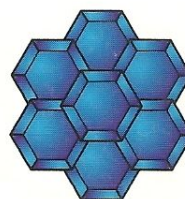


As Lajes Nervuradas na Moderna Construção de Edifícios

Argemiro Brito Monteiro da Franca
Péricles Brasiliense Fusco



ABRAPEX
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DO POLIESTIRENO EXPANDIDO



Apresentação

O mundo em que estamos vivendo passa por mudanças constantes. Nunca o fator qualidade ditou tantas normas como agora. Nunca o custo/benefício foi tão importante como agora. Nunca o consumidor foi tão ouvido e valorizado como agora.

Nós, empresários, temos que ficar atentos frente a essa tendência. Cabe a nós procurarmos alternativas viáveis para que possamos dar nossa contribuição à sociedade e às gerações futuras.

Temos a obrigação de nos voltar à modernidade. E modernidade exige idéias, visão global, investimentos em pesquisa e novas tecnologias e, acima de tudo, exige mudanças.

Nós da Abrapex - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido e da Afala - Associação dos Fabricantes de Lajes de São Paulo estamos atentos a esse panorama. Por essa razão decidimos editar o presente trabalho, um verdadeiro manual técnico, produzido por dois dos maiores especialistas brasileiros em lajes e estruturas.

Como os professores Péricles Brasiliense Fusco e Argemiro Brito Monteiro da Franca mostram nesse trabalho, nunca o binômio EPS e Trelça foi tão perfeito. Os dois produtos representam uma verdadeira revolução no segmento da construção civil. Eles atendem exatamente as exigências de consumidores e autoridades governamentais: uma construção mais digna, mais rápida e sobretudo mais econômica.

Acreditamos que esse material será útil a todos os profissionais engenheiros, arquitetos, projetistas, calculistas, construtores. Temos certeza que estamos dando um importante passo para o futuro da construção civil brasileira.



Natalino C. Ferreira
Presidente da Afala



Peter von Buldring
Presidente da Abrapex

SUMÁRIO

1 GENERALIDADES

- 1.1 Introdução
- 1.2 Funções estruturais das lajes
- 1.3 Modificações ocorridas com as lajes
- 1.4 Lajes pré-fabricadas
- 1.5 Vigotas pré-fabricadas
- 1.6 Arranjos construtivos

2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

- 2.1 Lajes mistas
- 2.2 Lajes nervuradas
- 2.3 Cisalhamento das nervuras
- 2.4 Flexão global das lajes nervuradas
- 2.5 Flexão local da mesa superior
- 2.6 Determinação dos esforços solicitantes

3 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

- 3.1 O poliestireno expandido-E.P.S.
- 3.2 Blocos de E.P.S. para lajes
- 3.3 Armaduras treliçadas
- 3.4 Plaquetas

4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE LAJES PRÉ-FABRICADAS COM E.P.S. E VIGOTAS TRELIÇADAS

- 4.1 Lajes unidirecionais
- 4.2 Lajes bidirecionais
 - 4.2.1 Lajes bidirecionais sem armadura de cisalhamento
 - 4.2.2 Lajes bidirecionais com armadura de cisalhamento
- 4.3 Lajes em painéis
- 4.4 Montagem das lajes
- 4.5 Montagem das armaduras
- 4.6 Concretagem das lajes
- 4.7 Revestimento das lajes
- 4.8 Fabricação dos elementos construtivos das lajes

5 ESTIMATIVAS DE CUSTOS

- 5.1 Hipóteses admitidas
- 5.2 Sistemas construtivos considerados
- 5.3 Levantamento do consumo de materiais
- 5.4 Composição dos custos unitários
- 5.5 Comparação de custos
- 5.6 Análise dos resultados
- 5.7 Observação final

6 TABELAS GERAIS

- 6.1 Armaduras treliçadas
- 6.2 Equivalência de armaduras treliçadas e estribos de 2 ramos

7 TABELAS DO SISTEMA FRANCA-1

- 7.1 Informações e especificações para projeto
- 7.2 Consumo de concreto
- 7.3 Consumo de blocos de E.P.S.
- 7.4 Plaquetas. Consumo de materiais
- 7.5 Vigotas. Consumo de materiais
- 7.6 Informações para projeto do cimbramento

AS LAJES NERVURADAS NA MODERNA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

1 GENERALIDADES

Nos edifícios de vários pisos, as lajes respondem por elevada parcela do consumo de concreto. No caso de lajes maciças, esta parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total da estrutura. Por esta razão e pelo fato das lajes possuírem muito baixo fator de eficiência, torna-se oportuno o estudo aprofundado dos critérios de escolha dos tipos de laje a serem empregados nos edifícios de vários pisos, tendo em vista a obtenção de soluções técnica e economicamente otimizadas.

No projeto das estruturas, a concepção das lajes deve respeitar as peculiaridades da construção a ser realizada, considerando simultaneamente os meios técnicos disponíveis para que a concepção adotada possa ser materializada de modo racional.

O presente manual versa sobre as lajes nervuradas na moderna construção de edifícios, tendo em vista o emprego de armaduras treliçadas e de blocos de E.P.S. (Poliestireno Expandido).

As lajes nervuradas constituíram-se em uma evolução natural da laje maciça, resultante da eliminação da maior parte do concreto abaixo da linha neutra, o que permite o aumento econômico da espessura total das lajes pela criação de vazios em um padrão rítmico de arranjo. Forma-se assim um sistema estrutural altamente eficiente, constituído por um conjunto de nervuras dispostas em uma ou duas direções, com espaçamentos regulares entre si.

As lajes nervuradas foram idealizadas para se ter um alívio do peso próprio da estrutura e um aproveitamento mais eficiente do aço e do concreto.

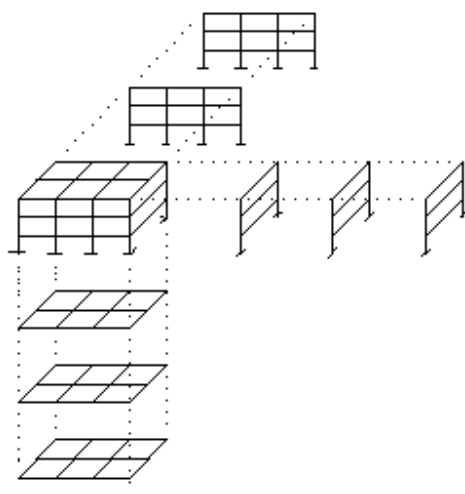
Embora estas vantagens fossem reconhecidas já há bastante tempo, o meio técnico sempre apresentou resistência a seu emprego, principalmente em relação às lajes nervuradas bidirecionais, em virtude do alto consumo das fôrmas necessárias à sua execução.

Hoje, porém, este panorama está totalmente modificado. O desenvolvimento tecnológico que levou à criação de novos materiais, como as armaduras treliçadas e os blocos leves de E.P.S., tornou o emprego das lajes nervuradas uma solução espontânea para a concepção das estruturas dos edifícios de múltiplos pisos, em virtude das qualidades técnicas e econômicas que estas lajes apresentam.

1.2 Funções estruturais das lajes

A correta concepção das estruturas das edificações depende de um claro entendimento do funcionamento de cada um de seus elementos componentes. Para isto, é indispensável considerar o caráter tridimensional das construções.

A compreensão do funcionamento global das estruturas dos edifícios fica facilitada se elas forem idealmente decompostas em três famílias de elementos estruturais planos, como mostrado na **figura 1.2-a**.



Elementos constitutivos da estrutura dos edifícios

Figura 1.2-a

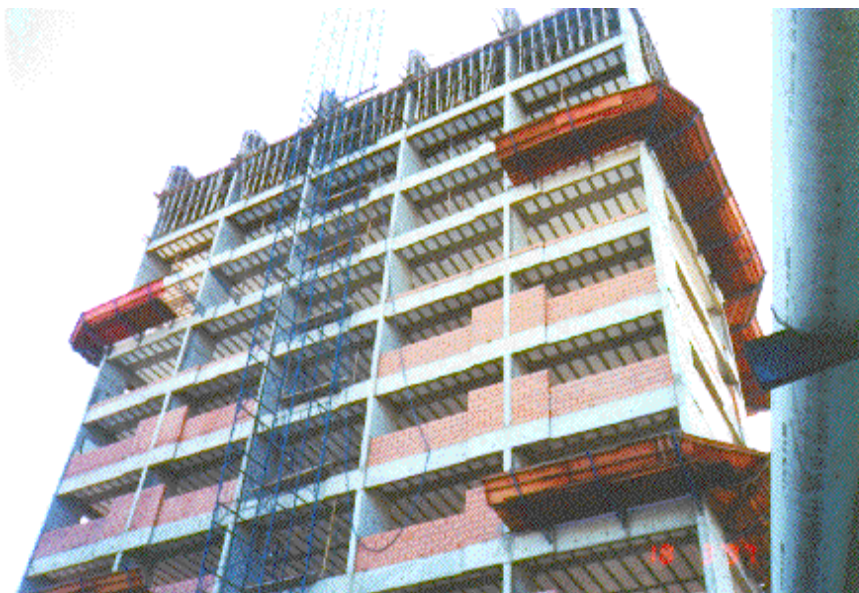
Duas destas famílias são formadas por elementos estruturais planos verticais, situados segundo dois planos ortogonais entre si. A terceira família é formada pelos elementos horizontais compostos pelas peças dos diferentes pisos da construção. Usualmente estes elementos horizontais são formados lajes e vigas.

Nas estruturas de pequeno porte, os elementos estruturais verticais são constituídos pelas próprias paredes de alvenaria, sobre as quais se apoiam diretamente as lajes e as vigas.

Nos edifícios altos, estes elementos estruturais planos verticais são formados por pórticos constituídos pelos pilares e vigas dos diferentes andares, como mostrado no exemplo da **figura 1.2-b**¹.

¹ Edifício com 18 andares construído em Sorocaba-SP. Arq. Ricardo Bandeira
Projeto: Eng. Eraldo Riva Campelo Fabricação: LAJES IMPERIAL

Neste edifício, os pisos são constituídos por lajes nervuradas pré-fabricadas, construídas com vigotas treliçadas e blocos leves de poliestireno expandido-EPS.

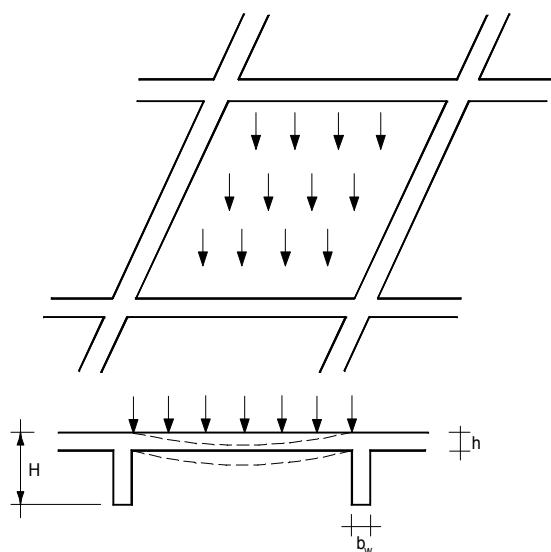


Elementos estruturais principais de um edifício alto cujas lajes foram construídas com vigotas treliçadas e blocos leves de poliestireno expandido-EPS

Figura 1.2-b

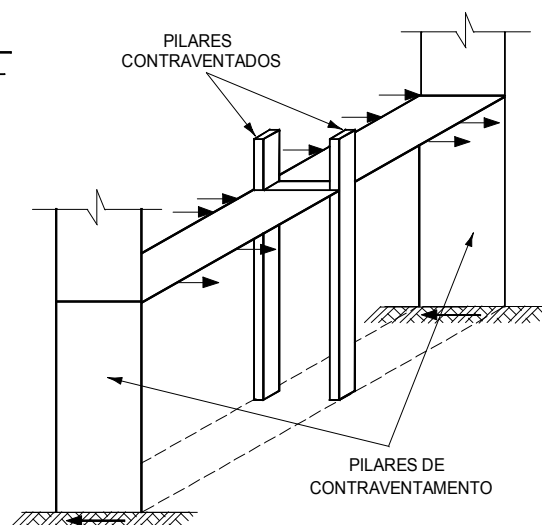
De modo geral, as lajes têm uma dupla função estrutural.

Elas funcionam como placas, ao suportarem as cargas verticais aplicadas ao longo dos pisos, **figura 1.2-c**, e como chapas, ao se constituírem em diafragmas rígidos horizontais que distribuem pelos diferentes pilares da estrutura as forças horizontais atuantes, **figura 1.2-d**.



Comportamento de placa

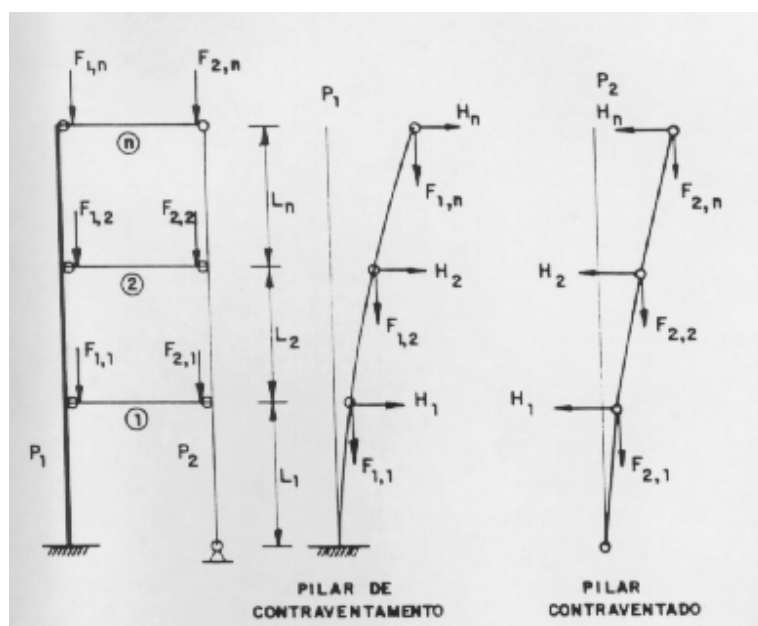
Figura 1.2-c



Comportamento de chapa

Figura 1.2-d

Nos edifícios altos, a existência deste comportamento de chapa é essencial para a garantia do contraventamento da estrutura.



Esforços horizontais de contraventamento dos edifícios altos

Figura 1.2-e

As lajes são os principais responsáveis pela transmissão dos esforços horizontais que permitem aos pilares contraventados se apoiarem nos pilares de contraventamento, garantindo assim a estabilidade global da estrutura. Como se mostra na **figura 1.2-e**, são estas forças horizontais de contraventamento que devem ser transmitidas pelas lajes e vigas dos diferentes pisos dos edifícios altos.

Se por qualquer motivo este comportamento de chapa tiver sua eficiência diminuída, ou mesmo anulada, a segurança da construção em relação a um possível colapso global ficará seriamente comprometida, pela impossibilidade de serem resistidos os esforços horizontais de contraventamento.

1.3 Modificações ocorridas com as lajes

Como peças estruturais de concreto, as lajes necessitam de armaduras que absorvam as tensões de tração decorrentes dos esforços nelas atuantes.

Nas lajes, as tensões de tração decorrem tanto dos esforços de flexão e de cisalhamento, devidos a seu comportamento de placa, quanto das forças atuantes em seu próprio plano médio, em virtude de seu comportamento de chapa.

Embora sempre haja essas três fontes de tensões de tração, momentos fletores, forças cortantes e forças axiais, em geral o arranjo das armaduras das lajes é essencialmente organizado em função dos esforços de flexão, admitindo-se, muitas vezes indevidamente, que com este arranjo os outros esforços de tração também fiquem devidamente equilibrados.

Esta idéia tem levado a práticas nem sempre corretas. No entanto, existem razões para que isto tenha ocorrido.

A idéia simplista de que no dimensionamento das lajes bastaria considerar os esforços de flexão, ignorando-se os esforços axiais e os de cisalhamento, foi razoável até há algumas décadas atrás, enquanto o arranjo geral das estruturas dos edifícios permitia tal consideração.

Esta idéia era aceitável enquanto se empregavam lajes maciças de vãos não muito grandes, submetidas apenas a cargas distribuídas, estando as alvenarias apoiadas diretamente sobre vigas.

Nessas estruturas, os esforços de cisalhamento nas lajes eram sempre muito pequenos, e as alvenarias formavam diafragmas verticais de grande rigidez, que garantiam a resistência às forças horizontais aplicadas às construções e asseguravam a sua

estabilidade global, sem que as lajes fossem obrigadas a transportar essas forças horizontais a grandes distâncias.

A partir da década de 70, as alterações arquitetônicas ocorridas no arranjo geral das edificações modificou esse panorama de emprego das lajes.

Os diafragmas de alvenaria que garantiam a estabilidade global das construções foram desaparecendo e as estruturas de concreto armado foram ficando por conta própria, passando a depender, cada vez mais, do comportamento de chapa das lajes para o equilíbrio dos esforços horizontais atuantes nas construções.

Uma demonstração clara das mudanças então ocorridas é oferecida pela alteração do tratamento dado pela NBR-6118 à consideração da ação do vento no projeto das estruturas de edifícios.

Até a NB-1/78, a ação do vento podia ser desprezada em uma dada direção, se a altura da construção fosse inferior a 5 vezes sua largura, e se, além disto, nela houvesse mais de 3 filas de pilares.

A interpretação desta prescrição regulamentar é simples.

Para que a ação do vento em uma direção pudesse ser desprezada, nela, a estrutura deveria possuir pelo menos 4 diafragmas de alvenaria, e estes diafragmas deveriam ter rigidez adequada na direção considerada, sendo necessário para isso que os diafragmas tivessem, nessa direção, um comprimento de pelo menos $1/5$ da altura do edifício.

Uma medida da importância dessas mudanças é dada pela postura da nova NBR-6118, pela qual a consideração da ação do vento passou a ser obrigatória em qualquer circunstância.

As estruturas de concreto armado não mais contam com diafragmas rígidos de alvenaria que as ajudem a resistir à ação do vento e a garantir a estabilidade global da construção.

As estruturas de concreto armado devem ser agora auto estáveis, sendo portanto essencial que as lajes possam garantir a integridade tridimensional das estruturas, diante dos esforços do vento e dos efeitos de segunda ordem decorrentes da deformabilidade por flexão dos pilares. Para isto, a eficácia do comportamento de chapa é essencial.

De maneira análoga, a partir da década de 70, os vãos das lajes começaram a ser aumentados e muitas alvenarias passaram a ser apoiadas diretamente sobre elas.

Com o passar do tempo, as lajes passaram a ser construídas com vãos muito grandes, as alvenarias maciças foram desaparecendo, com predomínio do tijolo furado, as divisórias leves ganharam espaço, os caixilhos de grandes dimensões passaram a ser moda, substituindo-se muitas vezes as alvenarias pelo vidro.

Além disto, as lajes nervuradas mostraram suas vantagens, as alvenarias divisórias passaram a ser apoiadas diretamente sobre elas, e as técnicas de pré-fabricação ganharam espaço na execução das estruturas.

Atualmente, essas condições são bastante freqüentes, como se mostra na **figura 1.3-a**, em um dos pisos do edifício apresentado na **figura 1.2-b**, construídos com lajes nervuradas formadas por vigotas treliçadas pré-fabricadas e blocos leves de poliestireno expandido-EPS, com até 14 metros de vão.



Tendência atual para o emprego de lajes de grandes vãos suportando diretamente as alvenarias

Figura 1.3-a

1.4 Lajes pré-fabricadas

As lajes nervuradas pré-fabricadas constituem-se em um avanço tecnológico em relação às lajes nervuradas moldadas no local.

