagem elétrica em lajes  
[http://www.fazfacil.com.br/images/laje\\_isopor\\_caixa.gif](http://www.fazfacil.com.br/images/laje_isopor_caixa.gif) acesso 05/06/2014).

### 3.5 Condições de apoios das vigotas

Em relação aos apoios não existe engaste perfeito, muito menos apoio perfeito, o que existe são situações que se aproximam de apoios e engastes. Em todas as situações é necessário verificar se a superfície, onde a laje será apoiada, está nivelada, para ajudar na execução da concretagem e evitar espessas regularizações.

#### 3.5.1 Apoio simples

Apoio simples se caracteriza quando existe ausência de momento fletor, mas como isso não ocorre, a literatura recomenda trabalhar com momento no apoio de no mínimo  $\frac{1}{4}$  do máximo momento positivo. Esta situação se faz presente quando a laje é posicionada sobre as fôrmas das vigas ou cinta de amarração da alvenaria, principalmente nas bordas da edificação onde não exista continuidade.

Se as vigotas forem apoiadas diretamente sobre paredes de alvenaria, suas armaduras devem estar interligadas por intermédio de uma cinta de amarração. Elas devem penetrar nos apoios pelo menos 5 cm e no máximo igual à metade da largura da viga. A concretagem das vigas deve ser simultânea com a execução da capa (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2007).

As ancoragens das armaduras das vigotas devem seguir as determinações da NBR 6118:2014, em casos de lajes rebaixadas, as treliças devem estar apoiadas sobre as armaduras positivas das vigas e em todos os casos se faz a necessidade de colocar armaduras negativas nas bordas para evitar fissuras nas extremidades das lajes. (GASPAR, 1997).

Mesmo sendo calculada como simplesmente apoiada, a laje precisa de uma armadura negativa construtiva para evitar fissuras em suas extremidades.

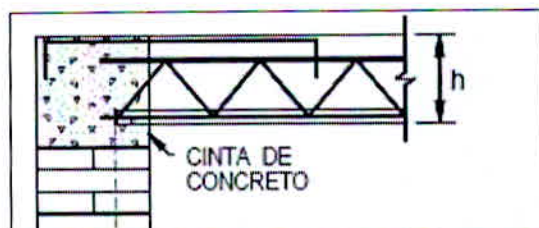


FIGURA 25: apoio simples (GASPAR, 1997)

### 3.5.2 Engastes

O engaste se caracteriza por presença de momento negativo em suas condições de apoio. Para que o “engastamento” seja realmente consolidado as nervuras devem ser ligadas as vigas de três formas: a primeira com penetração das nervuras na viga de apoio, a segunda pela penetração da armadura inferior das nervuras dentro da viga de apoio e a terceira pela colocação de armadura adicional. É necessário também garantir os comprimentos necessários para ancoragem suportar um esforço de tração igual ao esforço cortante para os apoios externos e metade desse valor para apoios internos.

Levando em consideração a continuidade há uma redução na flecha (um dos principais problemas da laje pré-moldada), conseqüentemente esta laje consegue vencer vãos maiores. Porém, devido ao momento fletor negativo inverter o sentido dos esforços e a laje treliçada pré-moldada ter uma pequena área de concreto na parte inferior (apenas a largura da vigota), na maioria dos casos se faz necessário executar uma região maciça no apoio, substituindo o material de enchimento por concreto, o que acarreta em uma maior quantidade de formas, armaduras nos apoios e mão de obra, diminuindo assim a viabilidade econômica deste tipo de laje. Ainda, uma laje dimensionada como simplesmente apoiada é calculada para um momento fletor positivo maior que o real, pois quando a estrutura é concretada ele se torna parcialmente engastada, o que diminui o momento fletor no meio do vão. (MATTOS, 2009)

Muitos projetistas adotam a linha neutra entre os limites entre os domínios 3 e 4 e calculam o momento fletor máximo resistente para aquela seção de concreto, utilizando ao máximo a resistência do material. Este momento fletor máximo é o adotado como negativo e, assim, obtém-se o valor da área de armadura. Sendo necessário, todavia corrigir os valores do momento fletor positivo.



A ABNT na NBR 6118:2014 permite utilizar a redistribuição de momentos, impondo limites para a posição da linha neutra. O coeficiente de redistribuição, ou, o quanto de momento fletor que poderá ser reduzido, é dado por duas expressões presentes no item 14.6.4.3 da referida norma, para concreto com resistência característica à compressão acima e abaixo de 35 MPa.

Há muitos benefícios nesta redistribuição de momentos, como: menor taxa de armadura localizada nas áreas de momentos negativos, portanto, tensões reduzidas na região comprimida da seção; maior liberdade no detalhamento da armadura; diminuição no número de barras de aço na região dos apoios melhorando a concretagem neste local.

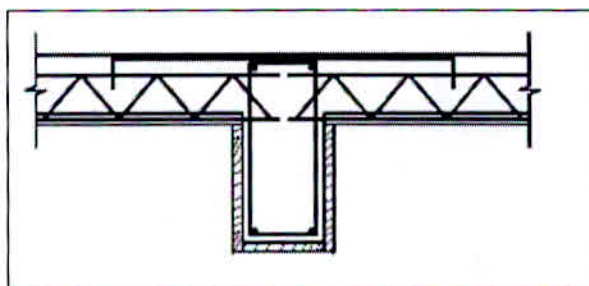


FIGURA 26: Laje contínua (GASPAR, 1997)

Nos casos de lajes treliçadas em balanço, o que não é recomendado pelas literaturas devido ao grande momento negativo, se faz necessário em sua extremidade uma cinta de travamento ou uma viga de borda, interligando as vigotas, além da armadura negativa posicionada com altura útil correta.

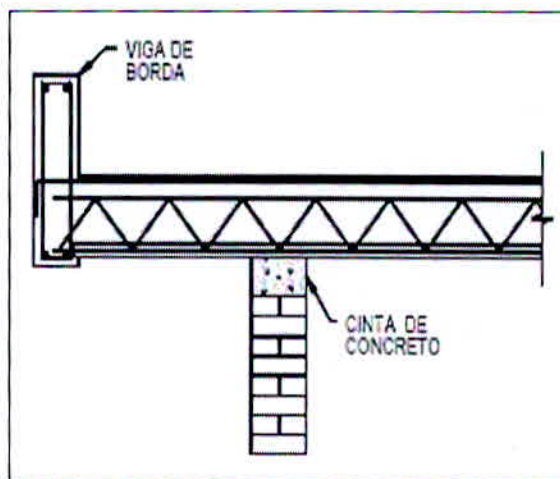


FIGURA 27: Laje em balanço (GASPAR, 1997)

### 3.6 Nervuras na laje

#### 3.6.1 Nervuras de travamento

Em pesquisa realizada, a ABNT na NBR 6118:2014 recomenda a adoção de uma nervura para vãos de 4,0 m e de duas para vãos de 6,0 m. Elas podem ser executadas através de blocos de EPS próprios, canaletas de plástico ou cerâmico, plaquetas de concreto e até mesmo por tábuas, que substituem os blocos de enchimento aumentando a área de concreto e ajudando na distribuição dos esforços entre as vigotas e no travamento das mesmas.



FIGURA 28: exemplo de canaleta para execução de nervuras  
([www.faulim.com.br/canaleta](http://www.faulim.com.br/canaleta) VISITA DIA 05/06/2014)

AVILLA JR. (2009) recomenda a utilização de nervuras transversais a cada 2m e relata com base na sua experiência com lajes treliçadas o aparecimento de fissuras paralelas às vigotas em lajes que apresentam geometrias com variação, como por exemplo, em forma de “T”. A figura 29 extraída do trabalho de AVILLA JR (2009), página 77, mostra a patologia por falta de nervura de travamento para as lajes que apresentam forma em “L”.

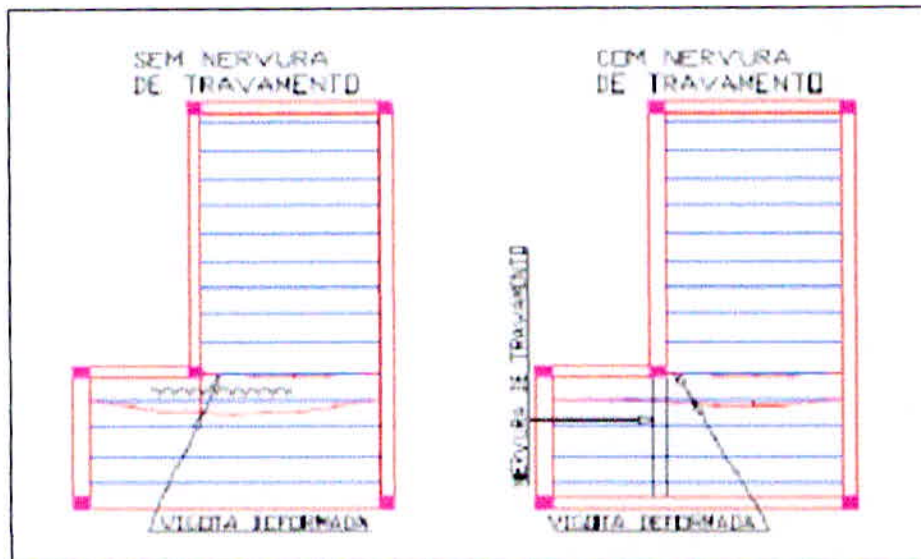


FIGURA 29: Importância da nervura de travamento (AVILLA JR, 2009)

### 3.7 Posicionamentos das armaduras

Armadura positiva: Armadura responsável por combater os esforços de tração causados no meio do vão, quando apenas o aço da armação treliçada não é capaz de resisti-los. É recomendado que fosse adicionado na fábrica, na base de concreto com seus devidos espaçadores, durante a confecção das vigotas. Outro modo, mesmo não sendo muito recomendado, é posicionar ele sobre a base de concreto da vigota já executada, porém, se faz necessário que seu dimensionamento seja feito levando isto em consideração.

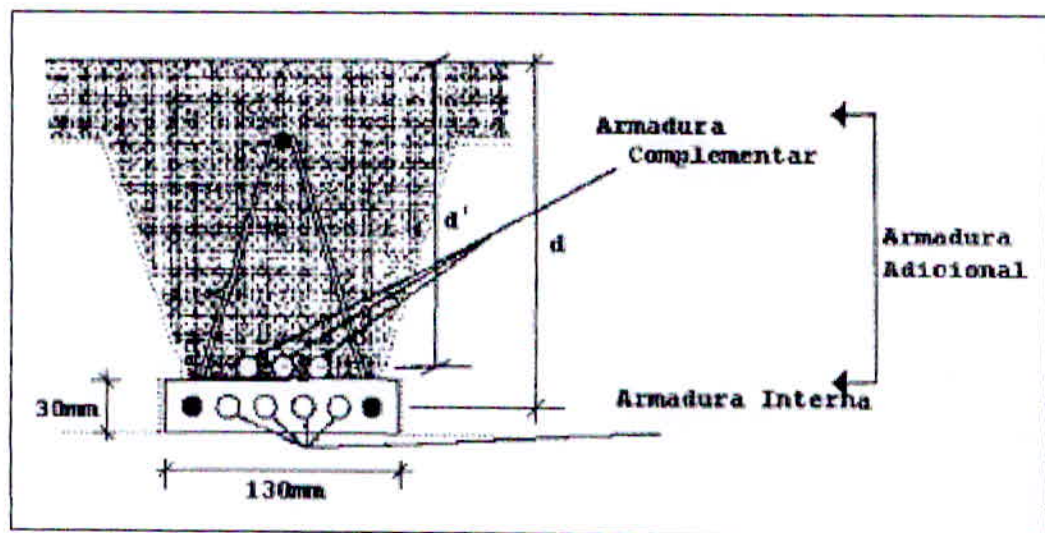


FIGURA 30: Posicionamento da armadura positiva (CAIXETA, 1998)

De acordo com a ABNT na NBR 6118:2014, essa armadura deve ser mantida até os apoios.

#### Armadura Negativa:

Esta armadura deve ser posicionada na face superior da laje, respeitando os cobrimentos mínimos de acordo com a classe de agressividade do ambiente (ABNT, NBR 6118:2014) ou como está no projeto, sendo bem fixada para que durante a concretagem ela não se movimente. Ela também deve ser colocada sempre sobre as vigotas e nunca sobre o enchimento, pois trabalha como uma viga necessitando de concreto na parte comprimida. Para garantir que isto ocorra existem estruturas chamadas espaçadores que podem ser de plástico ou de aço. Todos são facilmente encontrados no mercado.