A adoção de métodos de construção com o emprego de elementos pré-fabricados foi o caminho espontâneo que a Engenharia Civil encontrou para o barateamento das edificações.

A execução de estruturas de concreto armado moldadas no local foi inicialmente o paradigma da Construção Civil, enquanto a madeira para a fabricação de fôrmas e escoramentos era abundante e tinha preço reduzido, enquanto o custo da mão-de-obra era relativamente baixo, e enquanto a velocidade de construção era compatível com o trabalho artesanal então realizado.

A devastação de nossas florestas de pinho e de peroba, os aumentos dos encargos da mão-de-obra e a explosão demográfica passaram a exigir construções mais baratas, mais rápidas e com menor desperdício de materiais.

A construção com elementos pré-fabricados foi a solução espontânea para se encontrar uma nova maneira de construir e, dentro dela, as lajes nervuradas construídas com vigotas pré-fabricadas passaram a ser um recurso indispensável à moderna técnica de construção de edifícios.

As idéias básicas que levaram às lajes nervuradas são bem simples.

Da experiência de dimensionamento das lajes maciças de concreto armado, sabia-se que as tensões de compressão nas lajes eram em geral muito baixas e que as seções resistentes de concreto armado solicitadas à flexão estavam, em boa parte, submetidas a tensões de tração, resistidas pelas armaduras, sem qualquer colaboração da maior parte do concreto tracionado.

A eliminação desse concreto tracionado, mantendo-se o concreto comprimido do outro lado da seção transversal foi a primeira idéia.

No lugar do concreto tracionado a ser eliminado eram colocados materiais inertes de enchimento.

Todavia, essa eliminação não poderia ser total.

Em princípio, deveria subsistir uma parte do concreto tracionado, com a finalidade de alojar a armadura de tração e realizar a ligação dessa armadura com a zona de concreto comprimido, mantido na forma de uma capa superior da laje, formando-se assim a seção transversal resistente à flexão.

Estava desse modo definido o arranjo básico das lajes nervuradas.

Nervuras isoladas, que alojam a armadura de tração, ligadas em sua parte superior por uma delgada capa de concreto armada em duas direções, para resistir aos esforços devidos à flexão localizada que nela atua e para controlar a eventual fissuração devida à retração do concreto.

Desse modo, como também há a necessidade de se garantir a resistência da laje nervurada aos esforços de cisalhamento, as nervuras devem ter espessura adequada e o espaço livre entre nervuras deve ser limitado. No entanto, como as tensões de cisalhamento nas lajes são em geral muito baixas, a seção transversal das nervuras, mesmo sendo de pequena espessura, na maior parte dos casos é capaz de sozinha suportar a força cortante do trecho de laje correspondente ao espaçamento empregado entre nervuras.

A essência da idéia da laje nervurada consiste no emprego de materiais leves de enchimento no que seria a maior parte da zona tracionada das lajes maciças fletidas.

1.5 Vigotas pré-fabricadas

Na construção de lajes nervuradas são empregados elementos pré-fabricados na forma de vigotas capazes de suportar seu peso próprio e as cargas de construção, vencendo os vãos delimitados pelas linhas de apoio do cimbramento, como mostrado na fotografia da **figura 1.5-a**.



Laje nervurada construída com vigotas pré-fabricadas treliçadas e blocos leves de poliestireno expandido-EPS

Figura 1.5-a

Presentemente, no mercado brasileiro, estão disponíveis os três tipos de vigotas mostradas na **figura 1.5-b**, a saber:

- 1) vigotas de concreto armado comum, não protendido, com seção transversal com a forma aproximada de um T invertido, com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto;
- 2) vigotas de concreto protendido, com seção transversal com a forma aproximada de um T invertido, com armadura de protensão pré-tracionada e totalmente envolvida pelo concreto;

3) vigotas treliçadas, formadas por uma armadura treliçada de aço e por uma placa de concreto envolvendo as barras da treliça que irão compor a armadura da face tracionada da laje.

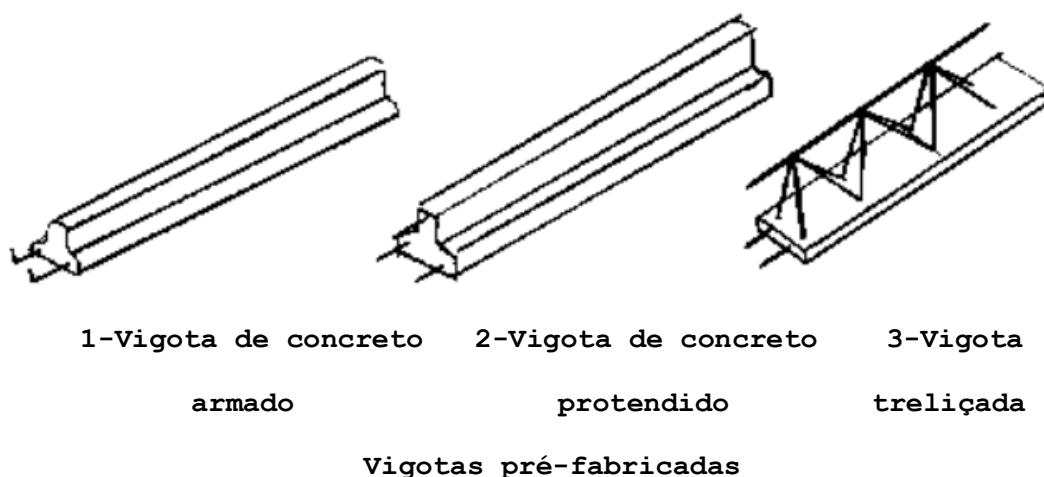


Figura 1.5-b

1.6 Arranjos construtivos das lajes pré-fabricadas

A laje nervurada pré-fabricada, que passou a ser chamada simplesmente de laje pré-fabricada, é a laje nervurada construída com o emprego de elementos pré-fabricados. Ela é formada por nervuras principais resistentes, por elementos leves de enchimento, colocados entre as nervuras, e por uma capa superior de concreto que juntamente com as nervuras vai formar a seção da laje resistente à flexão.

A laje nervurada pré-fabricada goza simultaneamente das vantagens da laje nervurada e da construção pré-moldada.

As lajes pré-fabricadas podem ter nervuras principais resistentes em uma ou em duas direções, sendo por isso classificadas como lajes unidirecionais ou bidirecionais, respectivamente.

A laje pré-fabricada unidirecional possui nervuras principais dispostas em uma única direção, sendo formada por vigotas pré-fabricadas, complementadas por concreto moldado no local, o qual,

junto com as vigotas, vai formar as nervuras principais da laje, na direção das próprias vigotas.

As lajes unidirecionais que estão submetidas a cargas concentradas devem possuir nervuras secundárias transversais perpendiculares às nervuras principais. O mesmo se exige para as lajes cujo vão teórico é superior a 4 metros, exigindo-se duas nervuras no mínimo se esse vão superar 6 metros.

É importante observar que nas lajes construídas com vigotas pré-fabricadas de concreto armado ou de concreto protendido não se admite que possam ser executadas nervuras secundárias transversais às vigotas, pela dificuldade em colocar a armadura de nervuras transversais atravessando a alma das vigotas das nervuras principais. As nervuras transversais às vigotas somente podem ser executadas racionalmente quando se empregam vigotas treliçadas.

Todavia, a experiência tem mostrado que um aumento da espessura da capa superior da laje pode compensar, até certo ponto, a eventual falta de uma nervura transversal. Isto permite que, em construções residenciais correntes, as lajes submetidas apenas a cargas distribuídas possam ser construídas com vigotas de concreto armado ou de concreto protendido com vãos maiores que 4 metros, ficando esta decisão sob a responsabilidade do projetista e do construtor da estrutura.

A laje pré-fabricada bidirecional usualmente possui nervuras resistentes em duas direções ortogonais entre si.

Ela é construída com vigotas pré-fabricadas treliçadas, dispostas na direção do menor vão, e por nervuras transversais moldadas no local, com espaçamentos que devem respeitar as mesmas exigências feitas para os espaçamentos das nervuras formadas com as vigotas.

2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

2.1 Lajes mistas

A busca de soluções construtivas mais econômicas que a de lajes maciças sempre foi preocupação dos construtores.

Enquanto as lajes eram construídas com vãos relativamente pequenos e sujeitas apenas a cargas distribuídas, o emprego de lajes maciças não trazia maiores problemas.

À medida que os vãos cresceram e as alvenarias foram sendo apoiadas diretamente sobre as lajes, o emprego de lajes maciças foi levando a espessuras anti-econômicas.

A solução espontânea para esta dificuldade foi o emprego de lajes com nervuras.

A concepção estrutural das lajes com nervuras decorre da idéia de que uma parte significativa do concreto da zona tracionada por flexão pode ser simplesmente eliminada, ou então substituída por materiais leves que permitam tornar plana a face inferior das lajes.

Uma das primeiras tentativas feitas no mercado brasileiro, hoje já considerada como abandonada, consistiu no emprego das chamadas lajes mistas, nas quais os elementos leves participavam da resistência da laje, e que eram regulamentadas pela antiga NBR 6119 (NB-4).

Hoje em dia o emprego desta solução somente pode ter alguma justificativa em situações muito particulares em que seja razoável contar-se com a resistência de blocos de enchimento pré-fabricados, dispostos entre nervuras de concreto, na composição das seções transversais resistentes à flexão. De modo geral, esta solução não é mais aceita em construções urbanas.

As incertezas do efetivo comportamento estrutural de arranjos construtivos desta natureza levaram ao descrédito de tal solução, servindo a sua análise tão somente para o entendimento dos caminhos percorridos pela evolução dos sistemas construtivos empregados nas lajes.

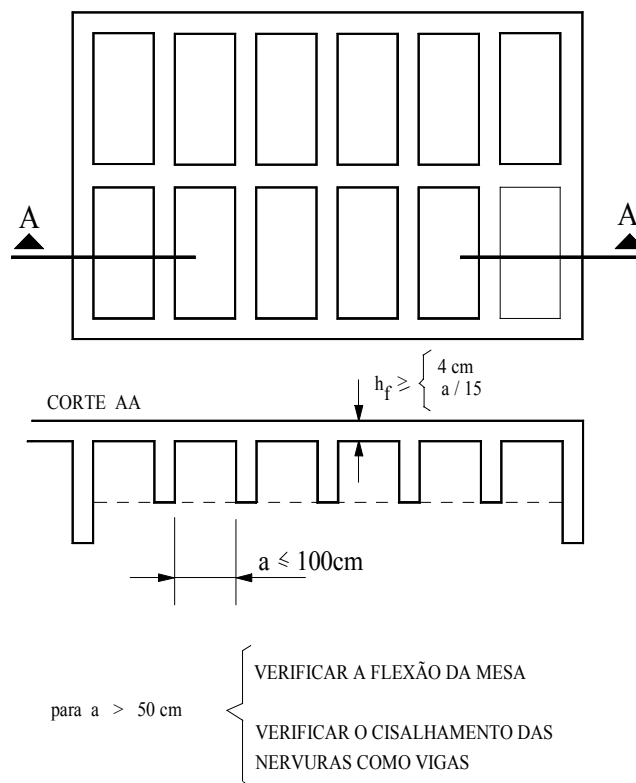
A insegurança das lajes mistas decorria do fato de que sua resistência dependia de incertezas de execução. Nada garantia a eficiência da exigência feita pela norma citada, de que " a justaposição dos elementos intermediários na direção das nervuras deve ser assegurada com o preenchimento adequado das juntas com

argamassa de cimento e areia no traço 1:3, de modo que possam transmitir eficientemente os esforços de compressão". Na concepção das lajes mistas, os elementos leves intermediários, formados por blocos que hoje são entendidos como de simples enchimento, constituíam-se em elementos resistentes, também responsáveis pela segurança da estrutura.

2.2 Lajes nervuradas

As lajes nervuradas foram a evolução natural da idéia inicial que levou à concepção das lajes mistas.

Lajes nervuradas são as que têm sua resistência à tração concentrada apenas nas nervuras, entre as quais eventualmente podem ser colocados materiais não estruturais, de modo a tornar plana a superfície inferior da peça, **figura 2.2-a**.



Laje nervurada

Figura 2.2-a

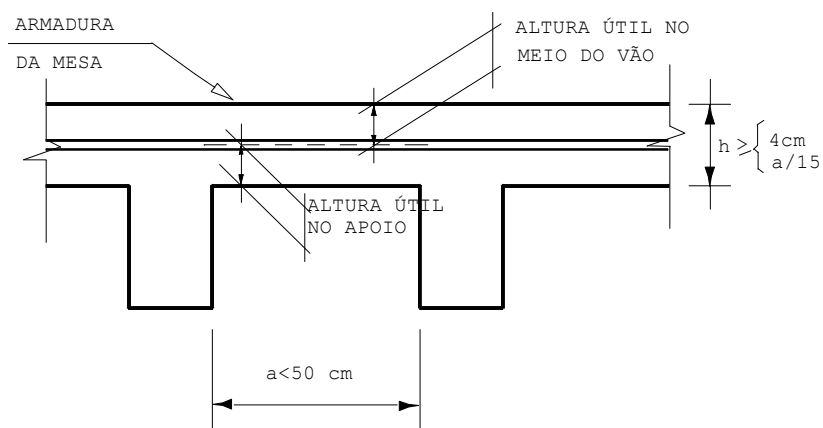
As lajes nervuradas, dentro de certas limitações, podem ser tratadas como elementos estruturais singulares de concreto armado, nos quais os elementos intermediários de enchimento têm a única função de substituir parte do concreto da zona tracionada da laje. Os elementos intermediários não colaboram com a resistência da laje.

Embora as lajes nervuradas sejam de fato sistemas estruturais complexos, elas podem ser calculadas como se fossem elementos singulares, dando-lhes o mesmo tratamento que para as lajes maciças, desde que se observem as seguintes restrições impostas pela NBR 6118:

- a) para a armadura de flexão ser calculada como em lajes maciças, a distância livre entre nervuras não deve ultrapassar 100 cm e, para se evitar a armadura de cisalhamento das nervuras, essa distância não deve superar 50 cm;
- b) a espessura das nervuras não deve ser inferior a 4 cm;
- c) a espessura da mesa não deve ser inferior a 4 cm nem a $1/15$ da distância livre entre nervuras;
- d) não é permitido o emprego de armaduras de compressão do lado oposto à mesa;

Além disto, devem ser respeitadas as seguintes precauções:

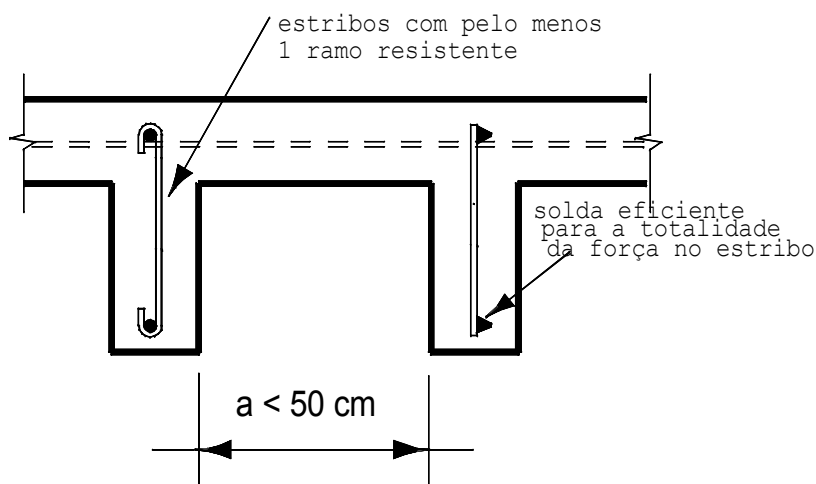
- e) a resistência da mesa a flexão deverá ser verificada como laje apoiada nas bordas, sempre que a distância livre entre nervuras superar 50 cm ou houver carga concentrada no painel entre nervuras, **figura 2.2-b**;



Arranjo da armadura colocada à meia espessura da mesa

Figura 2.2-b

f) a resistência das nervuras a cisalhamento deverá ser verificada como em vigas isoladas, se a distância livre entre elas for superior a 50 cm. Neste caso, as nervuras precisam obrigatoriamente ser armadas com estribos, como indicado na **figura 2.2-c**, ou deve ser empregada uma armadura em treliça, como se mostra na **figura 1.5-b do Capítulo 1**, com altura adequada, que será posteriormente analisada.



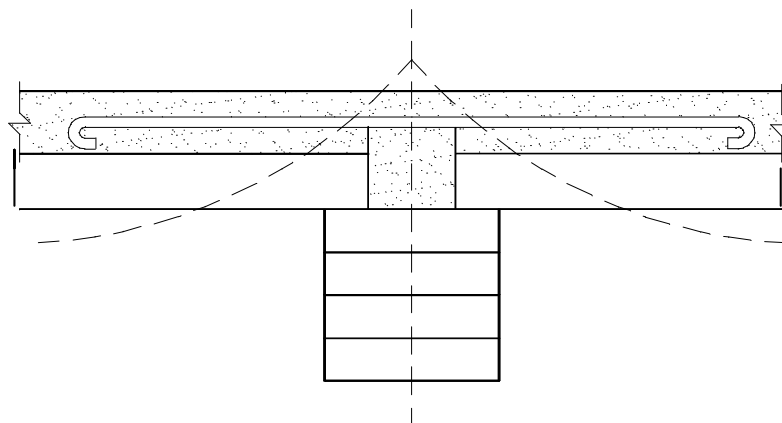
Armaduras de cisalhamento das nervuras

Figura 2.2-c

g) nas lajes armadas em uma só direção, são necessárias nervuras transversais sempre que haja cargas concentradas a distribuir ou quando o vão teórico for superior a 4 metros, exigindo-se duas nervuras no mínimo se esse vão ultrapassar 6 metros.

De modo geral, quando a distância entre nervuras superar 50 cm, será preferível tratar as nervuras como vigas, respeitando-se a largura mínima e as armaduras mínimas exigidas para a alma das vigas.

Atenção especial deve ser dada às lajes nervuradas contínuas. Nos apoios intermediários, a seção resistente é formada apenas pelas nervuras da laje, as quais aí funcionam como vigas de seção retangular, pois neste caso a mesa está na zona tracionada, **figura 2.2-d**. Neste caso, o apoio da laje deve ser feito ao longo de uma nervura transversal.



Laje nervurada contínua

Figura 2.2-d

No caso de lajes nervuradas, a armadura em treliça permite a obtenção de grandes vãos e também da sustentação de cargas elevadas pois, com este tipo de armadura, cada nervura pode ficar armada a cisalhamento, pelo emprego de alturas de treliça adequadas à espessura das lajes.

Observe-se que a montagem das armaduras de nervuras transversais pode ser feita facilmente pelo emprego de barras isoladas que cruzam as treliças das nervuras principais.

2.3 Cisalhamento das nervuras

As regras estipuladas pela NB-1 para a verificação da resistência ao cisalhamento das nervuras de uma laje nervurada dispensam a colocação de estribos desde que a distância livre entre elas não supere 50 cm.

Esta regra foi concebida à época da NB-1/40 , quando as alvenarias não eram apoiadas sobre as lajes.

Admitindo-se, em termos médios, que as lajes tenham uma espessura total média de 10 cm, ou seja, um peso próprio da ordem de $2,5 \text{ kN/m}^2$ (250 kgf/m^2), um revestimento de 2 cm, ou seja, um peso da ordem de $0,5 \text{ kN/m}^2$ (50 kgf/m^2), e uma carga acidental de 2 kN/m^2 (200 kgf/m^2), existe na laje uma carga uniformemente distribuída total de cerca de 5 kN/m^2 (500 kgf/m^2) que, para espaçamentos entre nervuras da ordem de 0,5 metro, corresponde a uma carga linear aplicada em cada nervura de cerca de $2,5 \text{ kN/m}$ (250 kgf/m).

Imaginando lajes com 4 metros de vão teórico, a força cortante máxima atuante em cada nervura, em condições de serviço, será da ordem de 5 kN (500 kgf). Admitindo-se então nervuras com pelo menos 4 cm de largura e 12 cm de altura útil, para tensões de cisalhamento da ordem de $1 \text{ MPa} = 0,1 \text{ kN/cm}^2$ (10 kgf/cm^2), a força cortante admissível também será da ordem de 5 kN (500 kgf), justificando-se assim o que recomenda a NB-1.

Para lajes com maiores vãos, a NB-1 exige a presença de nervuras transversais, o que atenua os eventuais esforços em nervuras solicitadas mais intensamente que suas vizinhas. Por esta razão, o presente raciocínio foi feito com lajes de 4 metros de vão.

Deste modo, quando a NB-1 estabeleceu como critério de dispensa das armaduras de cisalhamento nas nervuras que o espaço livre entre elas não superasse 50 centímetros, evidentemente não se cogitava de apoiar as alvenarias diretamente sobre as lajes.

Presentemente, quando se empregam lajes de grandes vãos, que suportam diretamente paredes de alvenaria, a simples restrição de que o espaço livre entre nervuras não supere 50 cm evidentemente não é suficiente para dispensar a armadura de cisalhamento.

De fato, imaginando paredes de meio tijolo furado, com espessura total acabada da ordem de 15 cm, pesando cerca de $1,8 \text{ kN/m}^2$ (180 kgf/m^2) , com cerca de 2,7 metros de pé-direito, apoiadas diretamente sobre nervuras de 4 metros de vão, existirão cargas lineares da ordem de 5 kN/m (500 kgf/m) e, portanto, nessas nervuras atuarão forças cortantes da ordem de pelo menos 10

kN (1000 kgf), isto é, o dobro do imaginado pela NB-1 para a dispensa das armaduras de cisalhamento das nervuras.

Conclui-se desta forma que o problema do cisalhamento das nervuras das lajes nervuradas que suportam alvenarias diretamente apoiadas sobre elas precisa agora de tratamento diferente do que era dado há tempos atrás.

Nos casos em que a NB-1 não dispensa a verificação do cisalhamento nas lajes nervuradas, para efeito de projeto o cisalhamento das nervuras deve ser tratado como na alma das vigas. As tensões atuantes de cálculo τ_{wd} são determinadas considerando-se a parcela de força cortante correspondente a cada nervura, devendo ser limitadas aos mesmos valores das tensões últimas resistentes τ_{wu} válidos para as vigas.

De maneira análoga, as armaduras de cisalhamento necessária para as nervuras são calculadas como no caso das vigas.

É oportuno salientar que as armaduras em treliça introduzem nas nervuras uma armadura de cisalhamento inclinada, cujo ângulo de inclinação em relação ao eixo longitudinal da nervura é estabelecido pelo tipo de treliça empregada. Para que esta armadura em treliça possa ser considerada como uma armadura resistente ao cisalhamento, é indispensável que ela faça a ligação do banzo tracionado com o banzo comprimido da nervura, o que exige que barra de aço do banzo superior da treliça fique alojada dentro da mesa de compressão, a pelo menos 1 cm acima do nível da face inferior dessa mesa superior da laje.

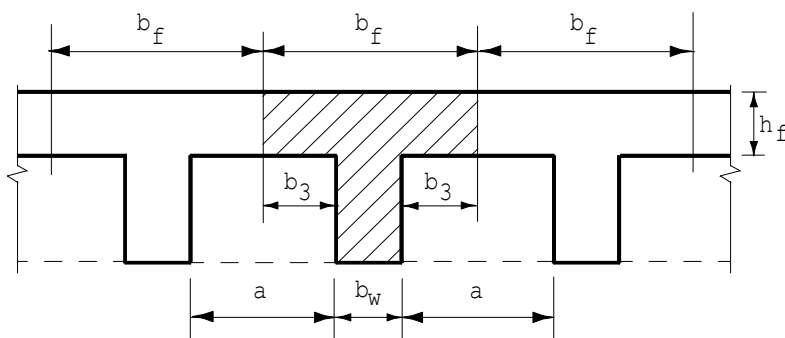
2.4 Flexão global das lajes nervuradas

De acordo com a NB-1, o cálculo de flexão das lajes nervuradas somente pode ser feito como se elas fossem lajes maciças quando a distância livre entre nervuras não ultrapassa 100 cm.

Além disto, também se exige que a espessura da mesa não seja inferior a 4 cm, nem a 1/15 da distância livre entre nervuras, bem como que a resistência à flexão local da mesa seja verificada quando a distância livre entre nervuras superar 50 cm ou quando houver carga concentrada no painel entre nervuras.

A condição de que a espessura da mesa não seja inferior a 4 cm é uma exigência construtiva, que procura garantir a exeqüibilidade de sua concretagem adequada e o eventual alojamento de tubulações empregadas no sistema de distribuição de energia elétrica.

Para que a laje nervurada possa ser dimensionada à flexão como se fosse uma laje maciça é necessário que a zona comprimida da seção transversal da laje nervurada seja tão resistente quanto seria se ela fosse realmente maciça. Para isto, **figura 2.4-a**, as abas colaborantes de comprimento b_3 , devem garantir que a largura total b_f da mesa de compressão de cada nervura tenha um comprimento total igual ao espaçamento entre nervuras.



Largura da mesa de compressão

Figura 2.4-a

Deste modo, ainda de acordo com a NB-1, segundo a regra de que a parte da laje que pode ser considerada como elemento de uma viga T, de cada lado da nervura, não deve superar 6 vezes a espessura da mesa, tem-se para cada nervura a mesa colaborante $b_f = b_w + 12 h_f$, ou seja, para os valores mínimos $b_w = 4$ cm e $h_f = 4$ cm, resulta $b_f \cong 50$ cm.

Nestas condições, mesmo para as espessuras mínimas, se o espaçamento livre entre nervuras não superar 50 cm, a largura da seção resistente à compressão na flexão da laje nervurada será igual à largura total da laje.

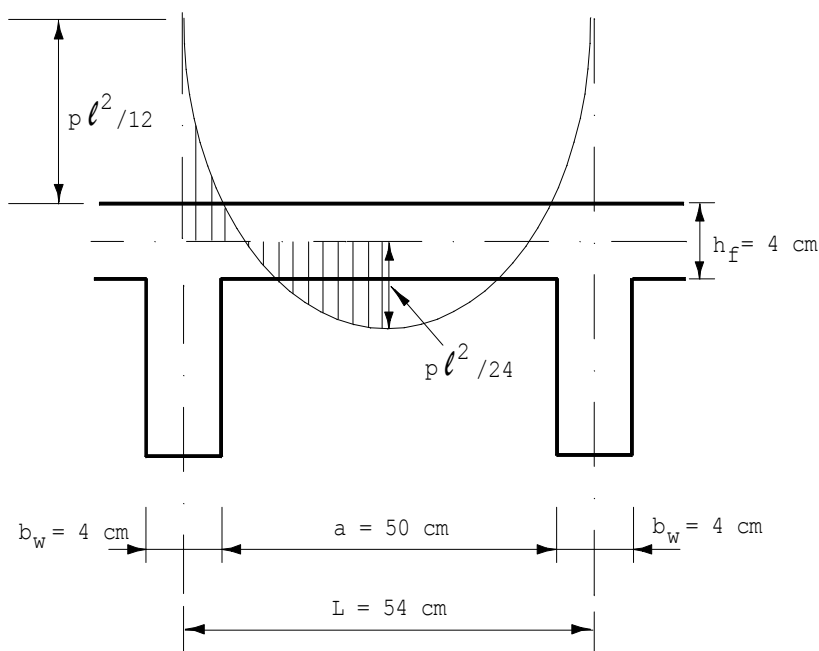
Mesmo quando o espaçamento entre nervuras aumenta acima de 50 cm, a validade do cálculo de flexão da laje nervurada como se fosse laje maciça fica ainda assegurada pela manutenção da colaboração total da mesa de compressão das nervuras, em virtude da condição exigida de ser $h_f \geq a/15$, pois desse modo resulta

$$b_f = b_w + 12 \cdot h_f = b_w + \frac{12}{15} a \cong a$$

Flexão local da mesa superior

De acordo com a NB-1, dispensa-se a verificação da resistência à flexão da mesa superior da laje nervurada sempre que a distância livre entre nervuras não superar 50 cm e não houver carga concentrada no painel entre nervuras.

Admitindo-se que para a flexão local os painéis da mesa possam ser considerados como lajes contínuas, armadas perpendicularmente à direção das nervuras, **figura 2.5-a**, o momento fletor máximo atuante na seção de apoio do painel pode ser estimado com o valor $M_{\max} = p\ell^2/12$, onde p é a carga distribuída por unidade de área.



Flexão local da mesa superior da laje nervurada

Figura 2.5-a

Para uma espessura $h_f=4\text{cm}$, tem-se o peso próprio de 1 kN/m^2 (100 kgf/m^2). Admitindo um revestimento de $0,5 \text{ kN/m}^2$ (50 kgf/m^2) e uma carga acidental de 2 kN/m^2 (200 kgf/m^2), obtém-se a carga total de $p = 3,5 \text{ kN/m}^2$ (350 kgf/m^2), resultando para a faixa de 1 metro de largura o momento máximo

$$M_{\max} = 3,5 \text{ kN/m} \cdot (0,5 \text{ m})^2 / 12 = 0,073 \text{ kN.m} = 7,3 \text{ kN.cm}$$

A tensão máxima de tração na seção do apoio vale

$$\sigma_{\max} = M_{\max} / W$$

onde, para a faixa de 1 metro de largura, tem-se

$$W = b(h_f)^2 / 6 = 100 (\text{cm}) \cdot (4 \text{ cm})^2 / 6 = 266,6 (\text{cm})^3$$

resultando então

$$\sigma_{\max} = 7,3 / 266,6 (\text{kN/cm}^2) = 73 / 266,6 \text{ MPa} \cong 0,3 \text{ MPa} = 3 \text{ kgf/cm}^2$$

Conclui-se, portanto, que a dispensa de verificação da flexão local da mesa das lajes nervuradas, dentro das condições especificadas pela NB-1, é devida ao fato de que, mesmo trabalhando como placa contínua de concreto simples resistindo em uma única direção, a máxima tensão atuante de tração não chega sequer a 3 kgf/cm² (0,3 Mpa).

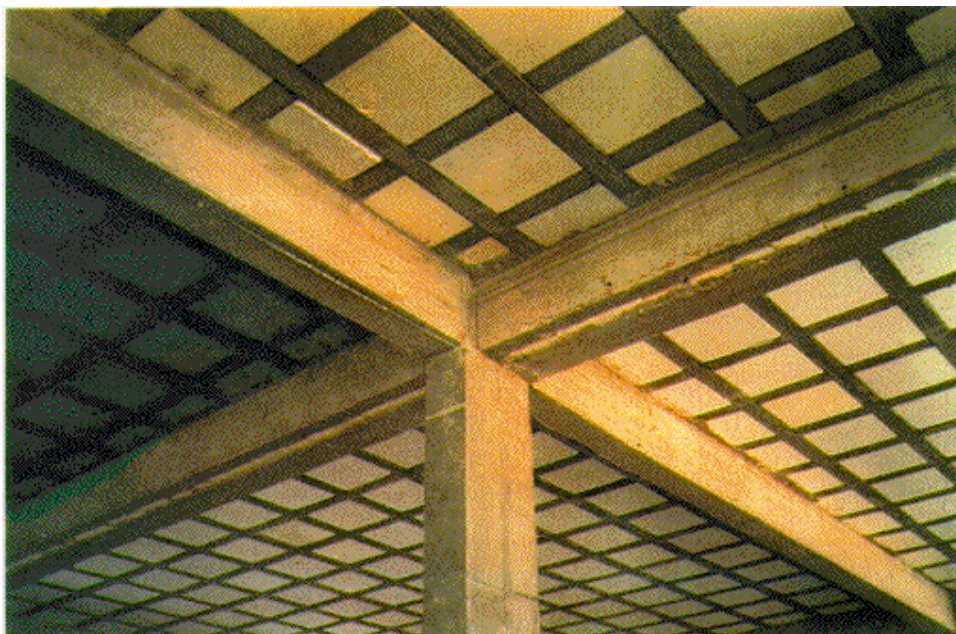
Além disto, mesmo admitindo que laje funcione como placa armada, cuja armadura esta colocada à meia espessura, resistindo tanto a momentos nos apoios quanto no meio do vão, com braços de alavanca de praticamente 2 cm, a quantidade necessária de aço não seria maior que as mínimas armaduras construtivas que por outros motivos são obrigatoriamente empregadas.

2.6 Determinação dos esforços solicitantes

No projeto de lajes nervuradas, o emprego de vigotas pré-fabricadas não altera os procedimentos de determinação dos esforços solicitantes em relação aos que são empregados quando se empregam nervuras moldadas no local.

Nas lajes nervuradas simplesmente apoiadas ou contínuas, desde que o afastamento livre entre nervuras respeite o limite de 100 cm estabelecido para que seja válida a concepção de laje nervurada, seus esforços solicitantes podem ser calculados como se de fato o elemento estrutural fosse uma laje maciça.

Se ambos os afastamentos, das nervuras longitudinais e das nervuras transversais, respeitarem o limite de 100 cm, como se mostra no exemplo de emprego de vigotas treliçadas e blocos leves de EPS da **figura 2.6-a**, a laje nervurada poderá ser calculada como uma laje maciça armada em duas direções.



Laje contínua bidirecional

Figura 2.6-a

Se apenas o afastamento das nervuras longitudinais respeitar o limite de 100 cm, como se mostra no exemplo de emprego de vigotas treliçadas e blocos leves de EPS da **figura 2.6-b**, a laje nervurada deverá ser calculada como uma laje maciça armada em uma única direção.



Laje contínua unidirecional construída com vigotas treliçadas e blocos leves de EPS

Figura 2.6-b

Se ambos os afastamentos superarem o limite de 100 cm, a estrutura não poderá ser calculada como uma laje, devendo ser considerada como uma grelha ou como um conjunto de vigas isoladas.

Quando em uma direção for respeitado o afastamento entre nervuras de 100 cm, em cada nervura deve ser disposta a armadura correspondente a uma faixa de laje de largura igual ao intereixo das nervuras.

É importante salientar que nos apoios em que atuam momentos fletores negativos, isto é, momentos fletores que produzem tração na face superior da laje, cada nervura se comporta como uma viga de seção retangular, pois nesse caso a mesa da seção está do lado tracionado da laje fletida.

No cálculo dos esforços solicitantes das lajes nervuradas devem ser respeitadas as seguintes condições:

- 1- As lajes nervuradas de pequenas dimensões em planta, apoiadas sobre vigas suficientemente rígidas e submetidas a cargas uniformemente distribuídas podem ser consideradas como placas contínuas sobre apoios indeslocáveis, sendo seus esforços

solicitantes calculados em regime elástico a partir de tabelas de esforços em lajes maciças disponíveis na literatura técnica. Nestas lajes nervuradas permite-se admitir que os momentos negativos sobre os apoios sofram uma redistribuição de no máximo 15% em relação aos valores teoricamente calculados, sem que haja risco de ocorrer uma excessiva fissuração.

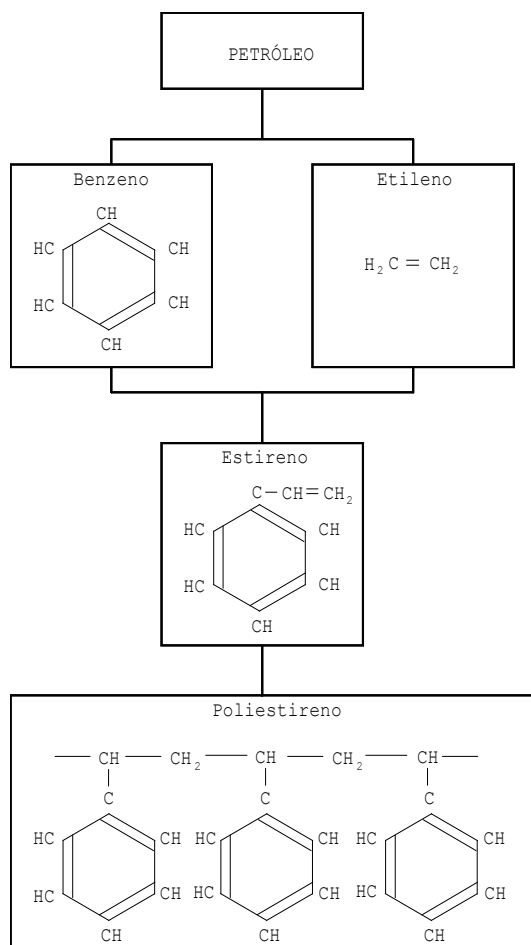
- 2- As lajes nervuradas de grandes dimensões em planta e as que são submetidas a significativas cargas concentradas ou distribuídas em linha devem ter seus esforços solicitantes determinados por processos que considerem de modo adequado as posições das cargas aplicadas, a localização e a rigidez das diferentes nervuras, bem como as verdadeiras condições de apoio das lajes, levando em conta as posições dos pilares e a deformabilidade das vigas de sustentação. Para este cálculo, existem programas computacionais que permitem o cálculo de estruturas de grande porte, como o programa SAP-2000 para a determinação de esforços solicitantes estáticos e dinâmicos em estruturas complexas, e os programas CYPE-CAD e o TQS para a determinação dos esforços solicitantes e simultâneo dimensionamento das peças das estruturas de concreto armado.

3 ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

3.1 O poliestireno expandido - E.P.S.

O poliestireno expandido, usualmente chamado de EPS², é uma matéria plástica derivada do petróleo, normalizada pela Norma Brasileira NBR 11752, constituindo-se em uma espuma termoplástica, classificada como um material rígido tenaz.

As fases de produção do E.P.S. estão indicadas na **figura 3.1-a**.



Fases da produção do E.P.S.

Figura 3.1-a

No estado compacto, o poliestireno é um material rígido, incolor e transparente.

² De acordo com a norma ISO-1043/78, a sigla E.P.S. identifica o **Expanded Poly-Styrene** - (Poliestireno expandido)

Para a obtenção do poliestireno expandido, na fase de polimerização, que é a última transformação indicada na **figura 3.1-a**, adiciona-se um elemento expansivo, usualmente o pentano, que é um hidrocarboneto que entra em ebulição à temperatura ambiente. Nessa mesma fase são acrescentados outros aditivos que melhoram as propriedades do poliestireno, particularmente sua resistência ao fogo, apresentando-se então o material sob uma forma granulada, de aspeto vítreo.

Para a obtenção dos blocos de poliestireno expandido, o material é submetido a um processo de sinterização sob ação de vapor saturado, produzindo-se uma expansão dos grânulos de poliestireno vítreo em cerca de 20 a 50 vezes o volume inicial, obtendo-se então os diferentes tipos de EPS.