FIGURA 31: Espaçadores ([www.fercimcal.com.br](http://www.fercimcal.com.br) acesso 05/06/2014)

Em apoios externos, se não for dimensionada, a armadura colocada deve ser capaz de resistir à  $\frac{1}{4}$  do momento positivo relativo, ela deverá ter no mínimo o comprimento da largura do apoio mais  $\frac{1}{10}$  do tamanho do vão e sobre o apoio ter um comprimento vertical de no mínimo a altura da laje.

#### Armadura de distribuição

Segundo a ABNT na NBR 14859:2002-1, a armadura de distribuição é colocada na capa de concreto tanto no sentido transversal, como no longitudinal, com a função de distribuir sobre a laje as tensões oriundas de cargas concentradas e para o controle da

fissuração. Ela deve ter no mínimo uma área de 0,6 cm<sup>2</sup>/m para aços CA 50 e CA 60, contendo pelo menos três barras por metro, conforme tabela abaixo.

Tabela 13: Área mínima de aço e quantidade de armadura de distribuição (ABNT,NBR14859:2002-1)

Aço	Área Mínima	Número de barras/m	
		Ø5,0 mm	Ø6,3 mm
CA 25	0,9 cm <sup>2</sup> /m	5	3
CA 50, CA 60 e tela soldada	0,6 cm <sup>2</sup> /m	3	5

Uma solução para se economizar mão de obra tem sido a utilização principalmente em residências das malhas eletrossoldadas. Ela já vem pronta para o uso e são feitas em painéis de 2,0 m de largura por 3,0 de comprimento, com aço CA60 soldado em todos os pontos de cruzamentos. Com as seguintes descrições:

TABELA 14: Características malhas eletrosoldadas (CATALOGO GERDAU AÇOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL)

Tipo	Malha (cm)	Diâmetro (mm)	Largura (m)	Comprimento (m)	Peso (Kg/painel)	Aplicação
Leve	20x20	3,4	2,0	3,00	4,3	Ferragem para laje pré-fabricadas ou treliçadas de cobertura, contrapisos e calçadas residenciais, argamassa de impermeabilização.
Média	15x15	3,4	2,0	3,00	6,0	Ferragem para laje pré-fabricadas ou treliçadas de pisos de residencias, placas pré-moldadas para a execução de muros.
Reforçada	15x15	4,2	2,0	3,00	9,0	Ferragem para laje pré-fabricadas ou treliçadas de pisos de escritórios ou depósitos, placas pré-moldadas para jazigos, pisos de concreto para quadras, garagens e estacionamentos.
Pesada	10x10	4,2	2,0	3,00	13,2	Ferragem pronta para piscinas de profundidade de até 1,20m (armar lado interno e externo das paredes e fundo), pisos de concreto para postos de gasolina e depósitos leves.

Desenhos simples e ilustrativos serão exemplificados a partir destas técnicas de posicionamento das armaduras.

### 3.8 Concretagem e adensamento do concreto.

Nesta fase é recomendado que fosse concretada juntas, lajes, vigas e cintas de travamento, fazendo com que a estrutura se torne monolítica (apenas uma peça) distribuindo melhor os esforços sobre a laje e evitando o aparecimento de fissuras e trincas. Antes da concretagem é necessário se atentar a alguns aspectos;

- verificar se as armaduras complementares estão em seu devido lugar;
- certificar se de que a superfície da laje está limpa;
- molhar a superfície da laje para melhorar aderência da capa com os matérias de enchimento e as vigotas;

A ABNT na NBR 14859:2002-1 define a capa como parte resistente da laje com espessura mínima de 3,0 cm, contados a partir da face superior do material de

enchimento. Porém se existir tubulações a norma permite um capa de no mínimo 2,0 cm sobre ela verificando a necessidade de adicionar armadura devido à perda de seção. Ela também tabela espessuras mínimas de capa de acordo com a altura da laje.

Tabela 15: Capa mínima resistente para as alturas de lajes totais

Altura total da laje (cm)	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	17,0	20,0	21,0	24,0	25,0	29,0	30,0	34,0
Espessura Mínima da capa resistente (cm)	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Como este trabalho trata de obras residenciais de pequeno porte será considerada a concretagem feita de maneira manual e concreto produzido por betoneira.

A norma define que a mínima resistência do concreto que pode ser utilizado é de 20 MPa. Para tal, LIMA(2002) realizou estudos e experimentos, concluindo que para um concreto com resistência de 21 MPa o traço adequado em volume é de 1:2:4:2, sendo uma medida de cimento, para duas de areia, para quatro de brita e duas de água. Este traço tem um rendimento médio por saco de cimento de cento e sessenta e oito litros.

Pela concretagem ser feita de maneira manual, um dos principais fatores é o transporte do concreto da betoneira até o local de aplicação. Ele pode ser feito de duas maneiras:

- através de latas, na situação mais comum o concreto é levado até o andaime, onde um operário o eleva ao nível da laje e outro o pega, levando até o local de aplicação.

- através de carrinhos de mão de pequeno porte, está situação é mais comum quando a laje esta no nível do local onde esta sendo produzido o concreto, mas também pode ser construídas rampas para acesso a níveis superiores.

Em todos os casos, o transporte do concreto sobre a laje deve ser feito sobre tábuas devidamente apoiadas em pelo menos três ou mais vigotas, de forma a não forçar os enchimentos.

O adensamento do concreto deve ser feito de forma a eliminar os vazios que durante a concretagem aparecem, através de vibradores de imersão, ou régua vibratórias.

### **3.9 Cura do concreto**

Em obras residenciais de pequeno porte é comum manter a superfície da laje molhada para realizar a cura do concreto. Mas é necessário tomar algumas precauções, como:

- Nos primeiros momentos após a concretagem, apenas umedecer a laje para não retirar (“lavar”) o concreto que esta por cima;
- Manter sempre a superfície da laje molhada, para evitar a retração do concreto e consequentemente sua fissuração.

O tempo necessário para a cura do concreto depende do clima em que está exposto, o traço utilizado e o tipo de cimento utilizado. Para os casos de residências a literatura recomenda uma cura de pelo menos cinco dias.

#### **3.9.1 Procedimentos para retirada do escoramento.**

A retirada do escoramento deve seguir o funcionamento estrutural do painel de laje. Assim, nos painéis em que as vigotas pré-moldada trabalham simplesmente apoiadas deve se retirar as escoras do centro para as extremidades das vigotas. Nas lajes em balanço, da extremidade das vigotas para os seus apoios.

Para lajes de forro recomenda-se retirar o escoramento somente após a conclusão do telhado (cobertura). E para todos os casos não é recomendado que as escoras fossem retiradas antes de duas semanas após a concretagem.



#### **4 TÉCNICAS DE SEGURANÇA NA MONTAGEM E CONCRETAGEM DA LAJE**

É necessário utilizar algumas técnicas de segurança para que não ocorram acidentes durante a montagem da laje, como:

- no posicionamento das vigotas, é necessário apoiar pelo menos cinco centímetros da base de concreto na alvenaria ou viga;
- os elementos de enchimento devem estar bem travados as vigotas;
- não se devem usar escadas para montar as vigotas e sim andaimes;
- nunca se deve trafegar em baixo da laje durante a concretagem;
- para deslocamentos sobre a laje é necessário cinto anti-queda preso a um cabo de aço devidamente ancorado;
- sempre utilizar tábuas para andar sobre a laje em sua fase de concretagem;
- se a laje for concretada utilizando apenas mão de obra humana e não houver guinchos para a elevação do concreto, se faz necessário à utilização de andaimes para a elevação dos mesmos;
- utilizar luvas, botas, óculos de proteção e todos os EPIs necessários;
- conferir antes da concretagem se as escoras estão contraventadas e apoiadas corretamente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a elaboração da cartilha, obteve-se métodos práticos, que orientam na execução de lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas. Pôde-se observar também que a diferença de peso entre os materiais de enchimento não alterou no espaçamento entre as escoras dos elementos de mesma altura, tampouco nos cálculos da contra-flecha.

Verificou-se que durante o transporte das vigotas, quando estão sujeitas somente ao seu peso próprio, elas suportam vãos acima de 4,00m, sem apoios intermediários, porém, por recomendação, tais vãos não devem ultrapassar 3,50m.

Uma importante variável que influencia na distância entre as linhas de escoras é a sobrecarga de concretagem da laje, ou seja, a carga que as vigotas treliçadas e o escoramento estão sujeitos durante a execução da concretagem. Isto necessita ser melhor estudado pois ainda existem poucos relatos na literatura.

Com o acesso a esta cartilha, espera-se, que os encarregados, mestre de obras e auto construtores, se orientem melhor na maneira de executar as lajes treliçadas pré-moldadas, evitando retrabalhos , com isso economizando tempo e obtendo resultados satisfatórios.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP, Folheto informativo mãos a obra (2000)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos (NBR 6118:2014). Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). NBR 14859:2002-1. Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais . Rio de Janeiro, 2002

BUIATE E LIMA, Análise do comportamento de lajes nervuradas formadas por vigotas treliçadas e sua interação com as vigas de borda. 1º Encontro Nacional de pesquisa-projeto-produção de concreto pré-moldado, 2005.

AVILLA JUNIOR, J. Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. (2009).

CAIXETA, D. P. Contribuição ao estudo de lajes pré-fabricadas com vigas treliçadas. 29/09/1998. 168 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Campinas, Campinas, (1998).

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO FILHO, J.R. Calculo e Detalhamento de estruturas usuais de concreto armado; Concreto armado segundo a NBR 6118:2003. São Carlos: Edufscar.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2004). prEN 15037-1. Precast concrete products - Beam-and-block floor systems – Part 1: Beams. Brussels, 2004.

FARIA, Notas de aula das Matérias Estruturas I e II com o Professor Mestre Antônio Faria na Universidade do Sul de Minas, UNIS, no curso de Engenharia Civil, Varginha, (2013).

FERREIRA, M. A. Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado. 10/08/2005. 239 fls. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, (2005).

GASPAR, R. Análise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção. 1997. 112 fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, (1997).

LIMA (2002). Tabela de traços de concreto e argamassas.

MAGALHÃES, F.L. (2001). Estudo dos momentos fletores negativos nos apoios de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo nervuras com armação treliçada. São Carlos. 135p. + apêndice. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MANUAL DE FABRICAÇÃO PUMA - ARMAÇÃO TRELIÇADA (2003). Manual de fabricação – lajes treliçadas.

MATTOS, Pavimentos de lajes com vigotas treliçadas: análise dos detalhes de execução e comparação com procedimentos adotados em obras. São Carlos. (monografia) Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (2009)

MUNIZ. C. E. Mais competitivas: lajes treliçadas. Revista IBRACON, v.1, n.1, p.19-21, julho, agosto. (1991)

REVISTA TÉCNICA, São Paulo, Editora Pini, ano 11, ed.72, 11 mar.2003. ISSN 0104-1053.