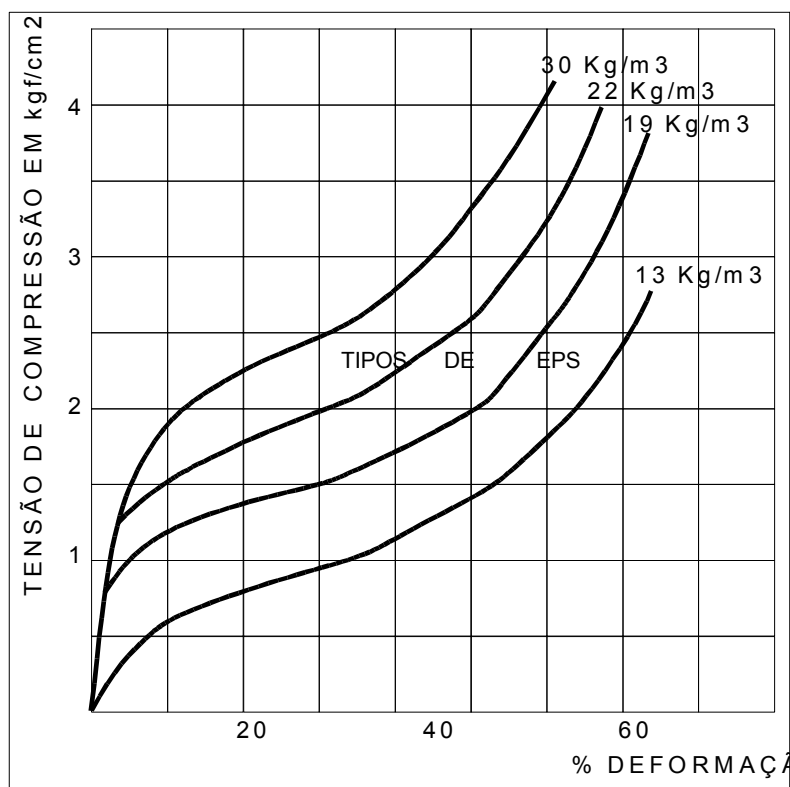
A espuma assim obtida contém 98% de ar e 2% de matéria sólida na forma de poliestireno. Um metro cúbico de E.P.S. possui de 3 a 6 bilhões de glóbulos fechados e cheios de ar, que lhe garantem suas peculiares propriedades físicas, de extrema leveza e de excelente isolante termo-acústico.

De modo geral são fabricados três diferentes tipos de EPS, designados respectivamente por P1, P2 e P3, cujas propriedades básicas têm os seguintes valores usuais:

PROPRIEDADES	TIPO P1	TIPO P2	TIPO P3
Massa específica aparente (kg/m ³)	13 a 16	17 a 19	19 a 24
Resistência à compressão com 10% de deformação Mpa (kgf/cm ²)	0,06 a 0,11 (0,6 a 1,1)	0,08 a 0,14 (0,8 a 1,4)	0,11 a 0,18 (1,1 a 1,8)
Resistência ao cisalhamento Mpa (kgf/cm ²)	0,45 a 0,55 (4,5 a 5,5)	0,55 a 0,70 (5,5 a 7,0)	0,70 a 0,90 (7,0 a 9,0)
Absorção de água quando submerso -			

(% em volume):	0,4 a 2	0,4 a 0,8	0,3 a 0,7
- depois de 8 dias			
- depois de 1 ano	4 a 6	3 a 5	3 a 4

A composição química do poliestireno, indicada na **figura 3.1-a**, mostra que a combustão deste material, por ser um simples hidrocarboneto, não provoca o aparecimento de produto tóxico



Diagramas tensão-deformação do E.P.S.

Figura 3.1-b

algum, ao contrário do que acontece com algumas outras matérias plásticas. O E.P.S. não serve de alimento para micro-organismos, é imputrescível e não mofa.

Ele não contém nem produz o gás CFC que agride a camada de ozônio da Terra. A figura 3.1-b mostra a rigidez dos diferentes tipos de E.P.S. por meio dos diagramas tensão-deformação correspondentes.

3.2 Blocos de EPS para lajes

Os blocos de EPS para emprego em lajes pré-fabricadas são obtidos a partir de grandes peças, das quais são retirados elementos construtivos com as mais variadas formas.

Atualmente, no Brasil, o E.P.S. é produzido para a construção civil sob a forma de blocos com dimensões de 100x100x400 cm, com possibilidade de variação de apenas uma das dimensões transversais, obtendo-se, assim, blocos com dimensões de até 100x135x400 cm.

Em virtude da facilidade de se cortar os blocos de E.P.S. por meio de um fio quente ou pelo emprego de uma simples serra, os projetistas de lajes nervuradas exercitaram sua capacidade criativa desenvolvendo os mais variados tipos de blocos para essa finalidade. Todavia, esses diferentes tipos tendem a se resumir aos formatos mostrados nas **figuras 3.2-a e 3.2-b**.

Já se dispõe no Brasil de máquinas de corte computadorizadas que oferecem elevada produção e confeccionam as peças a partir da leitura óptica dos desenhos das mesmas.

Apesar do E.P.S. permitir corte fácil, ele apresenta características de resistência que lhe permitem suportar os esforços decorrentes das operações de construção, como se mostra adiante nos itens 4.4 e 4.5.

Outra característica vantajosa do E.P.S. para emprego nos blocos de enchimento das lajes nervuradas é o seu baixo módulo de elasticidade, que permite uma adequada distribuição das cargas ao longo das linhas de apoio e uma perfeita vedação das juntas dos blocos impedindo a exsudação do concreto moldado no local. Além disto, por possuir um coeficiente de absorção muito baixo, o E.P.S. favorece a cura do concreto moldado no local.

À semelhança dos tradicionais blocos de cerâmica, os blocos de E.P.S. permitem revestimentos de chapisco, reboco ou gesso, como se mostra adiante no item 4.6.

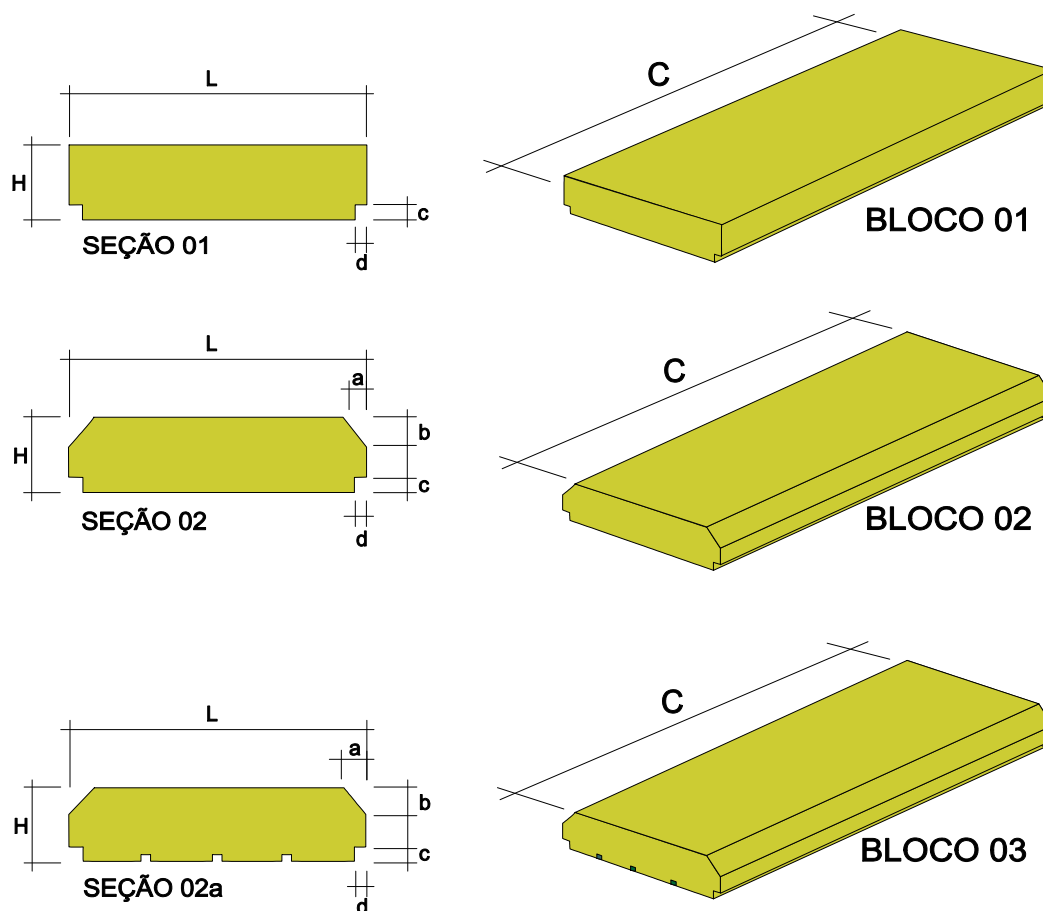
Apesar do E.P.S. permitir que a pintura lhe seja aplicada diretamente, recomenda-se que os blocos sejam protegidos por um dos revestimentos acima citados.

Na construção de lajes nervuradas bidirecionais, os blocos de E.P.S. são de particular eficiência, tanto por sua leveza, quanto por sua compacidade que impede a penetração do concreto no seu interior. Esta penetração acontece com os blocos cerâmicos, consumindo parte não desprezível do concreto moldado no local.

Nas lajes nervuradas os blocos de E.P.S. não participam da resistência final da estrutura, porém, por funcionarem como elementos estruturais durante os trabalhos de montagem das armaduras e de concretagem da laje, eles devem ser dimensionados para suportarem os esforços neles existentes durante a fase de construção.

Nas figuras 3.2-a e 3.2-b estão apresentados os tipos usuais de blocos de E.P.S. empregados na construção de lajes nervuradas pré-fabricadas uni e bidirecionais.

BLOCOS EM EPS PARA LAJES NERVURADAS UNIDIRECIONAIS



PARAMETROS	VALORES (mm)
L	250 - 600
H	80 - 350
C	1000 - 2000
a	30 - 50
b	30 - 50
c	20 - 30
d	15 - 20

Figura 3.2a

BLOCOS EM EPS PARA LAJES NERVURADAS BIDIRECIONAIS

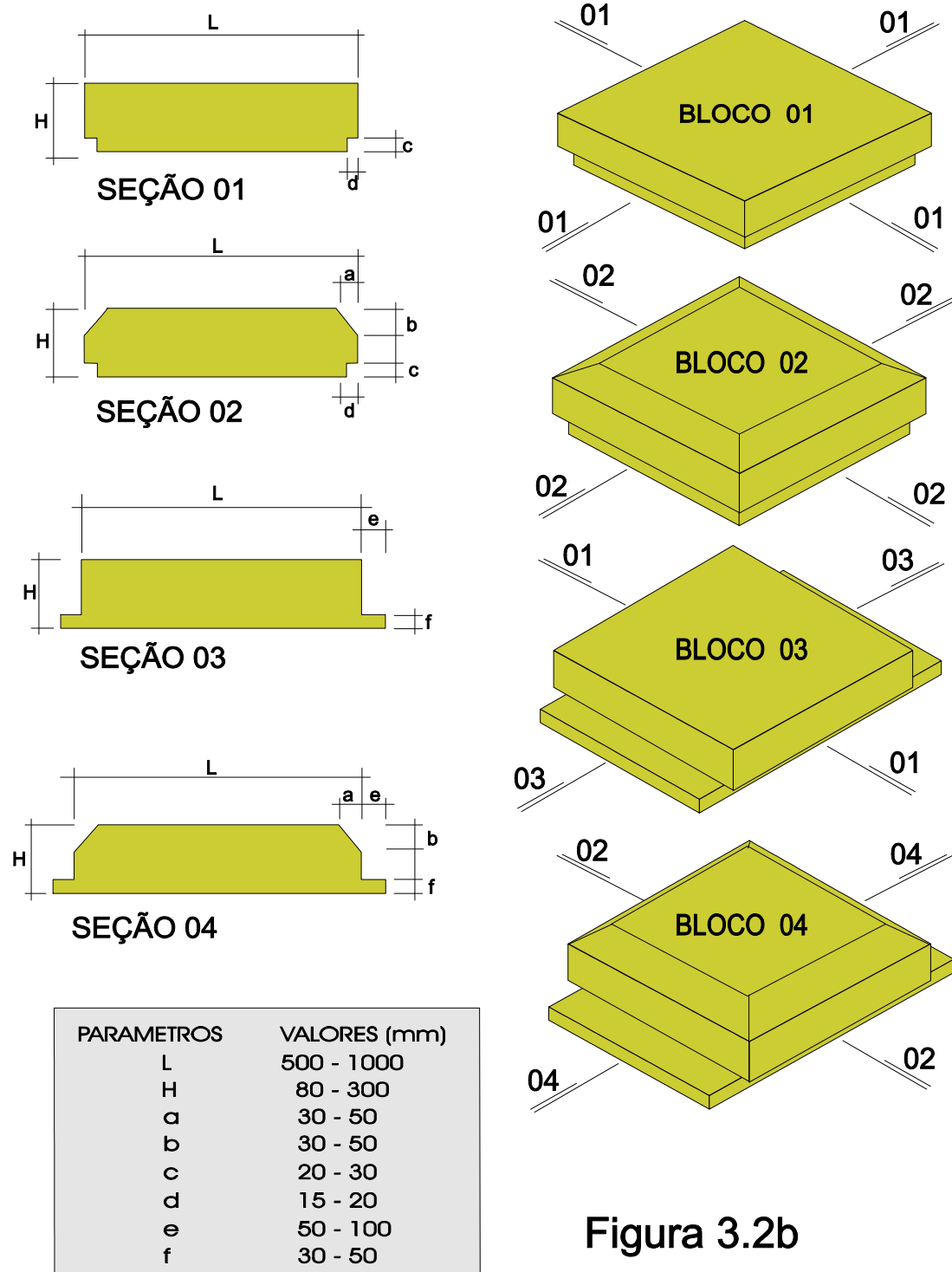
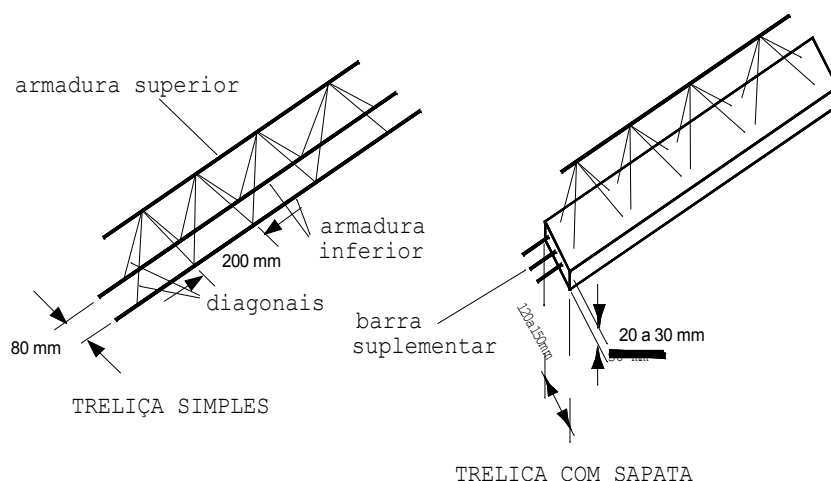


Figura 3.2b

3.3 Armaduras treliçadas

As armaduras em treliça para lajes são produzidas em dois diferentes tipos, a saber, com e sem sapata de concreto, **figura 3.3-a**. Estas armaduras são treliças metálicas feitas por processo automático, empregando-se fios trefilados soldados por eletrofusão.



Tipos de armadura treliçada

Figura 3.3-a

As treliças simples, sem a sapata inferior de concreto, são destinadas essencialmente a armaduras de lajes concretadas inteiramente no local.

Como estas treliças possuem a face inferior aberta, elas são facilmente acondicionadas para transporte e armazenamento, encaixando-as umas sobre as outras.

O emprego de treliças simples exige a presença de fôrmas completas para o lançamento do concreto fluido. Essas fôrmas podem ser do tipo tradicional, feitas de madeira, ou então fôrmas especiais industrializadas, como as fôrmas de EPS mostradas na seção seguinte.

As treliças com sapata inferior de concreto, usualmente chamadas de vigotas treliçadas, constituem-se na maneira mais econômica de emprego deste tipo de armadura, podendo ser utilizadas para a execução de lajes, tanto maciças quanto nervuradas.

A sapata inferior de concreto é moldada em fôrma metálica, de preferência em instalação industrial, para se garantir a qualidade do concreto lançado em espessuras de 2 a 3 centímetros, empregando-se concreto com agregado miúdo e rico em pasta de cimento, para se evitar a operação de vibração.

As armaduras em treliça são usualmente fabricadas com alturas variando de 80 a 300 milímetros, com possível variação de centímetro em centímetro.

As treliças mais frequentemente empregadas estão mostradas na **figura 3.3-b**. A identificação de cada tipo é feita por um conjunto de símbolos, como no exemplo seguinte: **TR-08634**, onde:

(TR) caracteriza a armadura em treliça;

(08) indica a treliça com 8 centímetros de altura;

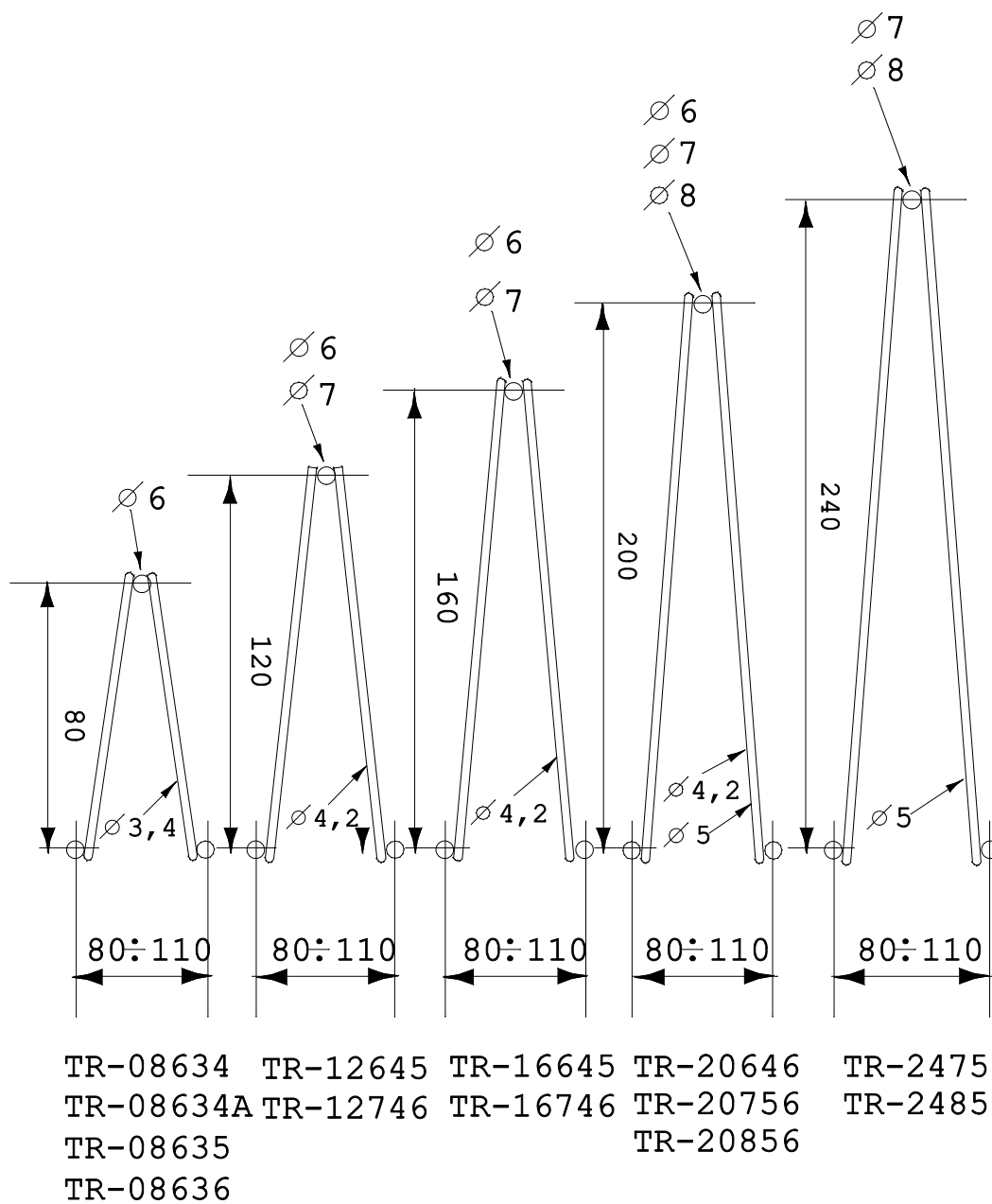
(6) indica a bitola $\phi 6$ da barra superior da treliça (as barras da armadura superior podem ter bitolas variando de $\phi 6$ a $\phi 10$);

(3) indica a bitola $\phi 3,4$ das diagonais (as barras das diagonais podem ter bitolas variando de $\phi 3,4$ a $\phi 6$);

(4) indica a bitola $\phi 4,2$ das barras inferiores (as barras da armadura inferior podem ter bitolas variando de $\phi 4,2$ a $\phi 10$).