SILVA –Projeto e execução de lajes nervuradas de concreto armado. São Carlos. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (2005)

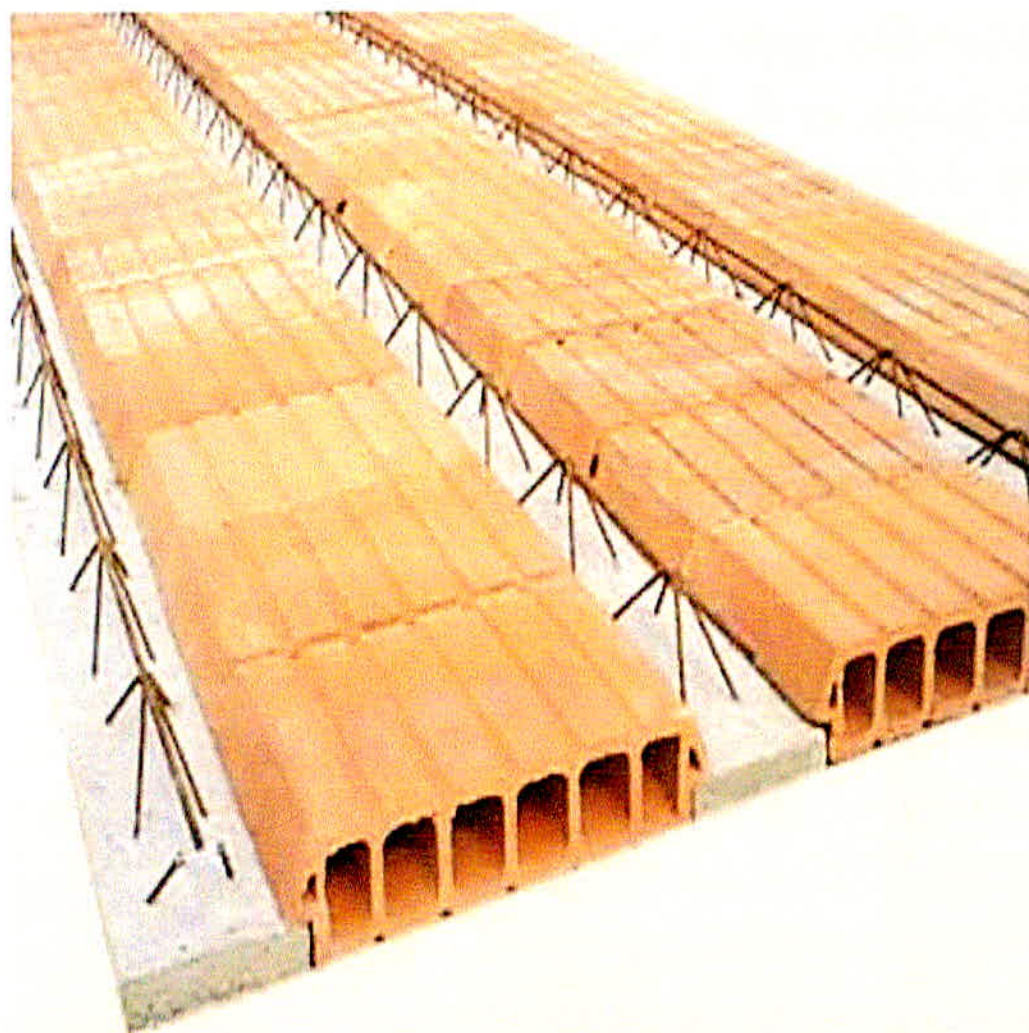
## 7-AnexoA-planilha de cálculo de laje nervurada

Laje Nervurada Unidirecional			
Características da Seção Transversal - Material - Carregamento por nervura			
$b_v$ (cm)	43,0	$f_{ct}$ (MPa)	20,00
$b_w$ (cm)	10,0	Aço CA	60
$h_v$ (cm)	4,0	$\gamma_{concreto}$ (kN/m <sup>3</sup> )	25,00
$h$ (cm)	15,0	$\gamma_{enchimento}$ (kN/m <sup>3</sup> )	0,12
$d'$ (cm)	1,0	$g_{z1}$ (kN/m <sup>2</sup> ) - regularização	0,50
Vão da Laje-Direção Nervuras (cm)	500,0	$g_{z2}$ (kN/m <sup>2</sup> ) - revestimento	0,50
Valor de $\psi_2$ (comb. quase perm.)	0,4	$q$ (kN/m <sup>2</sup> ) - sobrecarga	1,50
Ret. Escoramento (dias)	14,0		
$g_{z1}$ (kN/m/nervura) - peso próprio	0,7050	$M$ (kN.cm/nerv)	557,61
$g_{z2}$ (kN/m/nervura) - enchimento	0,00	$k_{w1}$	0,065
$g_{z1}$ (kN/m/nervura) - regularização	0,22	$k_w$	0,099
$g_{z2}$ (kN/m/nervura) - revestimento	0,22	$k_{w2}$	0,960
$q$ (kN/m/nervura) - sobrecarga	0,65	$y$ - (linha neutra - cm)	1,11
<b><math>p</math> (kN/m/nervura) - comb. Ra</b>	<b>1,78</b>	Verificação LN	ok
		$A_s$ (cm <sup>2</sup> /nervura)	1,11

Características da Seção Transversal - Material - Carregamento por nervura						
$b_v$ (cm)	43,0	$f_{ct}$ (MPa)	20,00			
$b_w$ (cm)	10,0	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	1,11			
$h_v$ (cm)	4,0	$A_s'$ (cm <sup>2</sup> )	0,00			
$h$ (cm)	15,0	Vão (cm)	500,00			
$d'$ (cm)	1,0	Ret. Escoramento (dias)	14			
$g_{z1}$ (kN/m/nervura) - peso próprio	0,71					
$g_{z2}$ (kN/m/nervura) - enchimento	0,00					
$g_{z1}$ (kN/m/nervura) - regularização	0,22					
$g_{z2}$ (kN/m/nervura) - revestimento	0,22					
$q$ (kN/m/nervura) - sobrecarga	0,65					
Valor de $\psi_2$ (comb. quase perm.)	0,40					
Características Geométricas - Estádio I						
SEM ARMADURA		COM ARMADURA				
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	282	$\alpha = E_s/E_c$	9,865			
$y_s$ (cm)	4,93	$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	291,87			
$I_s$ (cm <sup>4</sup> )	5.112,44	$y_s$ (cm)	5,23			
		$I_s$ (cm <sup>4</sup> )	5.897,43			
Características Geométricas Estádio II						
$a_1$ (cm)	21,50					
$a_2$ (cm <sup>2</sup> )	10,98					
$a_3$ (cm <sup>3</sup> )	-153,71					
$X_{II}$ (cm)	2,43					
$I_{s,II}$ (cm <sup>4</sup> )	1675,42					
Inércia Equivalente - Branson						
$E_s$ (MPa)	21287,37					
$M_s$ (kN.cm/nervura)	134,61					
Verificação da Flêxia						
	Carga (kN/m)	MF (kN.cm)	$I_s$ (cm <sup>4</sup> )	$a$ (cm)	$a_{lim,II}$ (cm)	Verificação
Carga Permanente	1,14	356,0	1903,54	2,29	2,00	Alterar Seção
Quase Permanente	1,40	436,7	1799,08	2,97	2,00	Alterar Seção
Rara	1,78	557,6	1734,81	3,93	x-x-x	x-x-x
Acidental				1,64	1,43	Alterar Seção
Verificação da Flêxia						
$\xi(t_0)$	0,532		$a_{lim,II}$ (cm)	7,33		
$\xi(\infty)$	2,000		$a_{w1}$ (cm)	-2,00		
$\sigma'$	0,0		$a_{lim,II}$ (cm)	5,33		
$\alpha_f$	1,468		Verificação (L/250)	Alterar Seção		

Planilha para cálculo da flecha em Lajes Nervuradas (Faria, 2013)

**8 CARTILHA PARA EXECUÇÃO DE LAJES  
TRELIÇADAS PRÉ-MOLDADAS EM EDIFICAÇÕES  
RESIDENCIAIS DE PEQUENO PORTE**



**Autor: Mateus dos Reis**

## ÍNDICE

<b>Introdução</b>	<b>03</b>
<b>Componentes da laje treliçada</b>	<b>04</b>
<b>Recebimento dos componentes da laje</b>	<b>04</b>
<b>Estocagem dos materiais</b>	<b>05</b>
<b>Transporte dos Materiais</b>	<b>07</b>
<b>Escoramento</b>	<b>10</b>
<b>Contra Flecha</b>	<b>11</b>
<b>Método de escoramento</b>	<b>12</b>
<b>Posicionamento e montagem das vigotas e enchimento</b>	<b>14</b>
<b>Execução de nervuras transversais</b>	<b>15</b>
<b>Posicionamento das armaduras</b>	<b>16</b>
<b>Concretagem e adensamento do concreto</b>	<b>19</b>
<b>Cura do concreto</b>	<b>21</b>
<b>Retirada do escoramento</b>	<b>22</b>
<b>Referências bibliográficas</b>	<b>24</b>

## **-Introdução**

As lajes treliçadas são estruturas destinadas a servirem de cobertura, forro ou piso para uma edificação, feitas de concreto armado. Elas possuem como armadura uma estrutura metálica denominada treliça, que é fundida a uma base de concreto formando assim, a vigota, que, junto com o material de enchimento, constitui a laje.

As lajes treliçadas vêm dominando o mercado em obras residenciais, seu uso proporciona à laje maior rigidez, mais qualidade, segurança e a capacidade para vencer grandes vãos e suportar altas cargas.

Para a definição do tipo de laje treliçada ideal de cada obra, é necessário informações como, a carga por metro quadrado que será submetida a laje e o comprimento do vão. A partir destes dados poderá ser definido a altura da vigota e calculado o aço adicional, se necessário. Esse item é apenas um dos procedimentos que deve ser considerado para garantir uma boa qualidade da laje.

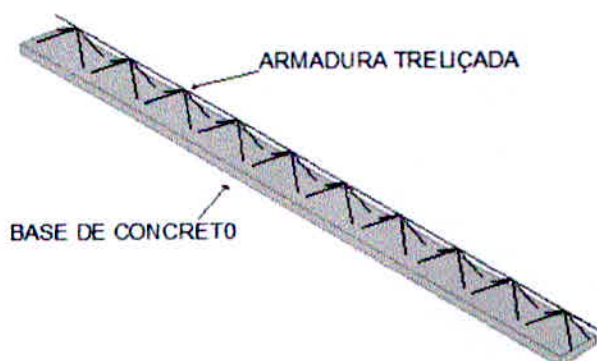
O planejamento para execução das lajes treliçadas é fundamental para prevenir situações que podem afetar a integridade da estrutura da obra em questão, a segurança dos envolvidos e o cronograma proposto da obra. Sendo assim uma exemplificação, de maneira simples, das etapas, desde a chegada do material na obra, até a retirada do escoramento é de extrema importância para eficácia do resultado final da obra.



## -Componentes da laje treliçada

Vigota treliçada;

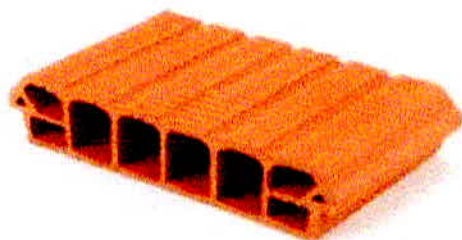
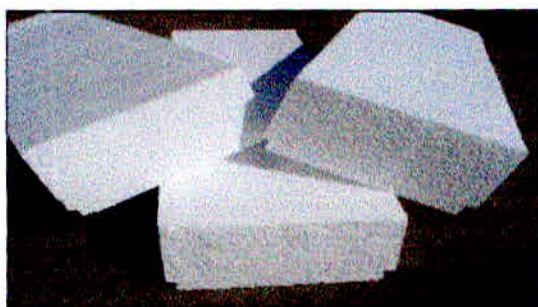
Mais conhecida como treliças, pesa em média 10 Kg/metro. Ela é composta por uma base de concreto, uma armadura em formato de treliça, podendo ou não conter aços adicionais. É a treliça, responsável por suportar todo o peso da laje e sua utilização



\* Nesta cartilha, vigotas treliçadas serão chamadas de treliças.

Elemento de enchimento;

Os elementos de enchimento mais comuns são os cerâmicos, mais conhecidos como lajotas, e os EPS, mais conhecidos como isopor. A sua principal função é de suportar o concreto enquanto ele ainda está fresco.



## - Recebimento dos componentes da laje

Na chegada da laje à obra o responsável deve verificar os seguintes aspectos:

- se a altura das treliças é a correta;
- se os materiais de enchimento estão nas dimensões contratadas.

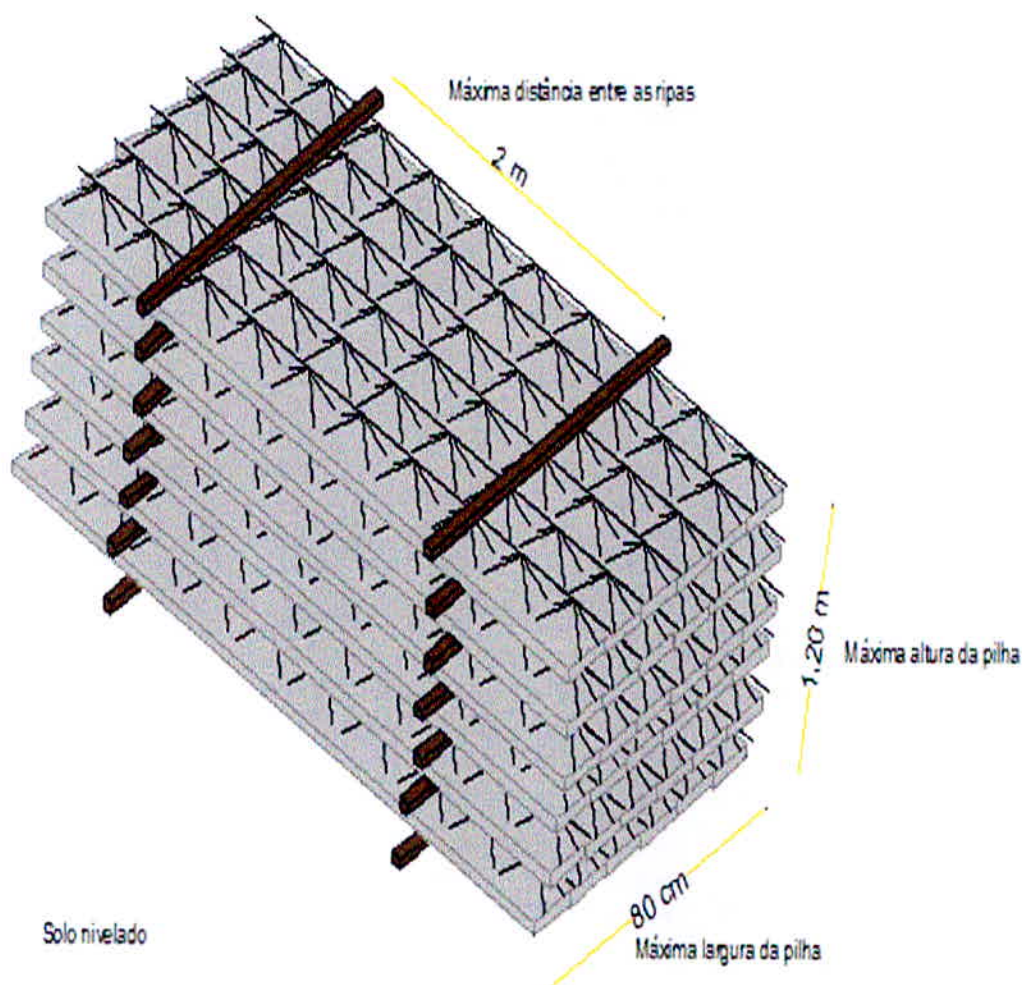
## - Estocagem dos materiais

Deve-se considerar principalmente três aspectos para a estocagem dos materiais;

- a proteção dos materiais contra intempéries ou colisões
- a ocupação do menor espaço físico possível
- a facilidade de movimentação dos materiais durante o processo de montagem.

### Treliças

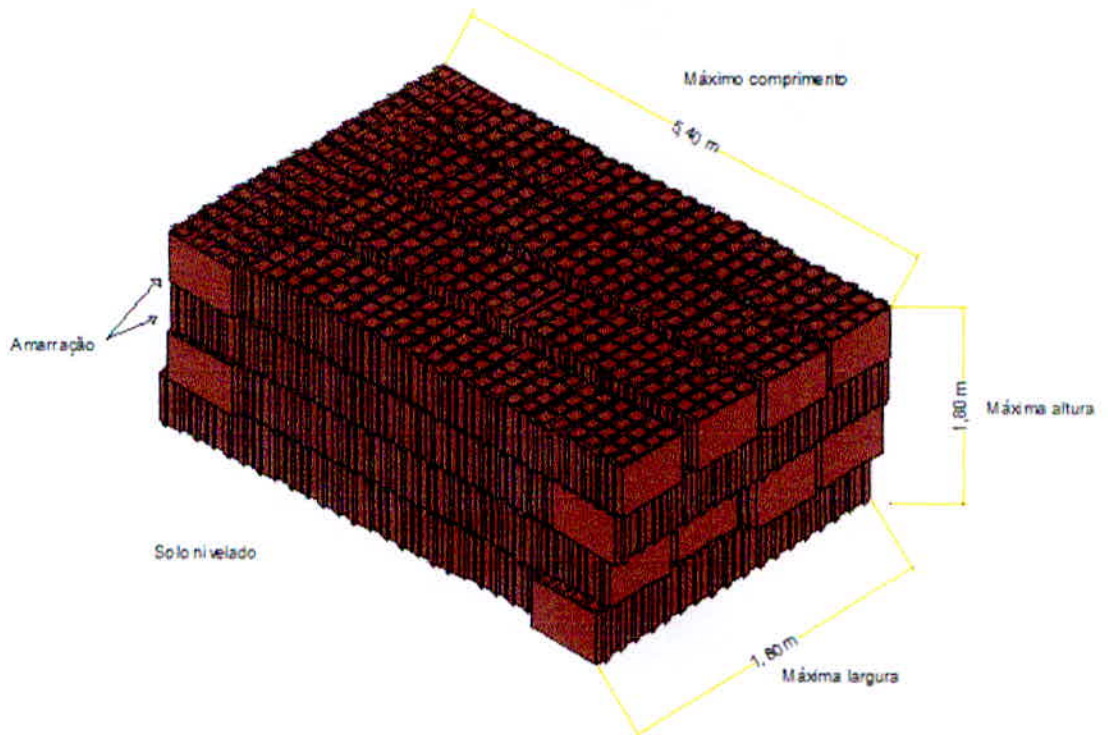
Devem ser empilhadas na posição horizontal em um local nivelado, sobre ripas com distância máxima entre elas de 2 metros. Para preservar as características das treliças e manter a segurança dos trabalhadores as pilhas devem ser formadas com no máximo 1,20 m de altura e 80cm de largura.



## Lajotas e Isopores

Os elementos de enchimento devem ser estocados em condições que os protejam de exposições prolongadas ao sol, vento, chuva e fogo, preservando suas características. Uma forma sugerida para se empilhar o material de enchimento é na proporção 1:1:3, sendo o primeiro item relativo à altura, o segunda à largura e o terceiro ao comprimento. No caso do enchimento cerâmico as pilhas não devem ultrapassar um metro e oitenta de altura, sendo feitas amarrações nas extremidades para garantir sua estabilidade. Já no EPS, devido ao seu baixo peso próprio, podem ser feitas pilhas de até três metros de altura se estas estiverem protegidas das ações do vento.

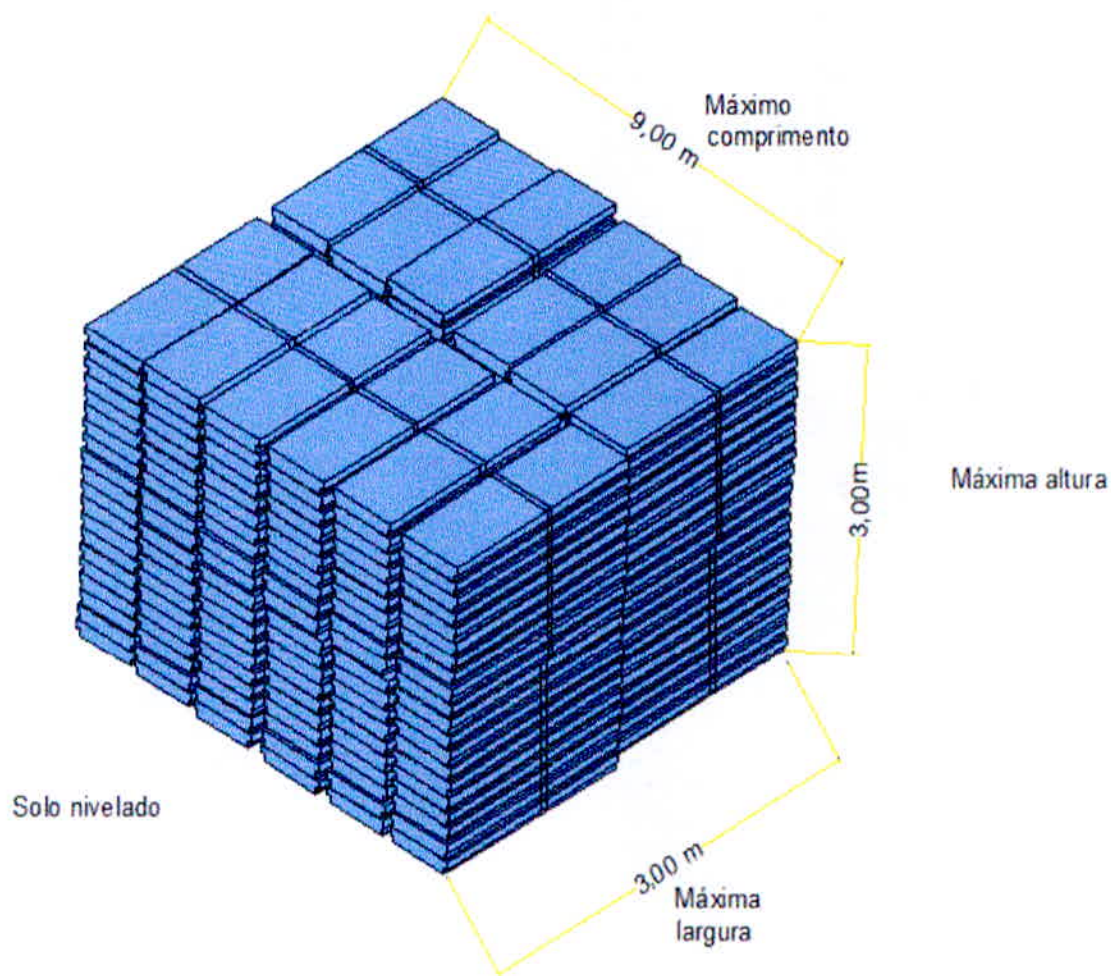
### Lajotas



Dimensões recomendadas para as pilhas de lajotas de no máximo:

1,80m de altura x 1,80 m de largura x 5,40m de comprimento

## Isopor (EPS)



Dimensões recomendadas para as pilhas de isopor de no máximo:

3,00m de altura x 3,00m de largura x 9,00m de comprimento

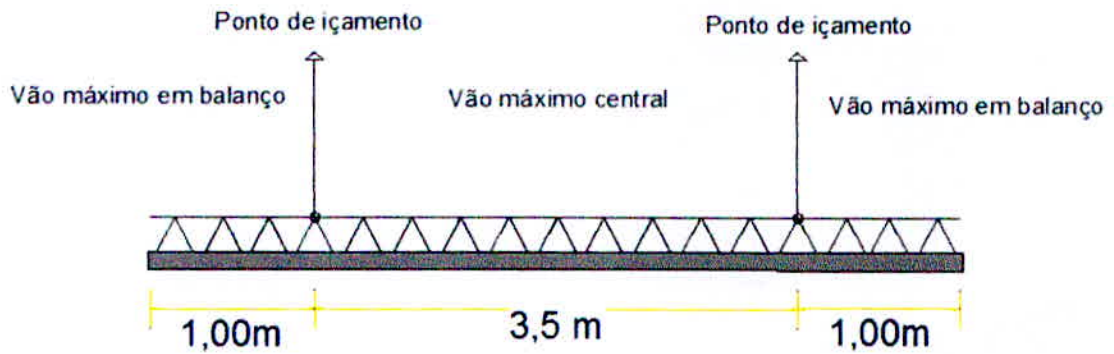
\*desde que estes não estejam expostos a ação do vento, se estiverem estas dimensões podem ser reduzidas pela metade, além de ser necessário colocar pesos sobre as pilhas.

## -Transporte dos Materiais

### -Trelças

Durante o transporte, tanto para a estocagem, quanto para a utilização é recomendado que o trabalhador transporte a vigota pelo ponto em que as diagonais se encontram com o banzo superior (como a figura a cima), não deixando vãos livres superiores a 3,50m e partes em balanço superiores a 1,00m.

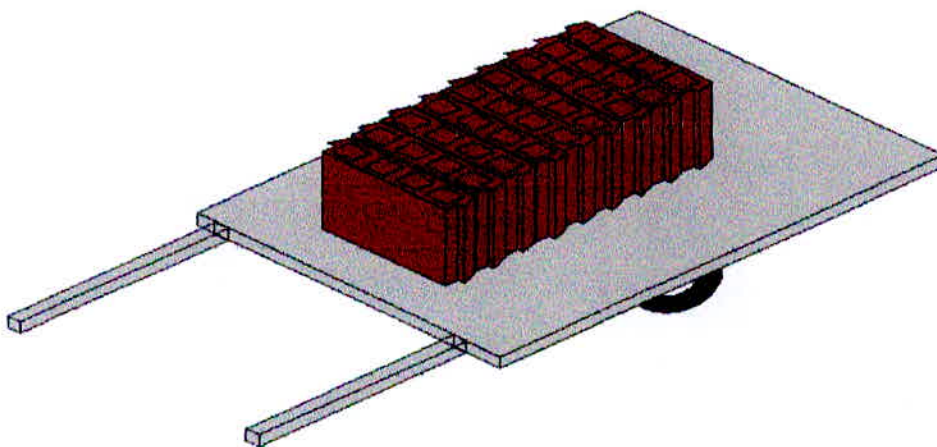
## Recomendação para transporte das treliças



Treliças com mais de dois metros devem ser transportadas por dois trabalhadores

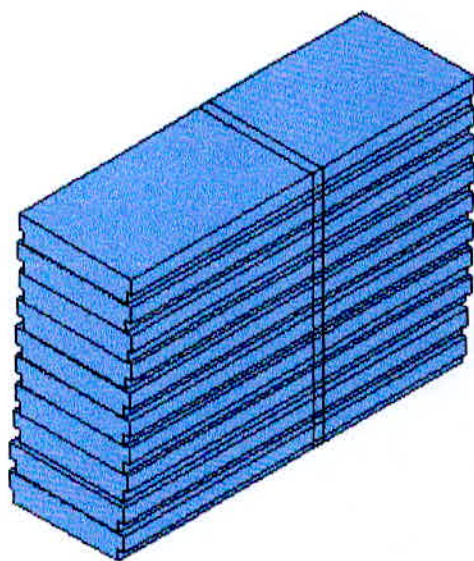
### -Lajotas

As lajotas, devido ao seu peso, podem ser transportadas de forma manual ou através de carrinhos de mão, a quantidade de peças que um trabalhador consegue levar é indefinida, pois depende da distância a ser percorrida.