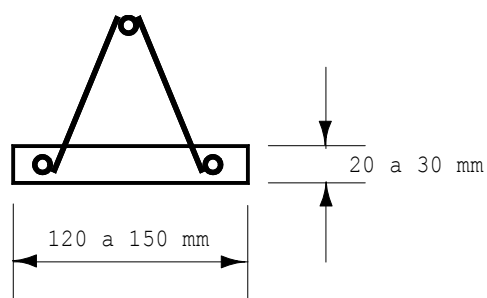
As treliças com sapata inferior de concreto têm as mesmas dimensões gerais acima indicadas. As sapatas têm as dimensões indicadas na **figura 3.3-c**.

Sob encomenda, as treliças podem ser fabricadas com diferentes quantidades de aço da sapata inferior, com valores especificados pelo usuário.



Dimensões usuais padronizadas das armaduras treliçadas

Figura 3.3-b



Dimensões usuais das sapatas empregadas nas armaduras treliçadas

Figura 3.3-c

Na tabela seguinte estão mostradas as principais características das armaduras treliçadas usualmente empregadas.

TABELA DE TRELIÇAS USUAIS

Barra Superior

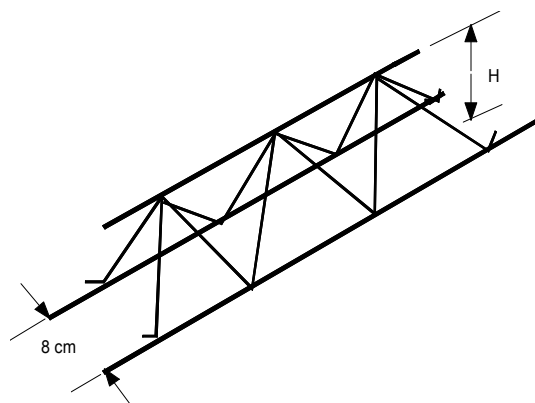
$$6,0 \leq \phi \leq 10,0$$

Barras Diagonais

$$3,4 \leq \phi \leq 6,0$$

Barras Inferiores

$$4,2 \leq \phi \leq 10,0$$



CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DAS TRELIÇAS USUAIS

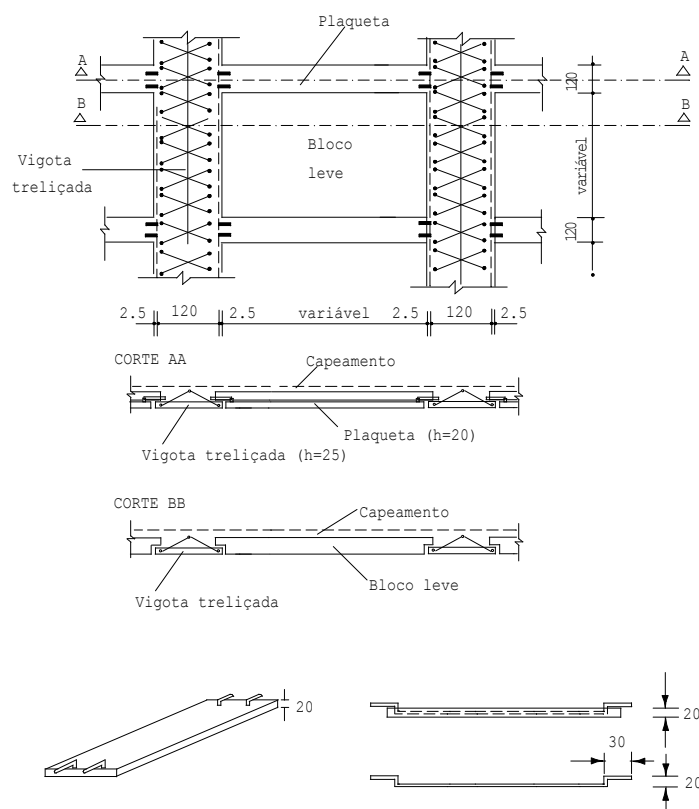
TIPO	ALTURA (mm)	DIÂMETRO DAS BARRAS (mm)			SEÇÃO (cm ²)	MASSA (kg/m)
		Sup	Diag	Inf		
TR-08634	80	6	3,4	4,2	0,277	0,625
TR-08634 ^A	80	6	3,4	4,6	0,332	0,696
TR-08635	80	6	3,4	5	0,392	0,744
TR-08636	80	6	3,4	6	0,566	0,880
TR-12645	120	6	4,2	5	0,392	0,909
TR-12745	120	7	4,2	5	0,566	0,989
TR-12646	120	6	4,2	6	0,392	1,045
TR-12746	120	7	4,2	6	0,566	1,125
TR-16645	160	6	4,2	5	0,566	0,973
TR-16745	160	7	4,2	5	0,566	1,053
TR-16646	160	6	4,2	6	0,566	1,109
TR-16746	160	7	4,2	6	0,566	1,189
TR-20646	200	6	4,2	6	0,566	1,179
TR-20746	200	7	4,2	6	0,566	1,259
TR-20756	200	7	5	6	0,566	1,477
TR-20856	200	8	5	6	0,566	1,570
TR-24756	240	7	5	6	0,566	1,584
TR-24856	240	8	5	6	0,566	1,677

3.4 Plaquetas³

As plaquetas constituem-se em elementos estruturais leves e resistentes.

A plaqueta é um elemento misto, formado por uma delgada placa de concreto armado, que dispõe de garras de aço que permitem a sua fácil montagem, **figura 3.4-a**.

³ Elemento componente do sistema construtivo Franca, abordado no item 4.2



Constituição e montagem das plaquetas

Figura 3.4-a

A plaqueta é um elemento construtivo inovador, que em virtude de sua maneira de fixação, por meio de garras metálicas flexíveis, formadas por prolongamentos da armadura da placa de concreto, possui extrema versatilidade de emprego, adaptando-se com grande facilidade às pequenas irregularidades dos elementos da construção.

A plaqueta tem por função principal permitir a construção de lajes nervuradas pré-fabricadas armadas em duas direções. Ela possibilita a concretagem das nervuras transversais, sustentando a armadura e o concreto destas nervuras durante a fase de construção.

A plaqueta também permite a transformação da laje nervurada em laje maciça, nos trechos em que isto possa ser necessário, como em regiões de apoios ou em outras regiões localizadas.

A fabricação das plaquetas é bastante simples, podendo ser realizada industrialmente, ou no próprio canteiro de obra. Por serem elementos planos, leves e de pequenas dimensões, as plaquetas podem ser facilmente empilhadas e manuseadas, sendo de baixo custo o seu transporte e armazenamento.

4 SISTEMAS CONSTRUTIVOS DE LAJES PRÉ-MOLDADAS COM E.P.S. E TRELIÇAS

4.1 - Lajes Unidirecionais

As lajes nervuradas pré-moldadas unidirecionais construídas com blocos de E.P.S. e vigotas treliçadas possuem a tipologia descrita pelas figuras 4.1-a e 4.1-b.



Figura 4.1-a

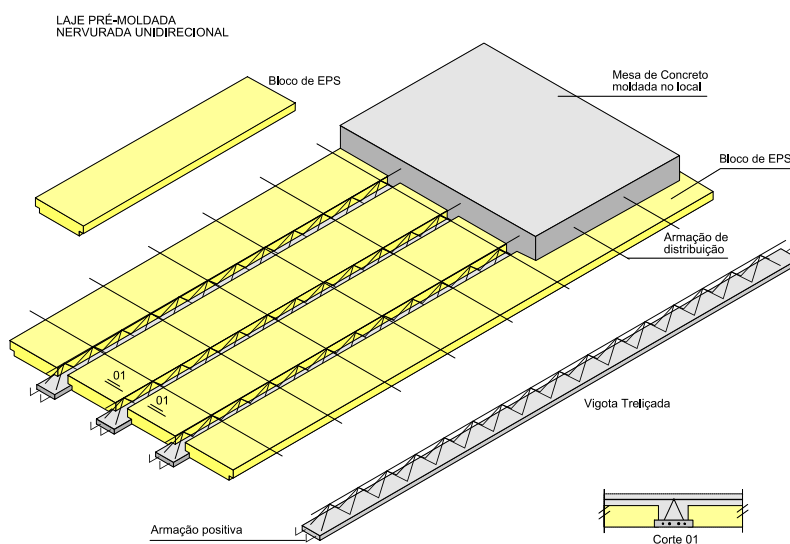


Figura 4.1-b

Nos edifícios correntes com andares múltiplos, empregam-se freqüentemente lajes nervuradas com as dimensões abaixo indicadas:

- altura total da laje: 12 a 30cm;
- espessura da mesa: 4 a 6cm;
- inteiros das nervuras: 30 a 50cm.

Recomenda-se o emprego de treliças com altura suficiente para que o seu banzo superior fique alojado na mesa de compressão, conforme ilustrado no corte 01 da **figura 4.1-b**.

4.2 Lajes Bidirecionais

As lajes pré-moldadas bidirecionais construídas com E.P.S. e armaduras treliçadas permitem uma gama bastante grande de arranjos estruturais.

Na seqüência, apresenta-se apenas um pequeno número deles, o suficiente para demonstrar a potencialidade do emprego de vigotas treliçadas e blocos de E.P.S. na construção de lajes bidirecionais. Essa potencialidade é tão elevada que permite o enfoque não somente das lajes nervuradas como também das grelhas.

As lajes nervuradas, conforme foi visto no **capítulo -2**, podem ser divididas em dois grandes grupos:

Grupo I: Lajes que podem dispensar as armaduras de cisalhamento para as nervuras;

Grupo II: Lajes que necessitam de armaduras de cisalhamento para as nervuras.

4.2.1 - Lajes Nervuradas Bidirecionais do Grupo I

A este grupo pertencem os exemplos apresentados nas **figuras 4.2-a , 4.2-b e 4.2-c** .



Figura 4.2-a ⁴

LAJE PRÉ-MOLDADA
NERVURADA BIDIRECIONAL
SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-1

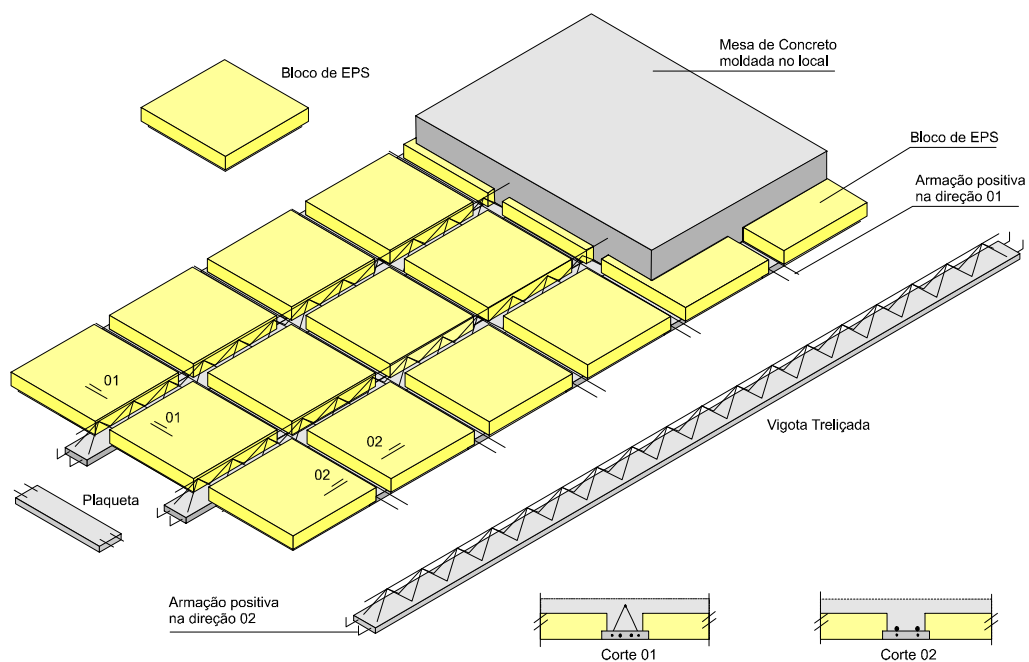


Figura 4.2 - b

⁴ Lajes construídas com o Sistema Franca

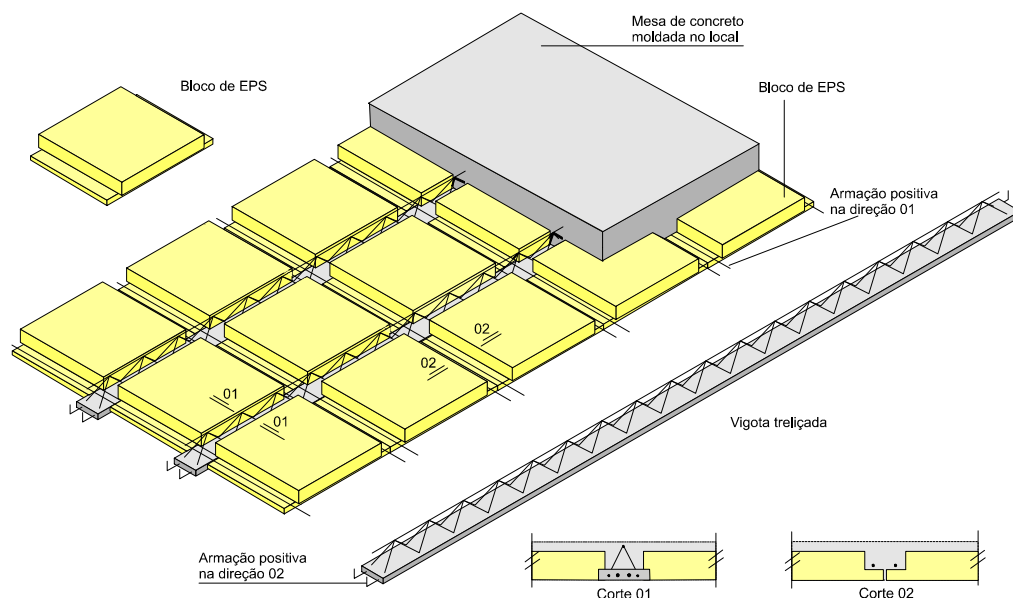
LAJE PRÉ-MOLDADA
NERVURADA BIDIRECIONAL

Figura 4.2 - c

As lajes enquadradas neste grupo, freqüentemente usadas nos edifícios de andares múltiplos, têm as dimensões usuais a seguir indicadas:

- altura total da laje: 12 a 25 cm;
- espessura da mesa: 4 a 5 cm;
- intereixo das nervuras: 50 a 60 cm;
- distância interna máxima entre nervuras: 50cm.

As características básicas das lajes enquadradas neste grupo são o fato de possuírem nervuras resistentes em duas direções ortogonais entre si, de serem constituídas por vigotas pré-fabricadas treliçadas, dispostas na direção do menor vão da laje, e por nervuras transversais moldadas no local, armadas com barras isoladas de aço.

Para formação das nervuras transversais existem duas alternativas:

- Utilização de plaquetas pré-moldadas ⁵ ;
- Utilização de blocos com abas laterais em substituição às citadas plaquetas.

⁵ Sistema construtivo Franca

Cada solução tem suas vantagens e peculiaridades, e a escolha do tipo à ser adotado depende de uma série de fatores que devem ser analisados a fim de se obter a solução mais vantajosa, técnica e economicamente.

Na solução com plaquetas, em geral a armadura transversal é colocada diretamente sobre elas, sendo a espessura das plaquetas suficiente para garantir a proteção contra a corrosão do aço. Na segunda solução, é necessário levantar a armadura transversal, afastando-a do E.P.S. , com a conseqüente diminuição do braço de alavanca das vigotas e, conseqüentemente, reduzindo-se a eficiência dessa armadura transversal.

Na primeira solução usa-se geralmente E.P.S. com massa específica aparente de 10 kg/m³ , enquanto que na segunda faz-se necessário usar E.P.S. de maior densidade, no mínimo do tipo P-I (vide **item 3.2**), em virtude da maior solicitação existente na região das abas dos blocos. Todavia, com qualquer das duas soluções, é imprescindível dimensionar os blocos de E.P.S. para as solicitações previstas nas fases de montagem e de concretagem.

Na análise de custos deve-se observar que a segunda solução, além de necessitar de um tipo de E.P.S. mais caro, propicia um maior desperdício do material para que possam ser formadas as abas dos blocos. Na segunda solução elimina-se a plaqueta e, conseqüentemente, o sistema se torna mais simples, ficando constituído apenas por vigotas, blocos e armaduras.

Teoricamente é de se supor que a primeira solução, com o emprego de plaquetas, apresente um menor volume de materiais (concreto, aço e E.P.S.), porém, isto não significa que para uma dada situação específica seja ela a melhor opção técnica e econômica.

De modo geral, a escolha da solução do tipo de laje a ser empregada, dentre todas as soluções possíveis de serem idealizadas, depende, em cada caso particular, de uma análise cuidadosa das condições técnicas, sociais e econômicas da região onde se irá edificar a estrutura.

Nas **figuras 4.2-d , 4.2-e e 4.2-f** detalha-se o primeiro dos sistemas considerados. Por elas, pode ser idealizado o segundo sistema, que basicamente difere apenas pela substituição das plaquetas por blocos de E.P.S. com abas salientes, conforme já foi mostrado nas figuras **3.2-b, 4.2-b**. Para maior compreensão dos sistemas em apreço faz-se necessário a leitura dos itens 4.4 e 4.5 referente a montagem dos sistemas e posicionamento de suas armações.