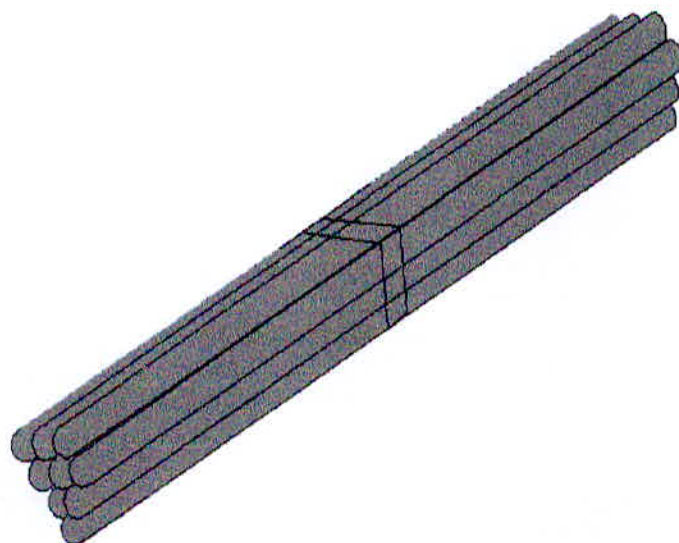
### **-Isopores**

Já os isopores, devido a sua leveza podem ser transportados ensacados ou presos por cintas.



### **-Armadura complementar**

Deve-se transporta-las através de feixes de barras sempre com os mesmos diâmetros. Para evitar confusões.



### - Escoramento

É uma estrutura provisória que permite as treliças suportarem as cargas durante a fase de montagem e concretagem da laje. É necessário respeitar o máximo espaçamento entre as escoras tabeladas abaixo.

### - Distância entre as linhas de escoras

Abaixo está tabelada as distâncias entre as linhas de escoras para os determinados vãos;

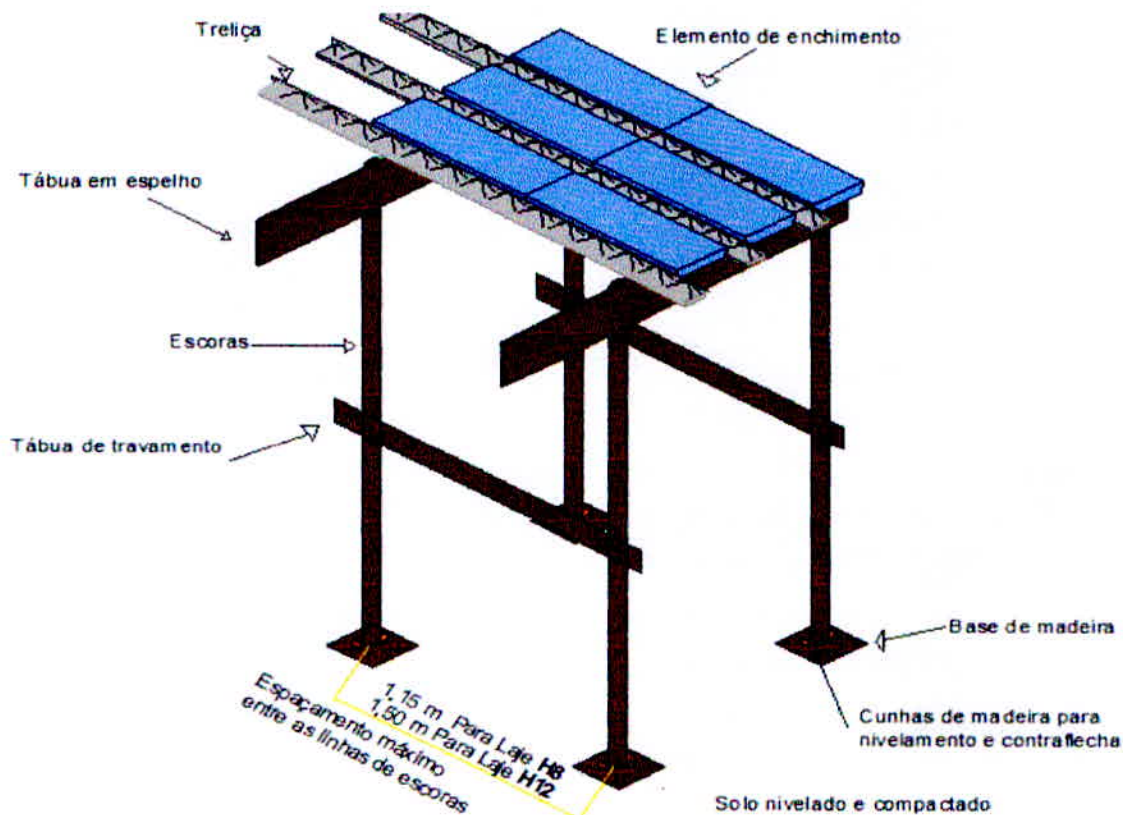
#### Laje treliçada H8 com lajota ou isopor

Vão	Linhas de escoramento
De 0,9m até 1,15m	Nenhuma linha de escora
De 1,15m até 2,30m	Apenas uma linha de escoras
De 2,30m até 3,45m	Duas linhas de escoras
De 3,45m até 3,80m	Três linhas de escoras

\*vigotas H8 não atendem as verificações para vãos maiores que 3,80 metros

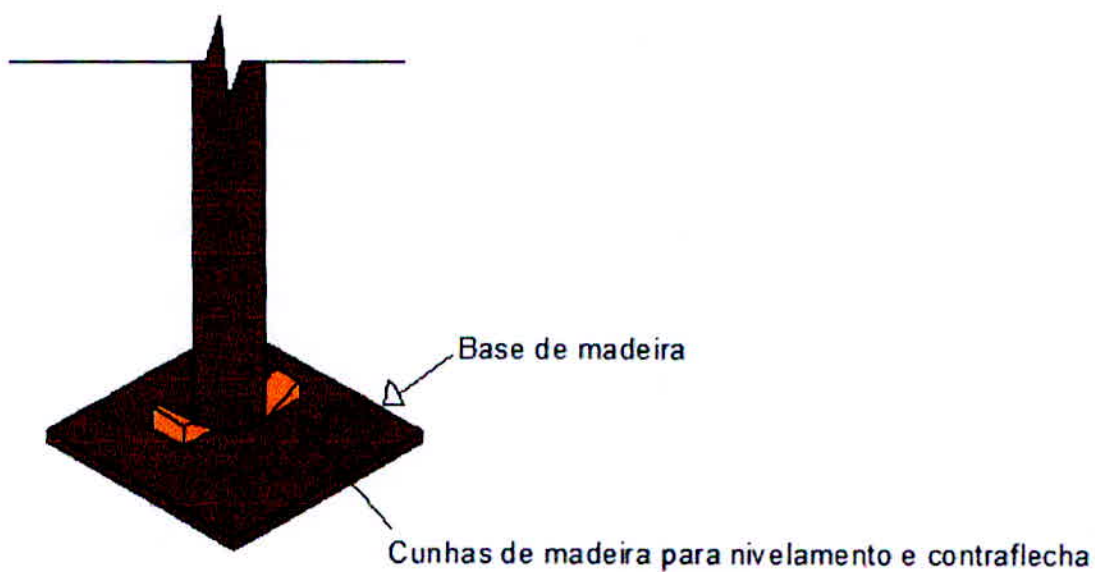
#### Laje treliçada H12 com lajota ou isopor

Vão	Linhas de escoramento
De 0,9m até 1,50m	Nenhuma linha de escora
De 1,50m até 3,00m	Apenas uma linha de escoras
De 3,00m até 4,50m	Duas linhas de escoras
De 4,50m até 5,00m	Três linhas de escoras



## Contraflecha

A contraflecha é aplicada através de cunhas de madeiras colocadas na base das escoras, ela tem a função de levantar o centro da laje, para que a deformação causada pela retirada do escoramento seja menos visível e esteja dentro dos padrões limites.





### Contraflecha em laje treliçada H8 com lajota ou isopor

Vão(m)	Contra flecha(cm)
De 1,50 até 2,50	0
De 2,50 até 3,50	0,5
De 3,50 até 3,80	1

\*Vãos acima de 3,80m necessitam de laje H12

### Contra flecha em laje treliçada H12 com enchimento Cerâmico ou isopor

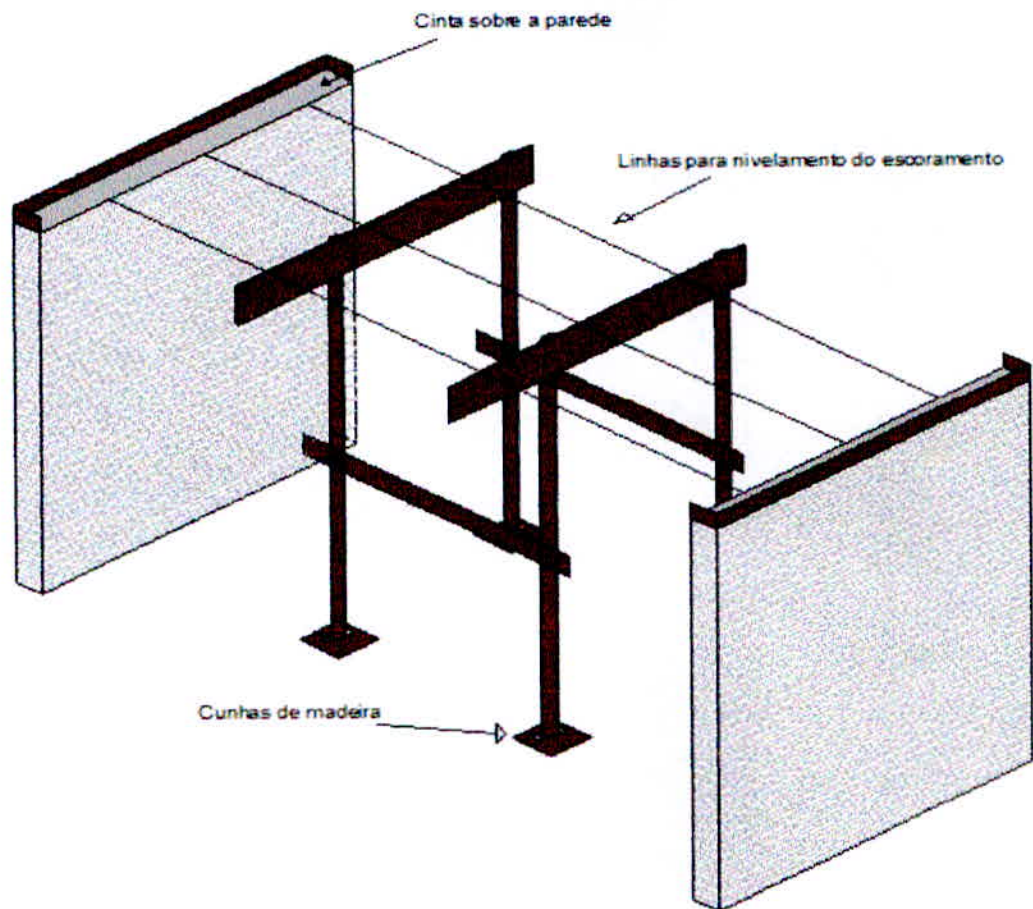
Vão(m)	Contra flecha(cm)
De 1,0 até 3,50	0
De 3,50 até 3,90	0,5
De 3,90 até 4,50	1,0
De 4,50 até 5,00	1,5

\*É recomendado por questões econômicas que a laje H12 seja utilizada para vãos maiores ou iguais a 3,90m.