LAJE PRÉ-MOLDADA
BIDIRECIONAL
SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-1

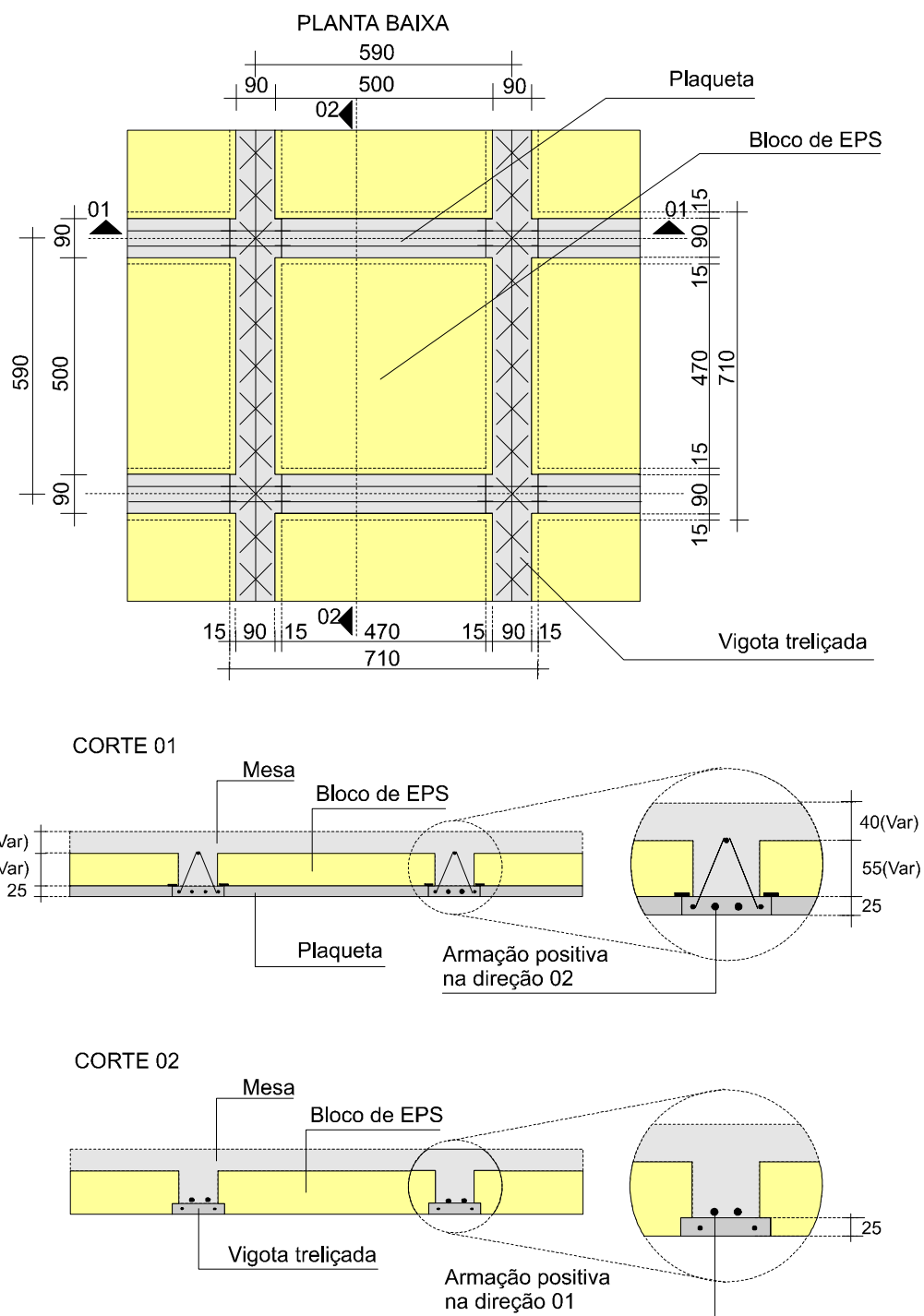


Figura 4.2 - d

LAJE PRÉ-MOLDADA
BIDIRECIONAL
SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-1

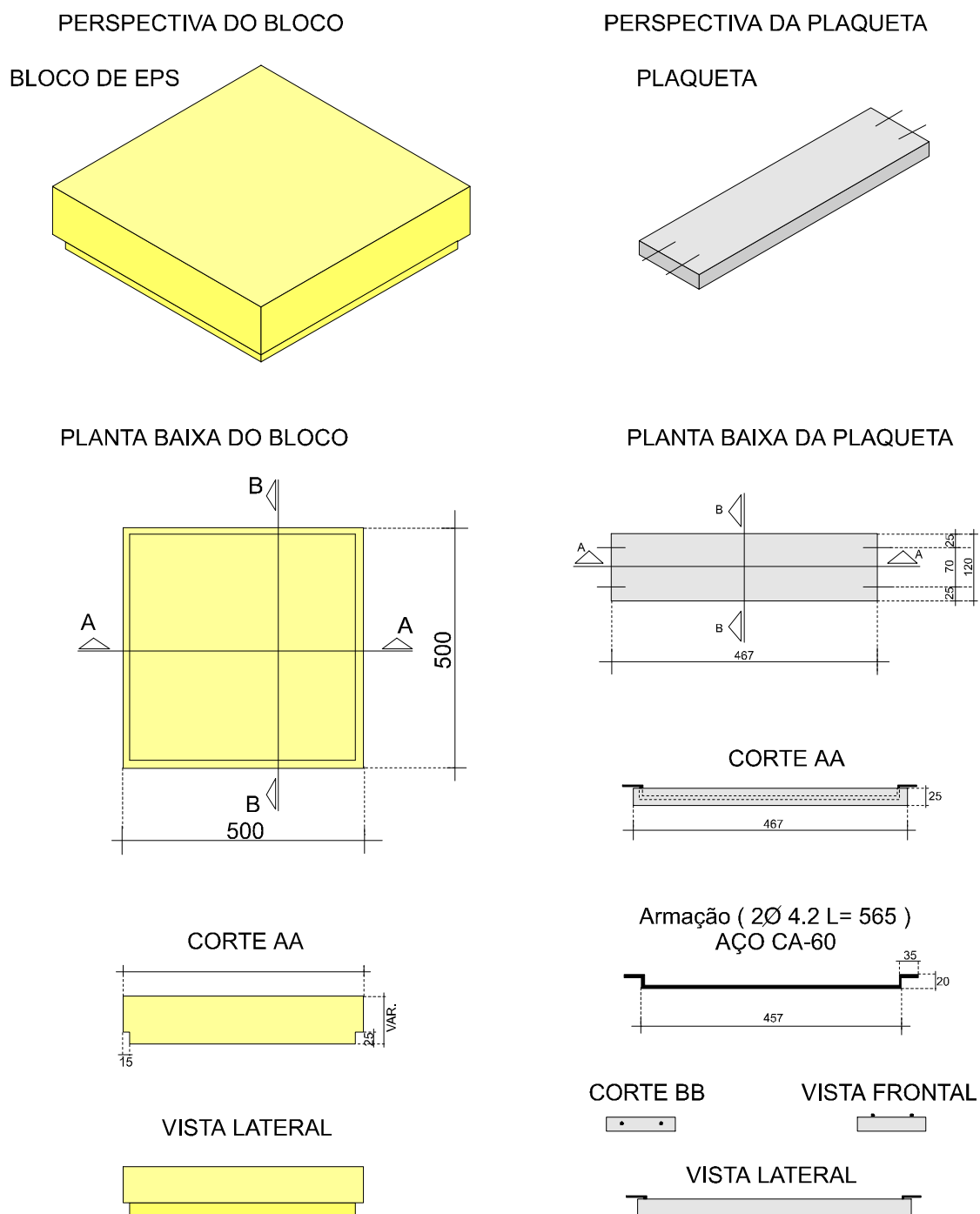


Figura 4.2 - e

LAJE PRÉ-MOLDADA
BIDIRECIONAL
SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-1

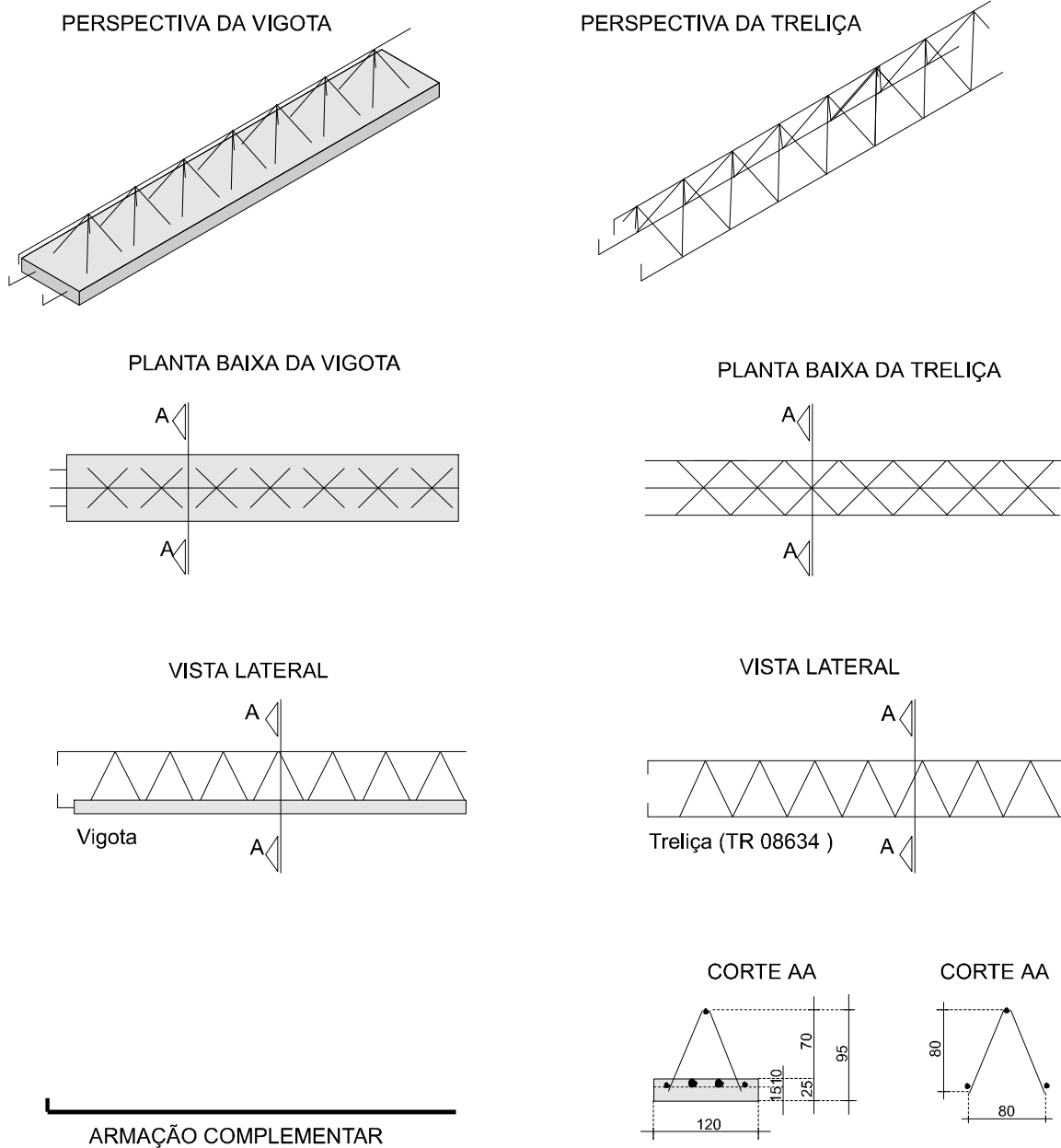


Figura 4.2 - f

4.2-b - Lajes Nervuradas Bidirecionais do Grupo II

As características básicas das lajes enquadradas neste grupo são as de possuírem armaduras treliçadas em duas direções, armaduras resistentes à flexão na mesa, além de armaduras de cisalhamento para as nervuras.

A formação das nervuras transversais, à semelhança das lajes do grupo anterior, apresenta as mesmas opções, com plaquetas ou com blocos com abas salientes **figuras 4.2-g e 4.2-h**. Neste grupo, as plaquetas são confeccionadas com uma armadura treliçada, conforme pode ser observado na **figura 4.2-g**

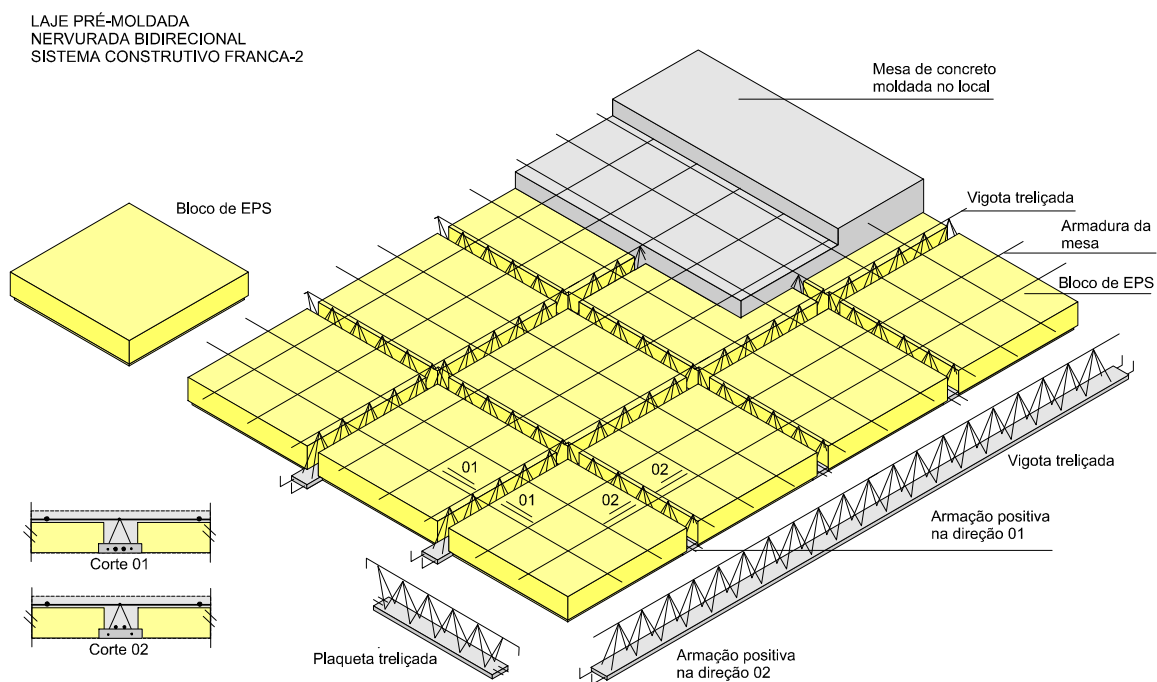


Figura 4.2 - g

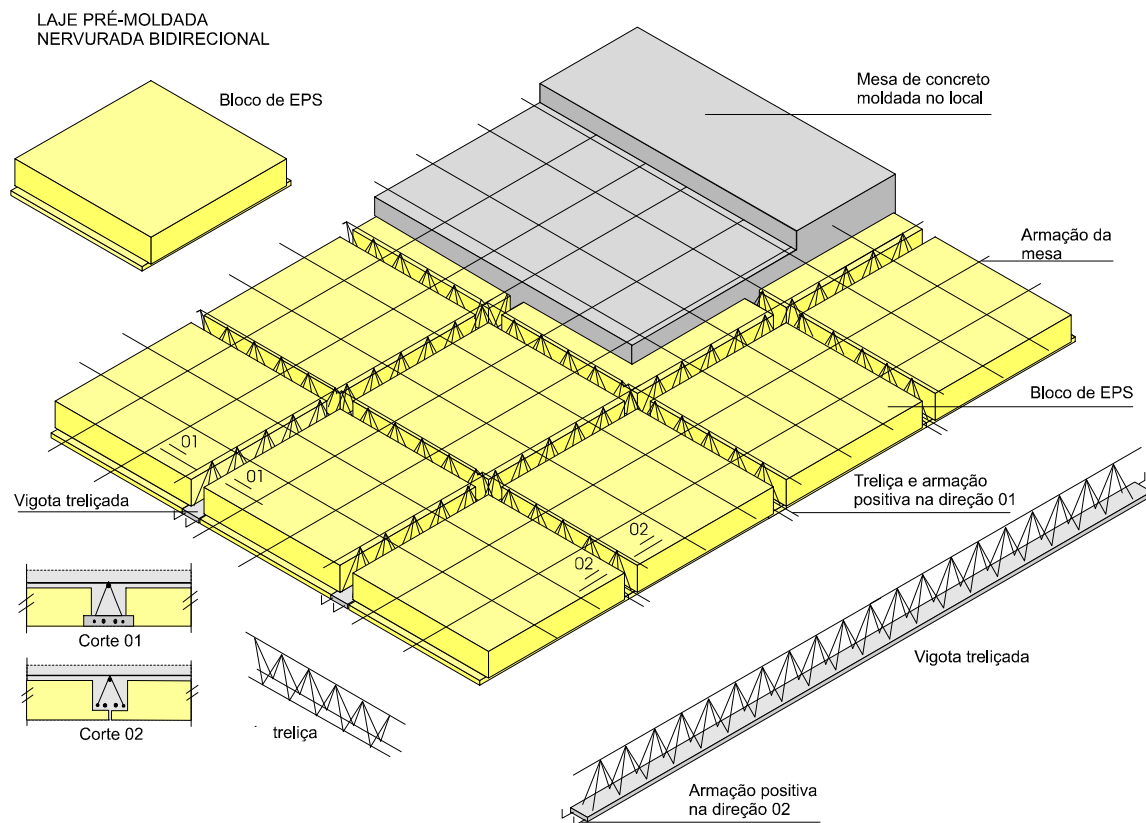


Figura 4.2 - h

As plaquetas idealizadas para os sistemas construtivos em apreço são de três tipos, conforme pode ser observado na **figura 4.2-i**. As dos tipos 1 e 2, são utilizadas nas lajes pertencentes aos grupos I e II, respectivamente. As plaquetas dos tipos 2 e 3 são usadas nas estruturas em grelha, conforme pode ser visto nas **figuras 4.2-m e 4.2-n**.

TIPOLOGIA DAS PLAQUETAS DOS
SISTEMAS CONSTRUTIVOS FRANCA

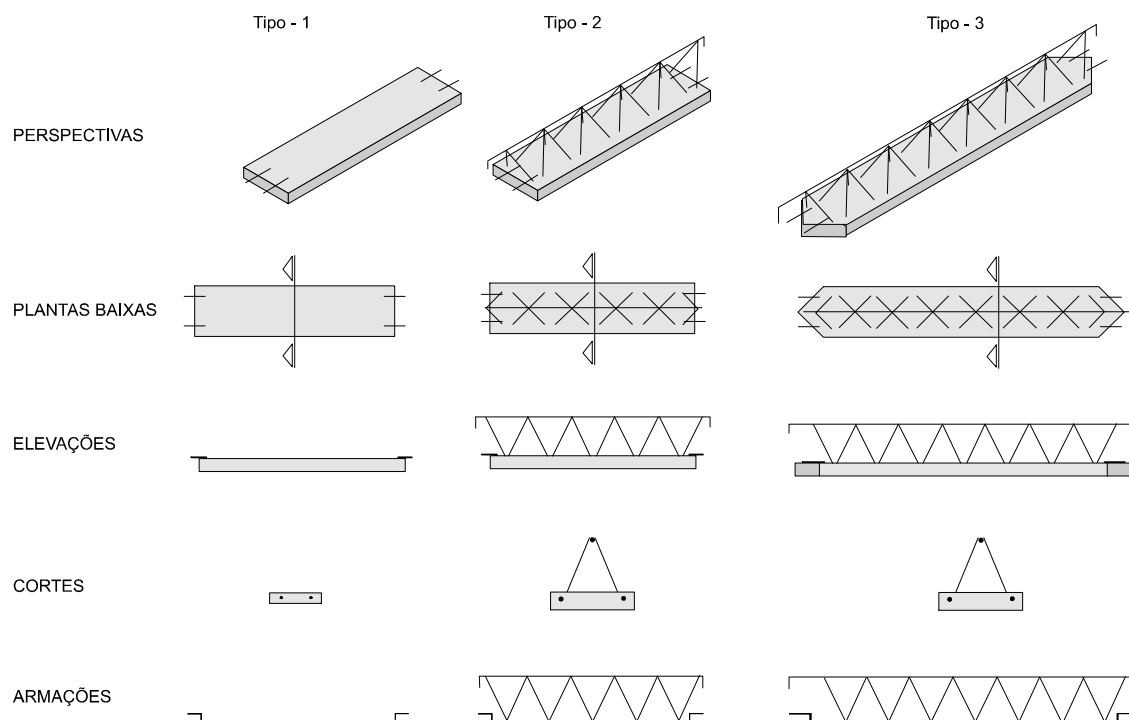


Figura 4.2 - i

As lajes enquadras neste grupo II, freqüentemente usadas nos edifícios de andares múltiplos, têm as dimensões usuais a seguir indicadas:

- altura total da laje: 20 a 30 cm;
- espessura da mesa: 4 a 6 cm;
- inteiros das nervuras: 100 a 110 cm;
- distância interna máxima entre nervuras: 100cm.

As lajes enquadras no grupo I só eventualmente necessitam que o banço superior da treliça fique alojado na mesa, visto que as forças cortantes são normalmente baixas, podendo ser resistidas pelo concreto, sem necessidade de uma armadura especial para o cisalhamento.

No entanto, no caso das lajes bidirecionais do grupo II, é necessário que a barra de aço do banço superior da treliça fique alojada no interior da mesa. Recomenda-se que esta barra fique situada a pelo menos um centímetro acima da face inferior da mesa, pelas razões já expostas no **item 2.3**, pois as diagonais das treliças trabalham como armadura de cisalhamento nas nervuras.

Ao se compararem as diagonais das armaduras treliçadas com os estribos de dois ramos das vigas usuais de concreto armado, deve-se observar o seguinte:

- os estribos das vigas de concreto armado têm usualmente dois ramos dispostos paralelamente às faces laterais da viga e perpendicularmente ao eixo da peça;
- as diagonais das treliças possuem dois ângulos de inclinação: um deles em relação ao eixo da peça e o outro em relação às faces da mesma.

Tendo em vista que as treliças disponíveis no mercado possuem padronização tanto em relação à largura da base (8cm) quanto ao espaçamento das diagonais (20cm), é possível organizar uma tabela de equivalência entre as diagonais das armaduras treliçadas e os estribos usuais das vigas, conforme se mostra na **tabela 6.2**. A vantagem prática desta tabela é poder se usar, no cálculo das lajes, os programas disponíveis no mercado e, no detalhamento das armaduras, fazer a substituição dos esstribos especificados no cálculo pelas diagonais das treliças.

Quando houver necessidade de armadura complementar para resistir ao cisalhamento das nervuras, sugere-se que sejam usados estribos adicionais de um ou dois ramos, com um dos arranjos ilustrados pela **figura 4.2 -j**.



Figura 4.2 - j

É oportuno lembrar que as diagonais das treliças além de funcionarem como armadura de cisalhamento proporcionam uma excelente ligação entre o concreto pré-moldado das vigotas e o concreto moldado no local, favorecendo assim a ligação entre os banzos superior e inferior da laje e garantindo o seu monolitismo.

As lajes nervuradas, de um modo geral, possuem vocação para vencer grandes vãos. Com a tecnologia em consideração, é usual que em edifícios de andares múltiplos ela sejam empregadas com vãos variando de 6 a 12m, podendo inclusive atingir vãos ainda maiores.

É evidente que as lajes bidirecionais devem ser mais rígidas e possuir maior capacidade portante do que as lajes unidirecionais de mesmo porte. Todavia, em alguns casos, é possível obter resultados ainda melhores com as lajes nervuradas bidirecionais, empregando-se a diagonalização de suas nervuras em relação às linhas de apoio da laje, conforme pode ser visto nas **figuras 4.2-k**.

Para um melhor entendimento das vantagens do emprego de nervuras diagonais, é oportuno tecer algumas considerações a respeito das peculiaridades das lajes maciças, das lajes nervuradas e das grelhas.

A laje nervurada pode ser entendida como uma evolução da laje maciça, com a qual se procura eliminar o concreto abaixo da linha neutra, criando-se vazios e pondo assim aumentar a altura da laje sem aumento do consumo de concreto.

Com este procedimento, busca-se a leveza da estrutura, deixando-a reduzida apenas às suas nervuras e à mesa superior, com o mínimo de material necessário para suportar as cargas aplicadas.

necessários para suportar as cargas de serviço;

Com esta metamorfose, conseguem-se inúmeras vantagens técnicas e econômicas, mas o projetista deve ficar atento para alguns aspectos importantes do problema, que são considerados a seguir.

Se as lajes nervuradas forem obtidas apenas pela retirada de concreto, simplesmente criando-se vazios abaixo da linha neutra, permanecendo a laje com a mesma altura total, resultariam as seguintes consequências:

- . excessiva flexibilidade em relação a laje maciça de origem;
- . praticamente a mesma resistência à flexão;
- . reduzida resistência à torção, em relação à laje maciça.

A baixa capacidade das lajes nervuradas para absorver momentos de torção não se constitui em inconveniente para as aplicações práticas, visto que não são imprescindíveis para o equilíbrio da placa e normalmente são desprezados no cálculo.

Para que as lajes nervuradas sejam convenientemente projetadas, elas devem ter altura total suficiente para respeitar os limites de flecha impostos pela NBR-6118. A preocupação em se limitar a flexibilidade das lajes tem por objetivo prevenir o aparecimento de fissuras no revestimento de sua face inferior e nas paredes sobre elas apoiadas, bem como evitar o descolamento dos revestimentos rígidos dos pisos.

Quando os vazios existentes nas lajes são tais que a distância interna entre nervuras é maior do que 1 metro, o elemento estrutural não mais pode mais ser tratado como laje, devendo ser analisado pela teoria das grelhas.

Tendo em vista o emprego de lajes nervuradas bidirecionais e de grelhas, é oportuno considerar as potencialidades das malhas usadas no arranjo das nervuras dessas estruturas. Os tipos de malhas mais freqüentemente utilizados estão apresentados **figura 4.2-k**.

A malha mais freqüentemente utilizada é a quadrada, (**tipo 2 da figura 4.2-k**) na qual as vigas se cruzam em ângulo reto e são paralelas as linhas de apoio. Para facilitar a explanação, doravante este tipo será chamado de laje retangular com arranjo retangular.

Quando se desejar obter uma melhor distribuição de esforços, emprega-se a malha diagonal, conforme o exemplo tipo 03 da **figura 4.2-k**. Este tipo de malha se compõe de nervuras ortogonais entre si, mas oblíquas em relação às linhas de apoio. Comparada com o tipo anterior, a laje com arranjo diagonal apresenta a vantagem de ter maior rigidez, conduzindo a uma sensível redução de flechas.

A diferença fundamental entre os dois arranjos reside no fato de que as nervuras da malha diagonal não são todas do mesmo comprimento. Por esta razão, a rigidez relativa EI/L^6 das diferentes vigas varia substancialmente de uma para outra, mesmo que o produto de rigidez EI de todas as vigas seja o mesmo. Como consequência destas diferenças, as vigas dos cantos, mais curtas, têm maior rigidez à flexão e servem de apoio para as mais longas, que passam a se comportar como vigas contínuas sobre apoios elásticos, reduzindo-se assim os momentos de flexão no centro da estrutura, conforme pode ser observado na **figura 4.2-1**.

A comparação dos diagramas de momentos fletores dos dois tipos de malhas - retangular e diagonal - (**figura 4.2-1**) mostra que, nas lajes simplesmente apoiadas com arranjo retangular, os momentos são sempre do mesmo sinal e maiores que os correspondentes às lajes com arranjo diagonal, onde as vigas mais longas estão solicitadas por momentos positivos e negativos. Em resumo, pode-se afirmar que a grande vantagem das malhas diagonais

⁶ E=módulo de elasticidade do material; I=momento de inércia da seção transversal; L=comprimento da viga

é aproveitar ao máximo a influência da elevada rigidez dos cantos, o que não ocorre com as lajes com nervuras paralelas aos apoios.

EXEMPLOS DE MALHAS PARA
LAJES NERVURADAS E GRELHAS

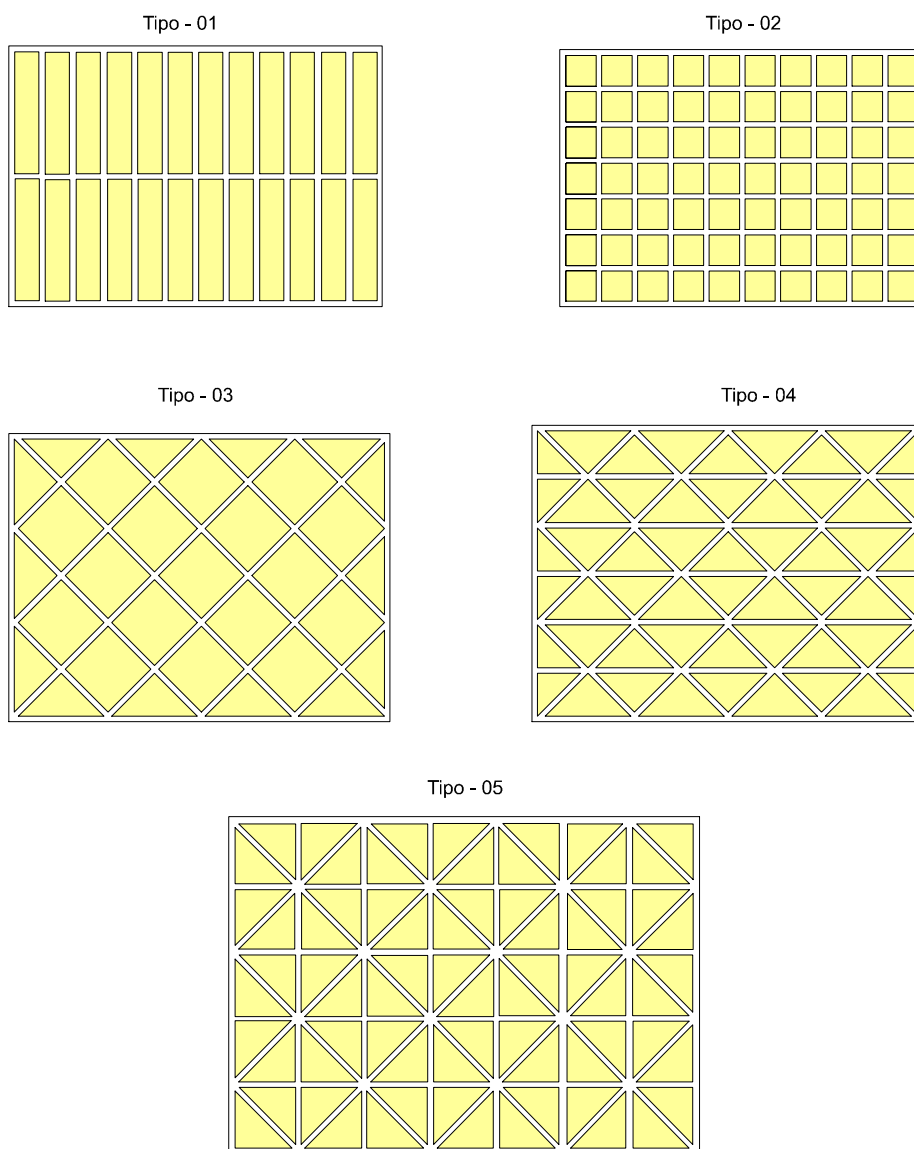
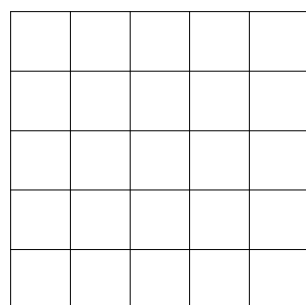
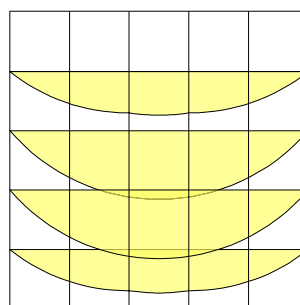


Figura 4.2 - k

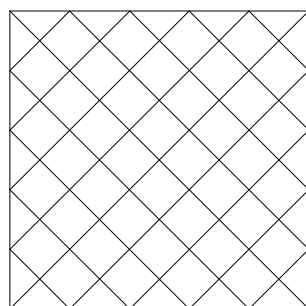
GRELHAS USUAIS
Tipologia
Diagrama de Momentos Fletores



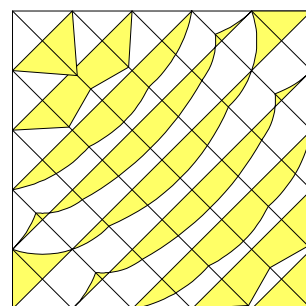
Malha - 1
Tipologia



Malha - 1
Diagrama dos Momentos
Fletores



Malha - 2
Tipologia



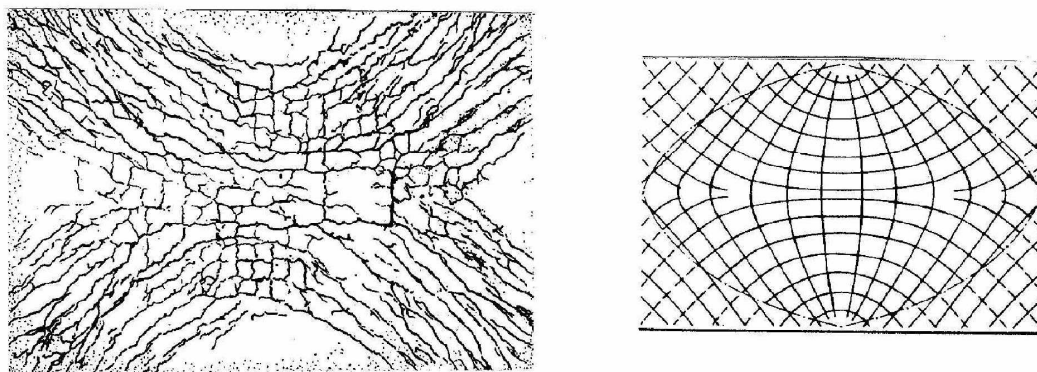
Malha - 2
Diagrama dos Momentos
Fletores

Figura 4.2 - I

A forma mais econômica para as malhas diagonais corresponde à laje com três ou quatro subdivisões iguais em cada lado. Obtém-se assim um “efeito de canto” máximo. As quatro vigas de canto, mais curtas e mais rígidas, servem de apoio aos elementos mais compridos, reduzindo-se com isso sensivelmente o vão destes últimos.

Para lajes de grandes vãos e grandes sobrecargas aconselha-se usar três ou quatro sistemas de vigas entrecruzadas, obtendo-se assim as malhas triangulares dos **tipos 4 e 5** mostrados na **figura 4.2-k**. Estes sistemas têm uma extraordinária rigidez e conduzem a uma repartição mais uniforme das tensões. A elevada rigidez destas

lajes é devida a um arranjo de vigotas que se aproxima bastante das trajetórias das tensões principais atuantes nas placas fletidas, que estão mostradas na **figura 4.2-1/1** por meio do panorama de fissuração de uma laje maciça de concreto armado.



Fissuração e trajetórias de tensões de uma laje de concreto
Figura 4.2-1/1

As malhas triangulares do tipo 4 (**figura 4.2-k**) podem ser entendidas como a associação das malhas dos tipos 1 e 3 e as do tipo 5 pela associação 2 e 3.

Diante da evolução das malhas, pode-se dizer que a capacidade criativa do homem na concepção das estruturas parece não ter fim.

A tecnologia aqui apresentada teve sua motivação primeira na forte componente econômica que encerra, mas ao mesmo tempo ela veio satisfazer o desejo de melhor entendimento das estruturas e de superação das dificuldades que é inerente ao projetista de estruturas.

As malhas triangulares acima referidas são perfeitamente exeqüíveis com o emprego do E.P.S. e das vigotas treliçadas, conforme demonstram as **figuras 4.2-m , 4.2-n , 4.2-o e 4,2-p**.