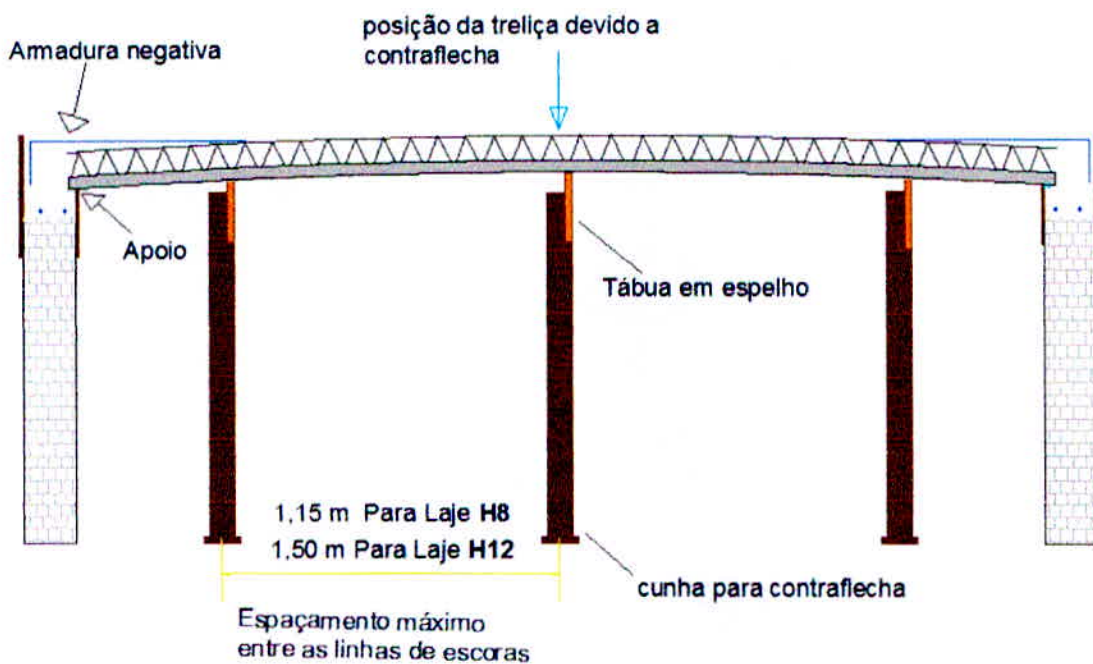
### - Método de escoramento

É recomendado que sejam feitas linhas de escoras com tábuas de 25 a 30 cm de largura, colocadas em espelho, estas devem ser devidamente fixadas em pontaltes travados nas duas direções.

Em escoras apoiadas no solo deve haver um preparo preliminar para que elas não afundem, e isto pode ser feito através da colocação de pedaços de tábuas sob cada escora. Também é necessário que o local onde as escoras forem apoiadas seja compactado, de modo a evitar rebaixamento no momento da montagem e concretagem, essa compactação pode ser feita através de um soquete de mão.



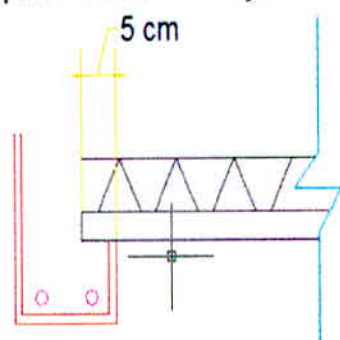
O nivelamento das tabuas de espelho podem ser obtidos através de linhas presas aos respaldos da alvenaria. E para se chegar na altura desejada utiliza-se cunhas de madeiras introduzidas nos pés dos pontaletes ou escoras, estas mesmas cunhas são utilizadas para a execução da contra flecha.



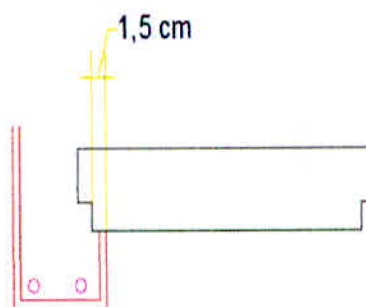
## - Posicionamento e montagem das vigotas e enchimento

O apoio mínimo da treliça sobre as vigas ou parede deve ser de 5 cm e para o material de enchimento quando este estiver montado de forma paralela as vigas o apoio de ser de 1,5cm.

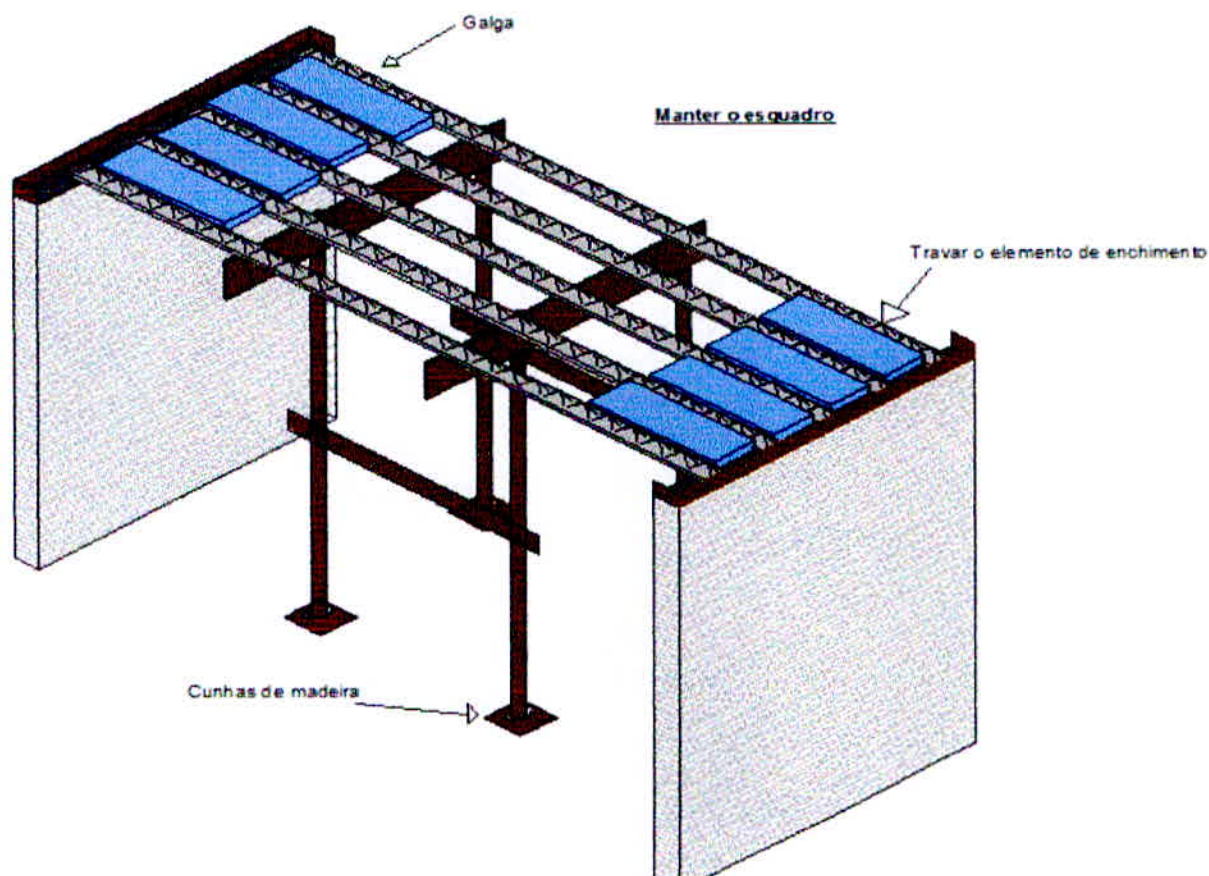
Apoio mínimo da treliça



Apoio mínimo do elemento de enchimento sobre a parede lateral



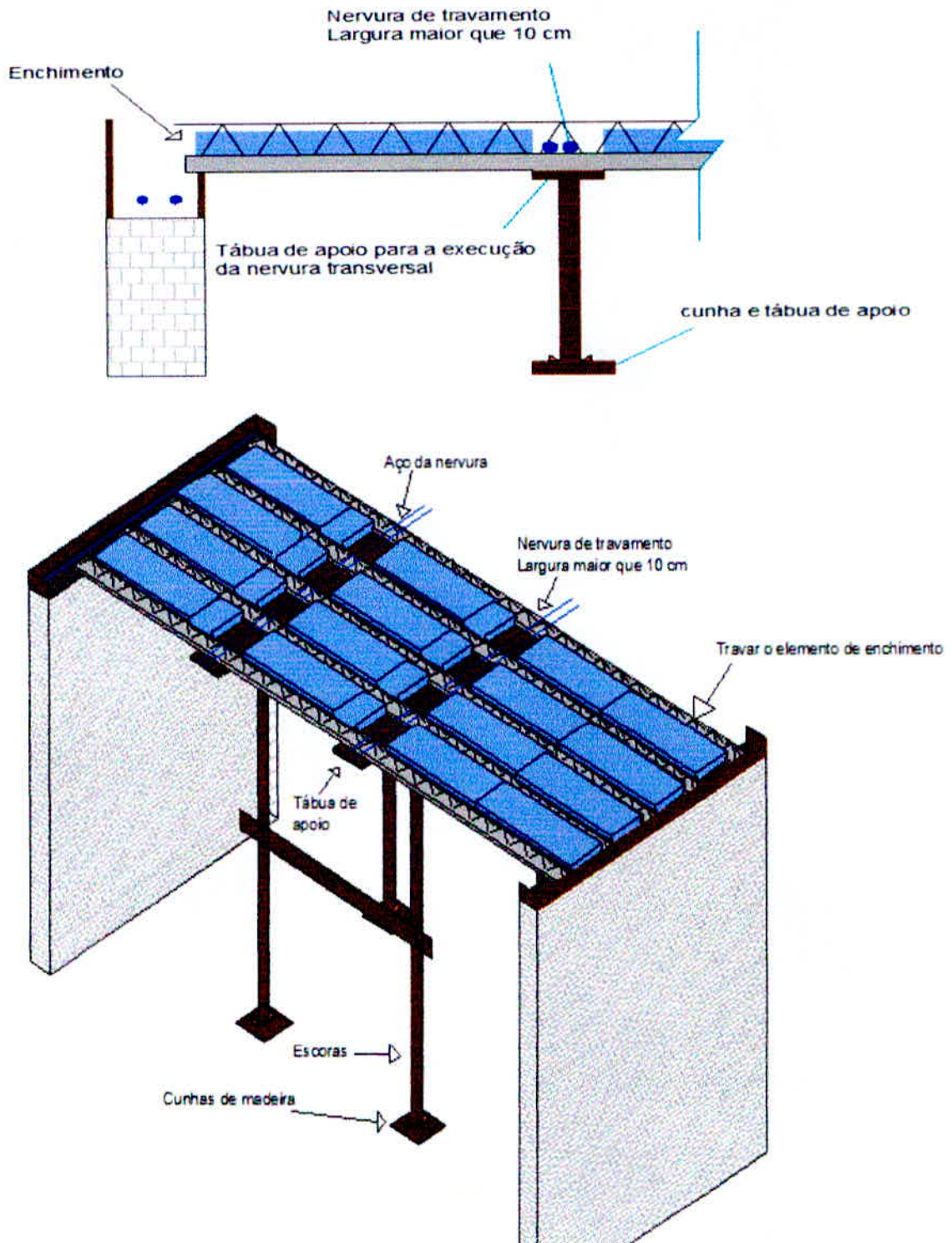
Após feito o escoramento é necessário colocar as treliças nas posições aproximadas em que serão montadas. Logo após deve-se posicionar as duas primeiras fiadas dos elementos de enchimento nas extremidades de cada treliça. Deve-se tomar cuidado com o esquadro e evitar folgas entre os enchimentos.



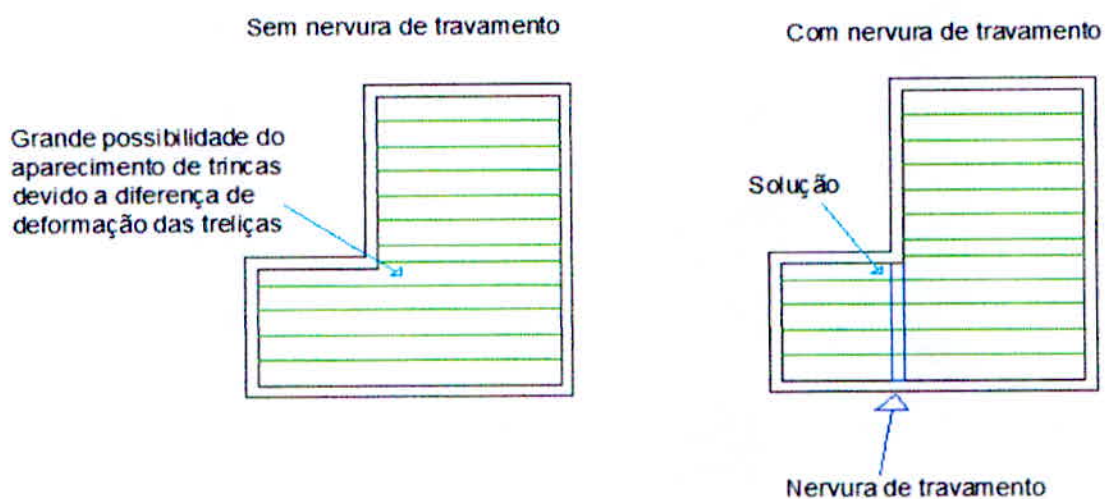
Após a montagem marque os pontos de luz e coloque os condutores e caixas, sempre andando sobre tábuas.

### - Execução de nervuras transversais

Armadura montada no sentido contrário às treliças com a finalidade de ajudar no travamento do meio do vão.



É recomendado que estas nervuras tenham no mínimo 10cm de largura e sejam feitas a cada dois metros ou quando as lajes apresentem geometria variada, como por exemplo em formato de “L”

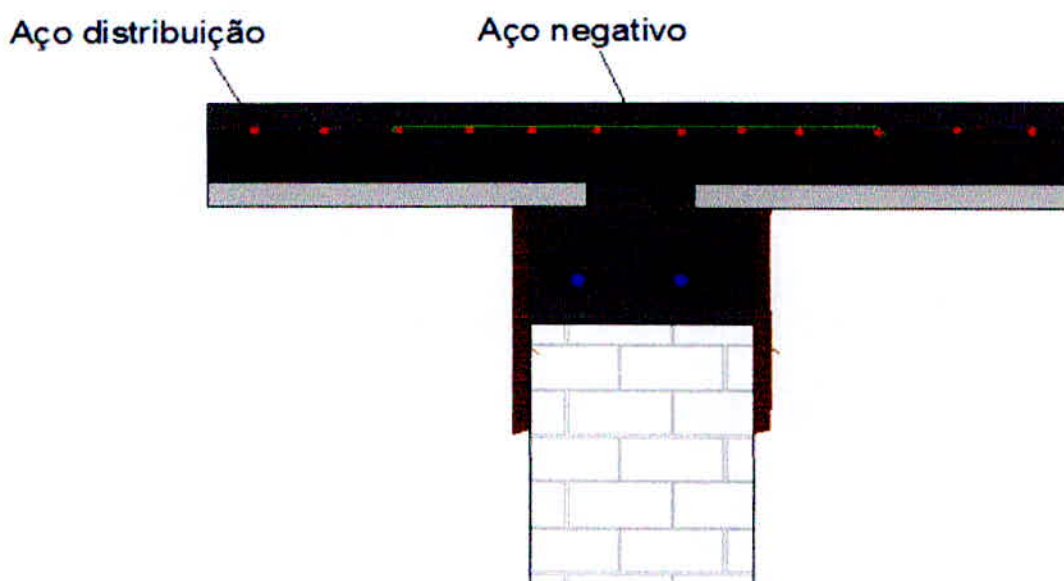


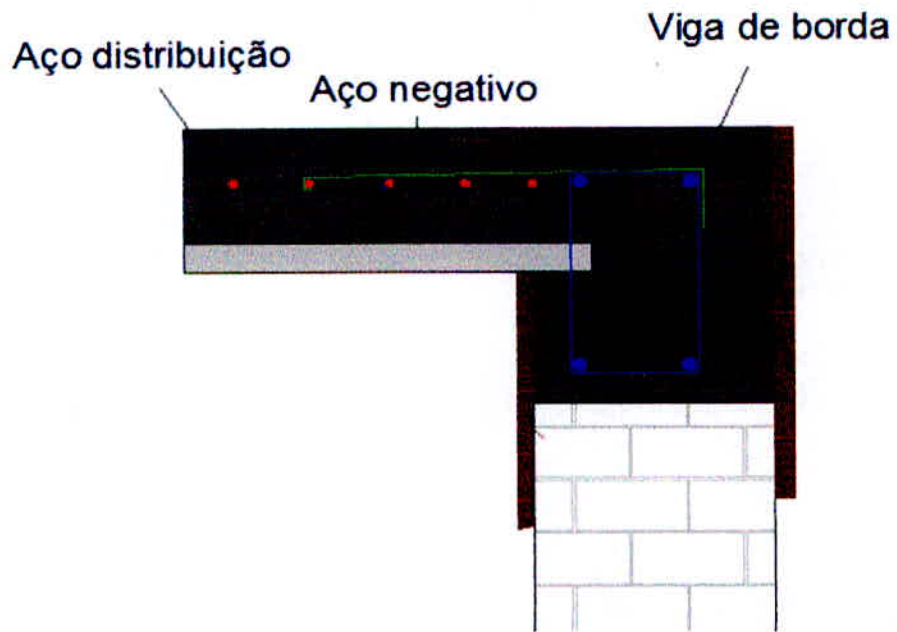
### Posicionamento das armaduras

Cada obra exige uma armadura complementar específica que são aplicadas durante a execução. Elas se dividem em três tipos:

#### - Armadura negativa

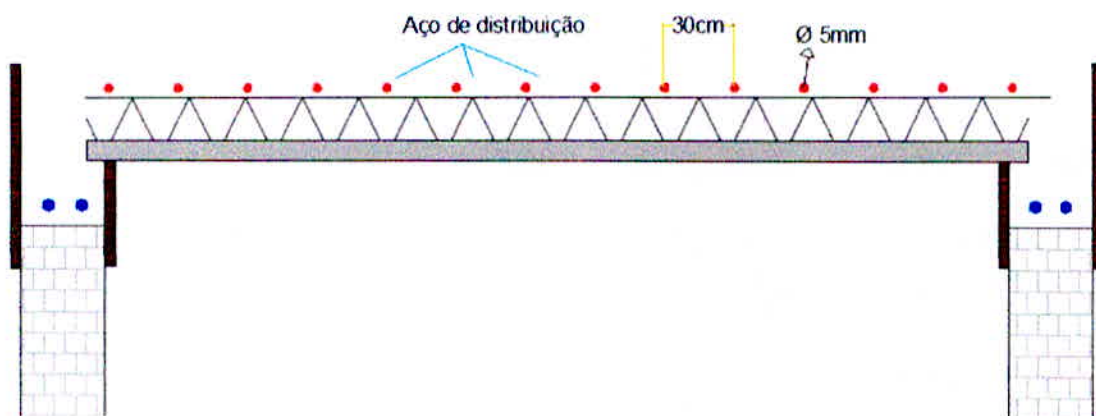
As armaduras negativas devem ser detalhadas na fase de projeto, sempre colocadas junto a base de concreto. Conforme os casos:

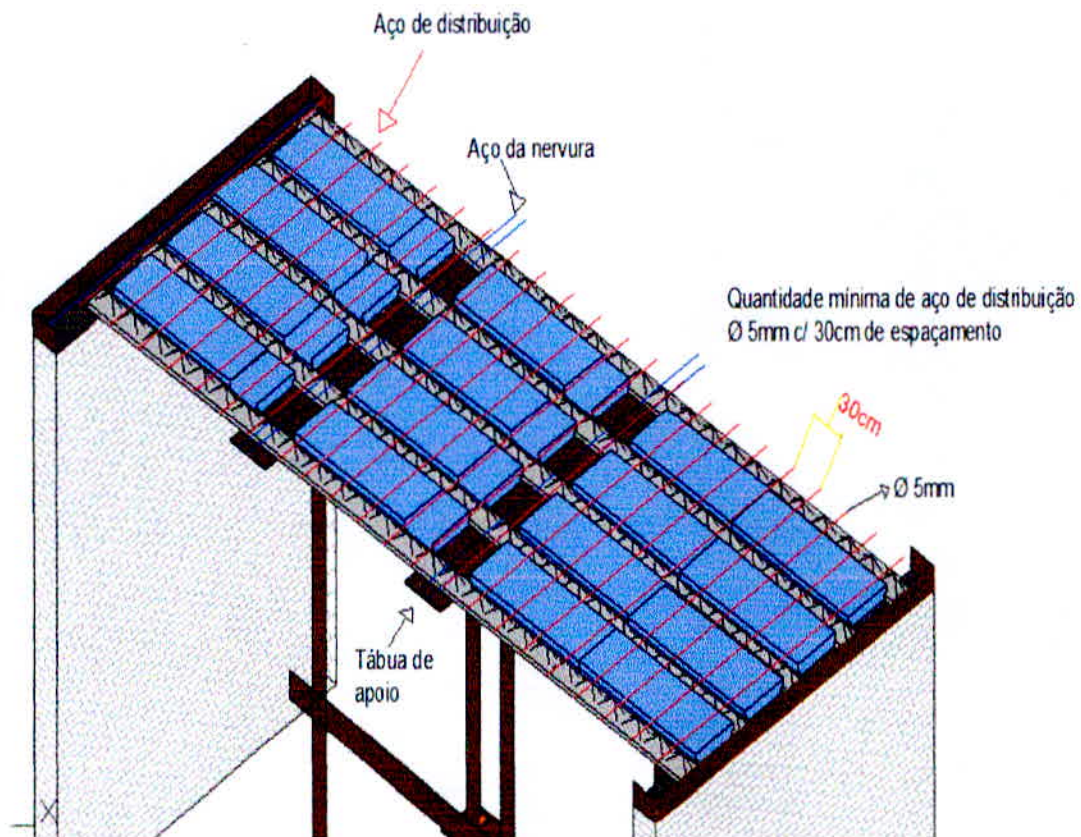




### - Armadura de distribuição

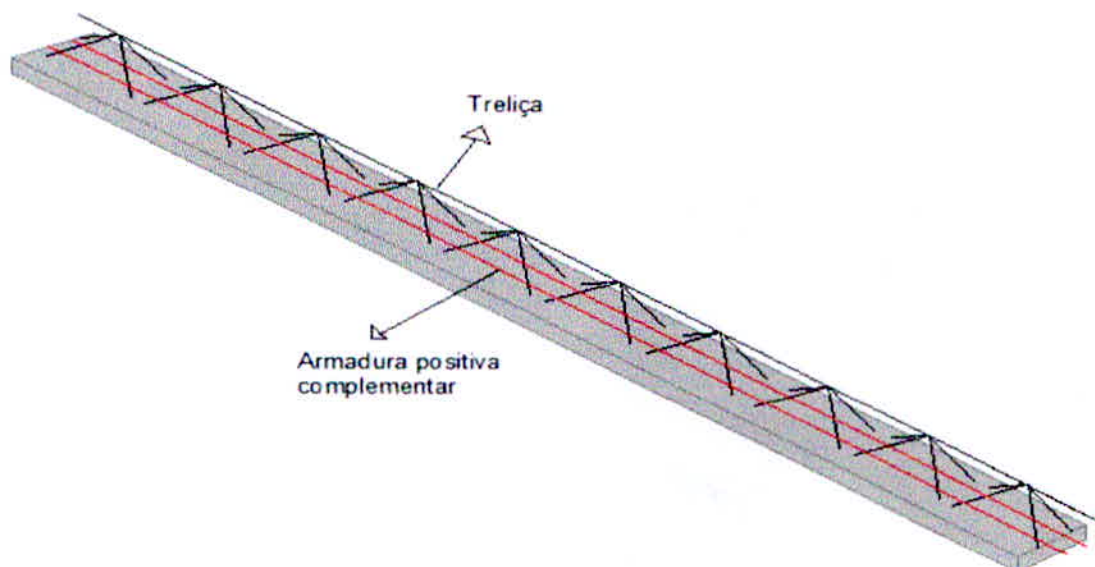
É colocada sobre a treliça com função de distribuir o peso concentrado sobre a laje. A ilustração abaixo mostra o correto posicionamento deste tipo de armadura.

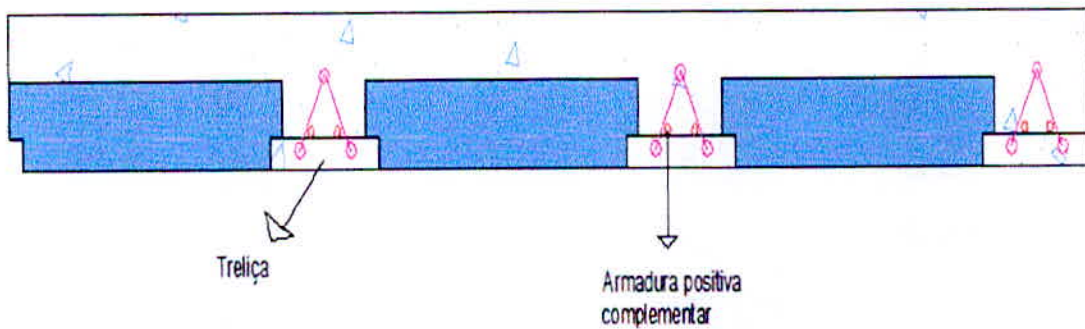




### - Armadura positiva complementar

Essa armadura é colocada sobre a base de concreto de forma a ajudar na resistência a flexão. É recomendado que esta armadura seja colocada durante a fabricação das vigotas.



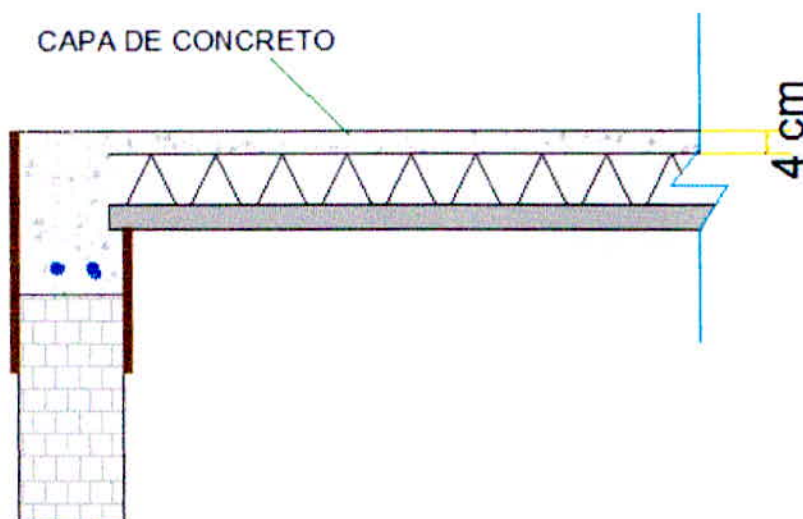


## - Concretagem e adensamento do concreto

Depois da laje montada chega a hora da concretagem da capa, a capa é formada por todo o concreto que está sobre o material de enchimento, sendo recomendado que ela tenha no mínimo 4 cm de espessura e 2cm de espessura sobre tubulações elétricas e hidráulicas.

Para melhores resultados a superfície da laje deve ser molhada evitando que os materiais que compõem a laje absorvam a água do concreto e atrapalhem sua cura.

Deve-se evitar despejar o concreto direto sobre o enchimento, pois isto pode deslocá-lo ou até quebra-lo. Procure despejar o concreto sobre uma placa de madeira e depois esparramá-lo.



A mínima resistência de compressão do concreto para este serviço deve ser de 20 MPa. Um traço em volume recomendado e simples que atinge esse mínimo é de: 1:2:4:2

1 lata de cimento: 2 latas de areia: 4 latas de brita: 2 latas de água

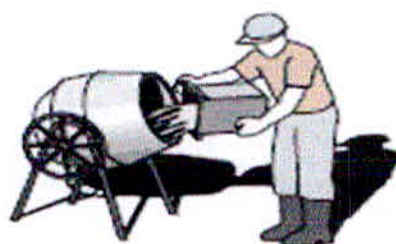


Considerando que as latas possuem o mesmo volume. O rendimento aproximado deste traço por saco de cimento de 50kg é de 168 Litros. No caso da laje treliçada H8 para uma capa de 4cm de espessura são necessários 60 Litros de concreto por metro quadrado, com isso um saco de cimento consegue encher aproximadamente 3m<sup>2</sup>. Já na laje treliçada H12 para uma capa de 4 cm também, são necessários 70 Litros de concreto por metro quadrado gerando um rendimento de 2,5m<sup>2</sup> de laje concretada por saco de cimento.

Abaixo esta exemplificado os métodos mais comuns de fabricação de concreto para este tipo de edificação.



*1. Coloque a pedra na betoneira*



*2. Adicione metade da água e misture por um minuto*



*3. Ponha o cimento*



*4. Por último, ponha a areia e o resto da água*

*5. Deixe a betoneira girar mais 3 minutos antes de usar o concreto*

Concreto misturado em betoneira (manual de concreto ABCP)



1. *Espalhe a areia, formando uma camada de uns 15 cm*



2. *Sobre a areia, coloque o cimento*



3. *Com uma pá ou enxada, mexa a areia e o cimento até formar uma mistura bem uniforme*



4. *Espalhe a mistura, formando uma camada de 15 cm a 20 cm*



5. *Coloque as pedras sobre esta camada, misturando tudo muito bem*



6. *Faça um monte com um buraco (coroa) no meio*



7. *Adicione e misture a água aos poucos, evitando que ela escorra*

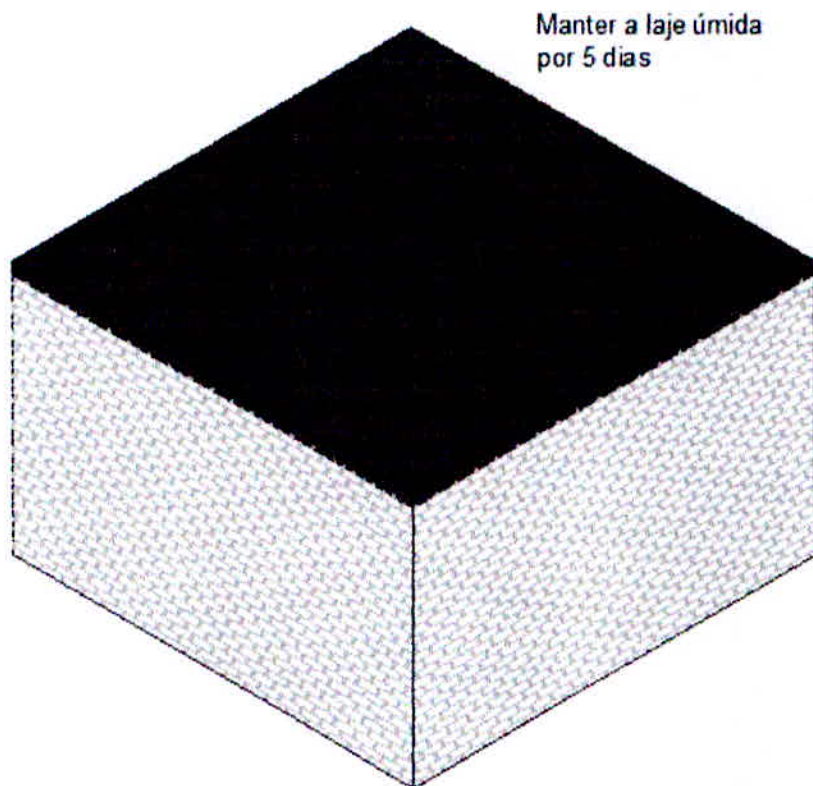
Concreto misturado a mão (manual de concreto ABCP)

Em todos os casos, o transporte do concreto sobre a laje deve ser feito sobre tábuas devidamente apoiadas em pelo menos 3 ou mais vigotas, de forma a não forçar os enchimentos.

### **- Cura do concreto**

Em obras residenciais de pequeno porte é comum manter a superfície da laje molhada para realizar a cura do concreto. Mas é necessário tomar algumas precauções, como:

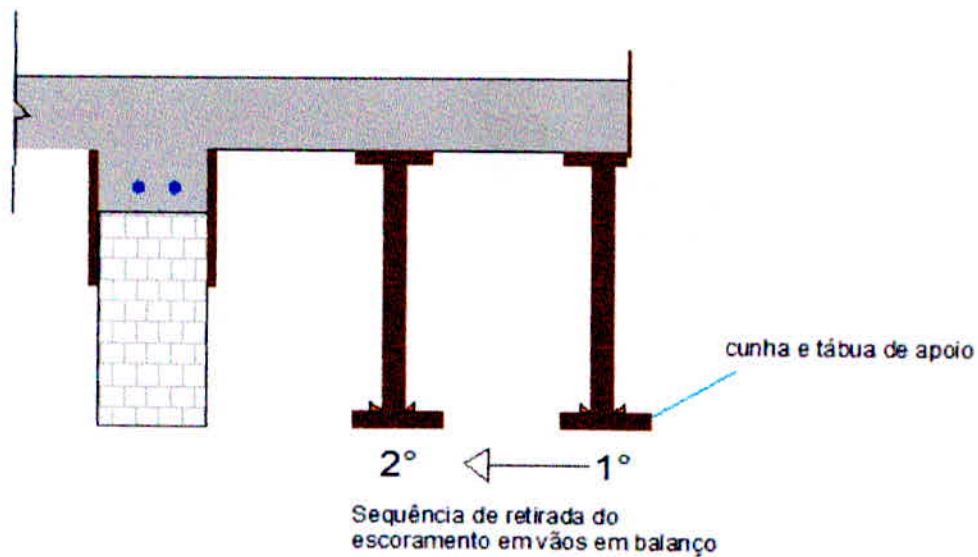
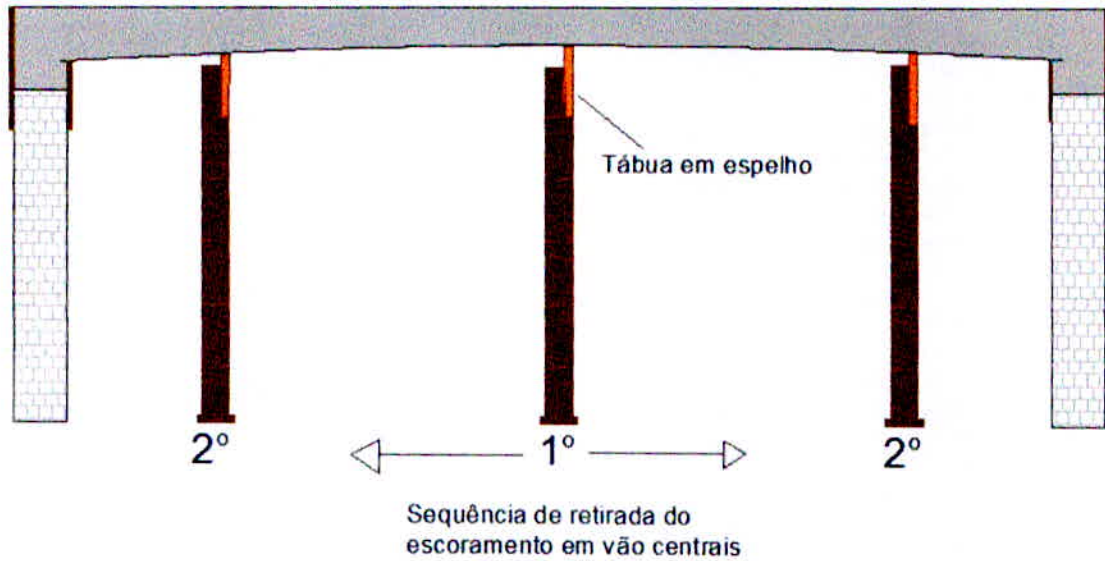
- nos primeiros momentos após a concretagem, apenas umedecer a laje para não retirar (“lavar”) o concreto que esta por cima;
- Manter sempre a superfície da laje molhada, para evitar a retração do concreto e consequentemente a formação de trincas.



O tempo necessário para a cura do concreto depende do clima em que ele está exposta, o traço utilizado e o tipo de cimento utilizado. Para os casos de residências a literatura recomenda uma cura de pelo menos 5 dias.

#### **- Retirada do escoramento**

Nos painéis em que as vigotas pré-moldada trabalham simplesmente apoiadas deve se retirar as escoras do centro para as extremidades das vigotas. Nas lajes em balanço, da extremidade das vigotas para os seus apoios.



A retirada das escoras não deve ser feita antes de completar 21 dias após o término da concretagem. Durante a primeira semana após a retirada das escoras é aconselhável que a carga sobre a laje não ultrapasse 70% da carga prevista em projeto

Todas as ilustrações não referenciadas na cartilha foram desenhadas pelo autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, ABCP, Manual de concreto

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos (NBR 6118:2014). Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). NBR14859:2002-1. Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais . Rio de Janeiro, 2002