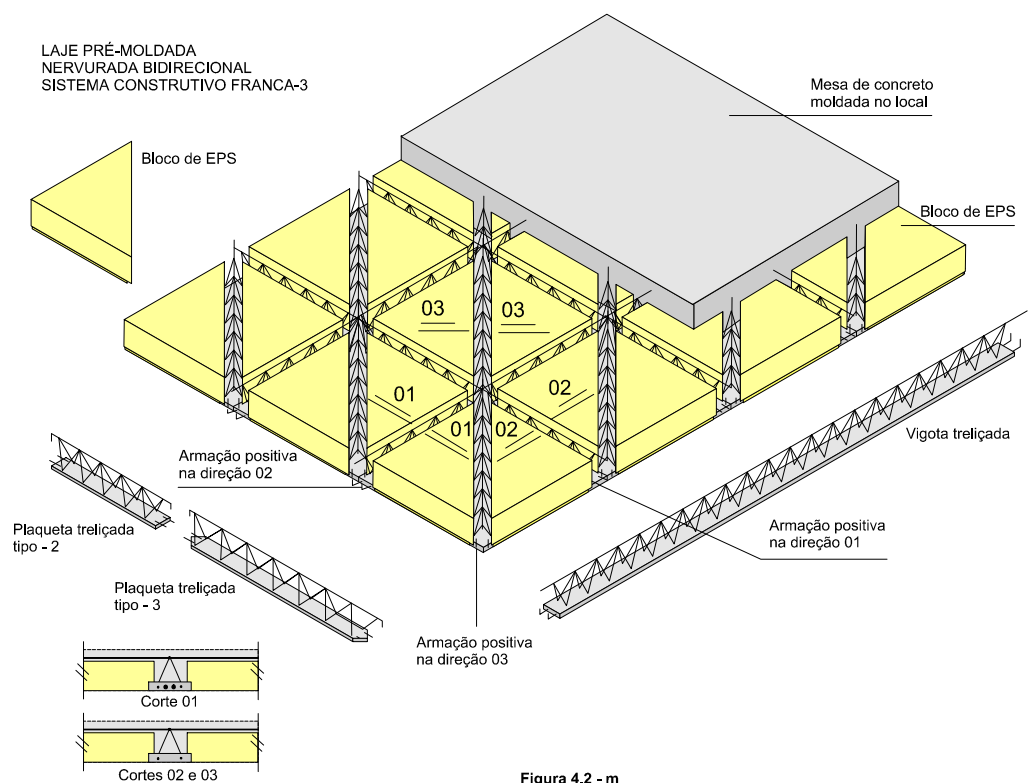


Figura 4.2 - m

LAJE PRÉ-MOLDADA
NERVURADA BIDIRECIONAL
SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-4

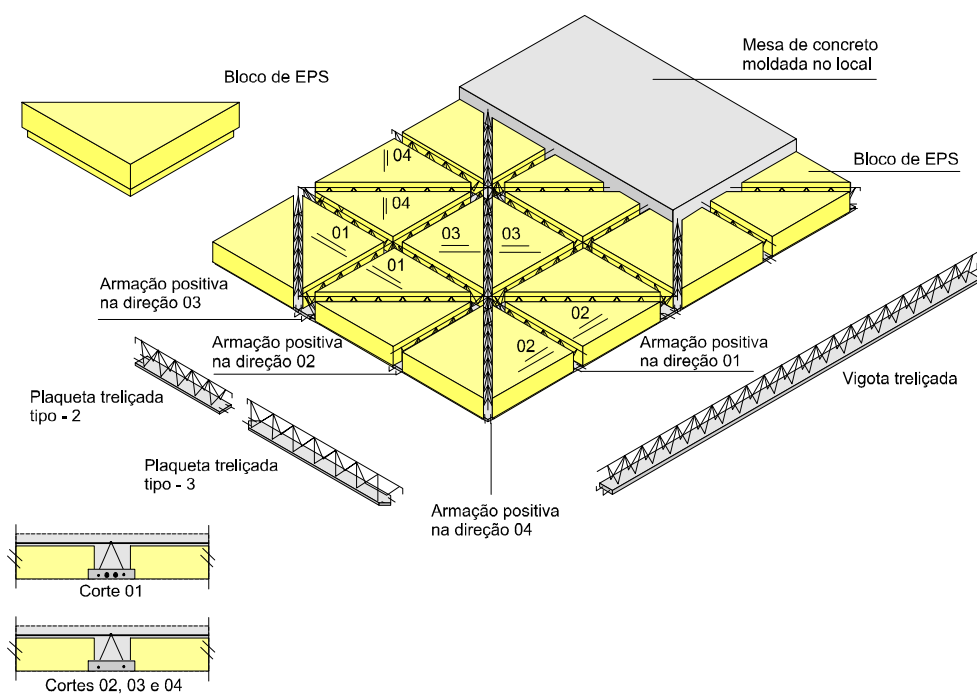


Figura 4.2 - n

EXEMPLOS DE ESTRUBOS PARA
AS LAJES TRELIÇADAS
SISTEMAS CONSTRUTIVOS FRANCA-2,3 E 4

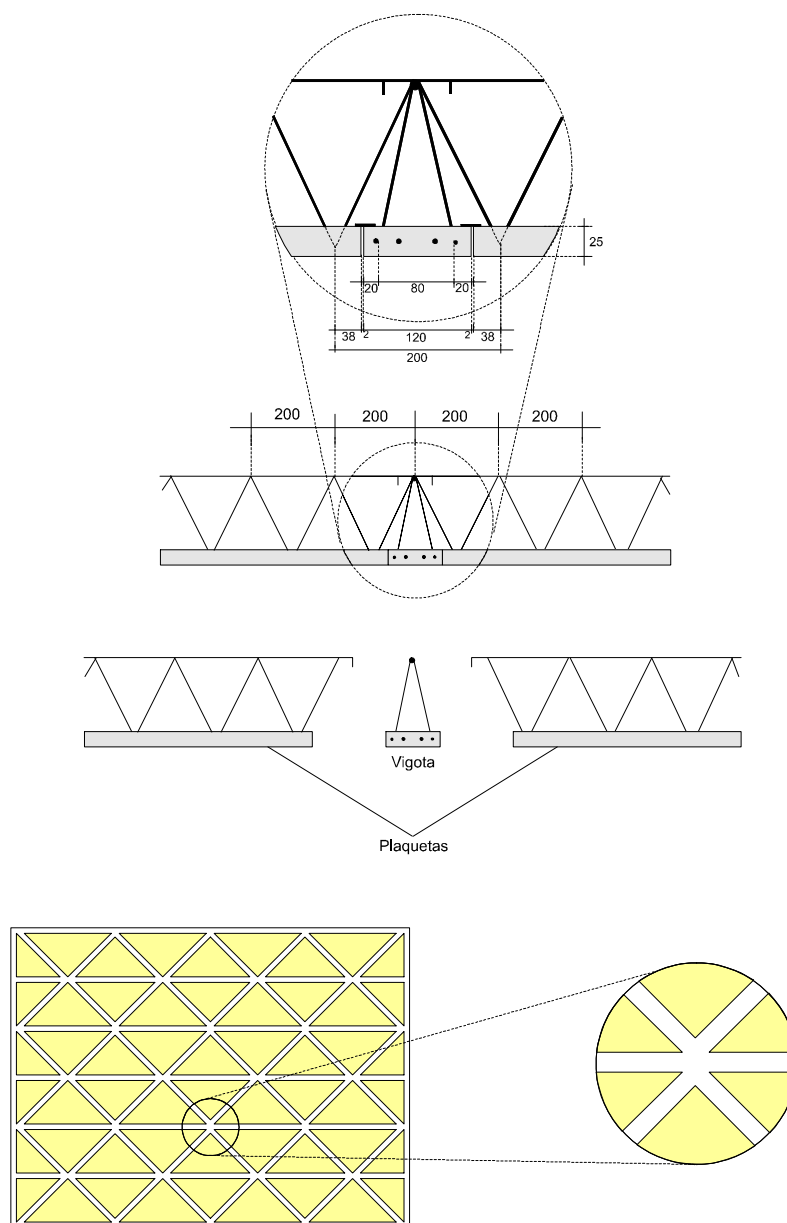


Figura 4.2 - o

BLOCO DE EPS DE
BASE TRIANGULAR

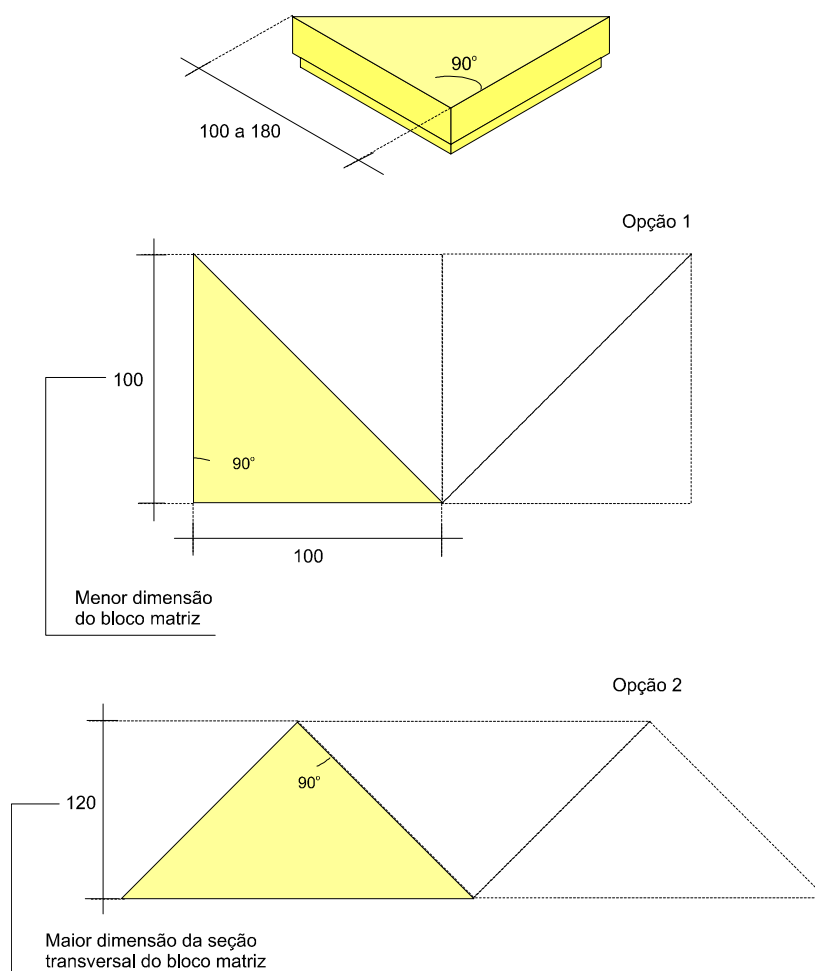


Figura 4.2 - p

4.3 Painéis pré-fabricados

Os painéis pré-fabricados são de conformação simples, como pode ser visto nas **figuras 4.3-a** , **4.3-b** , **4.3-c** e **4.3-d**. Eles podem ser entendidos como uma extensão das vigotas pré-fabricadas destinadas às lajes nervuradas tradicionais, estudadas nos itens **4.1 e 4.2**.

A vantagem deste tipo de elemento pré-fabricado em relação aos anteriormente apresentados é o de ter grandes dimensões, mas de peso controlado. Ele permite formar uma laje com superfície inferior contínua de concreto armado. Como se pode observar nas figuras acima citadas, com estes painéis podem ser projetadas tanto lajes unidirecionais quanto bidirecionais.

Constata-se que com painéis pré-fabricados é perfeitamente exequível construir lajes maciças. A montagem deste tipo de laje é feita usualmente com equipamentos mecânicos, exceto as lajes de menor peso, que podem ser montadas manualmente.

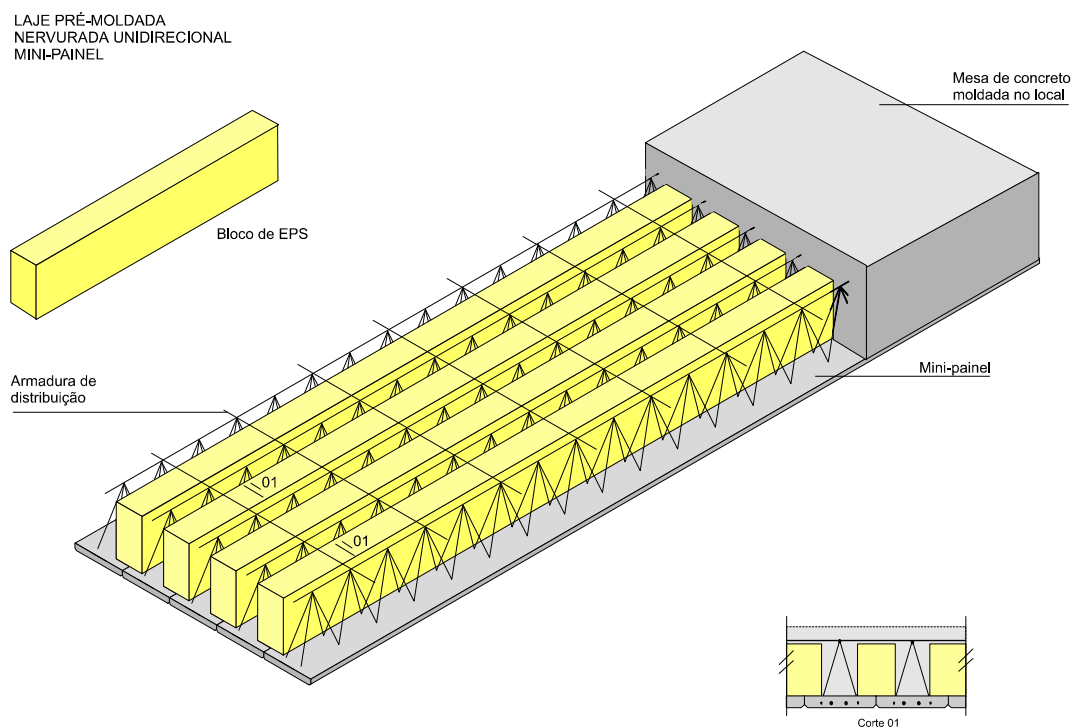


Figura 4.3 - a

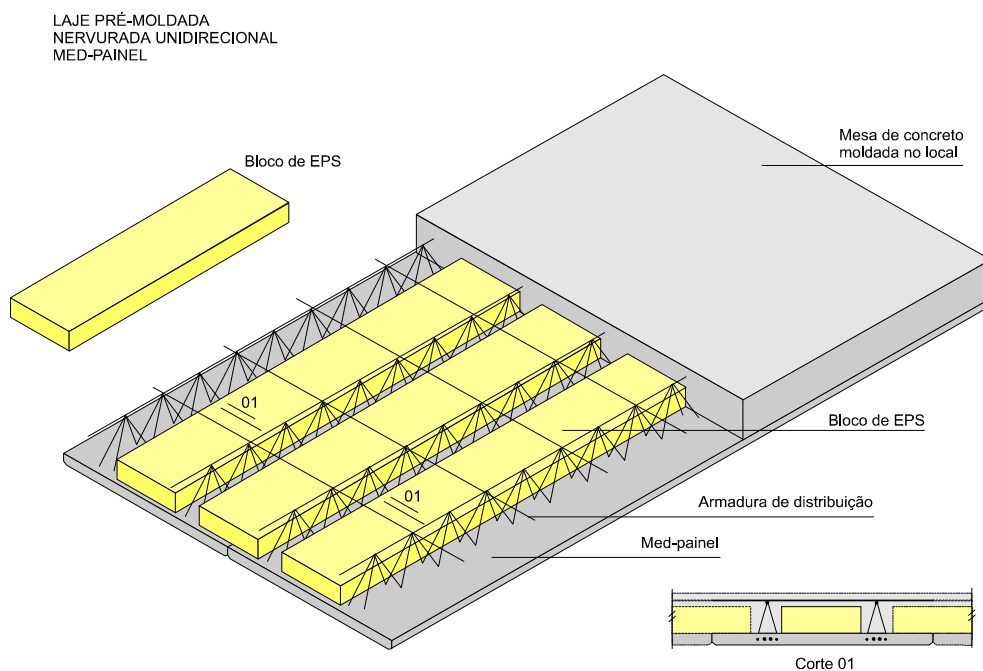


Figura 4.3 - b

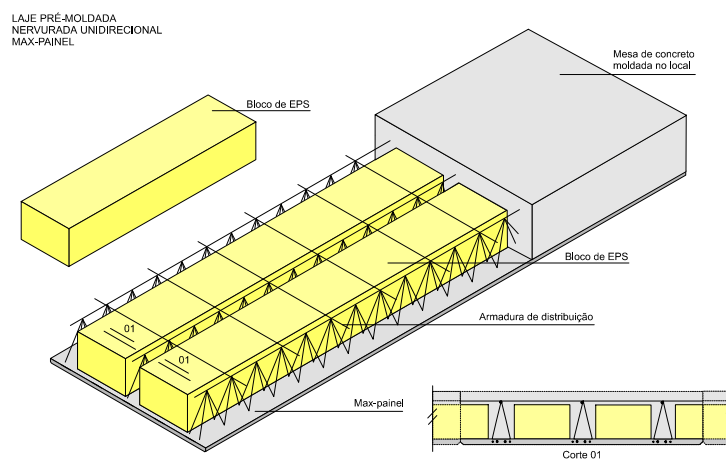
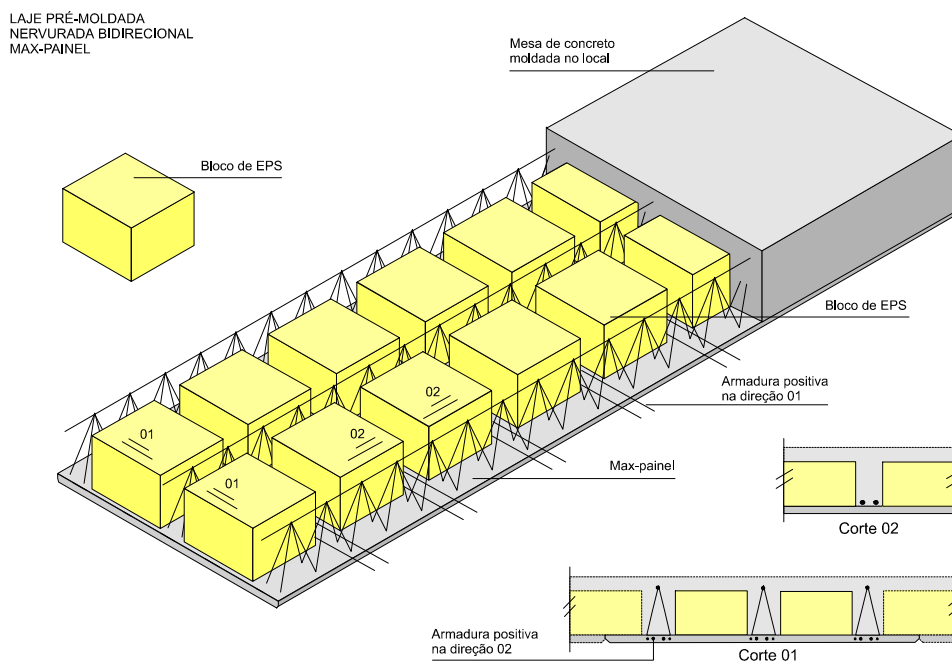
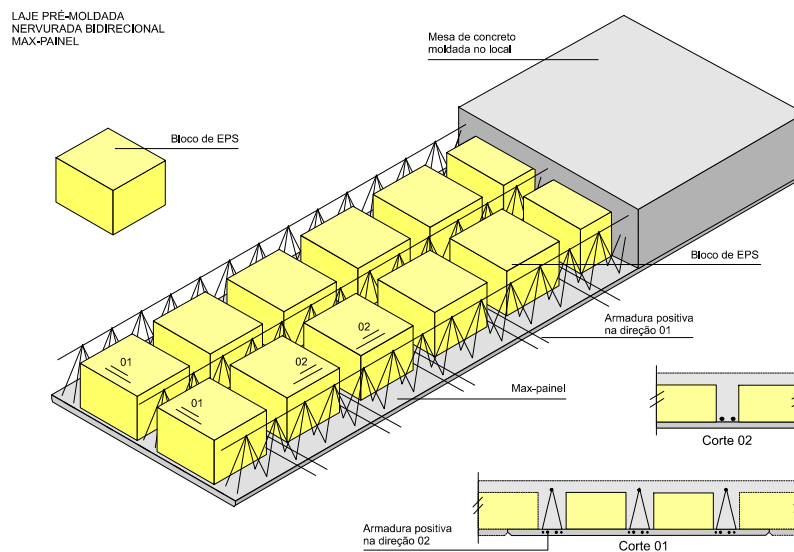


Figura 4.3 - c

Nas lajes dos edifícios de andares múltiplos, submetidas a solicitações usuais, empregam-se freqüentemente as dimensões seguintes:

- altura total da laje: 12 a 30 cm
- espessura da mesa da laje: 4 a 6 cm
- espessura da mesa do painel: 4 a 5 cm
- largura do painel: 25 a 125 cm



Modernamente, também são usados painéis de E.P.S. com perfís metálicos embutidos, ou com vigotas treliçadas embutidas, que podem ser vistos nas figuras 4.3-e, 4.3-f e 4.3-g.

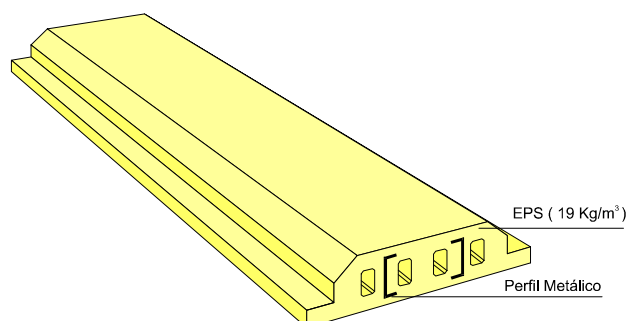
A vantagem deste tipo de painel pré-fabricado em relação aos tradicionais painéis pré-moldados de concreto, é poder realizar um elemento pré-fabricado de grandes dimensões e de pequeno peso, e que oferece uma eficiente barreira de isolamento termo acústica.

Estes painéis são produzidos pelo processo de moldagem contínua em máquinas de terceira geração, que permitem embutir elementos metálicos (p. ex.: perfis ou vigotas) durante o ciclo de moldagem dos painéis de E.P.S.

As citadas máquinas permitem a produção contínua de peças das mais variadas formas, maciças ou com vazios, de duas densidades: núcleo leve e capa pesada e rígida.

LAJES EM PAINÉIS DE EPS

EXEMPLO 01



EXEMPLO 02

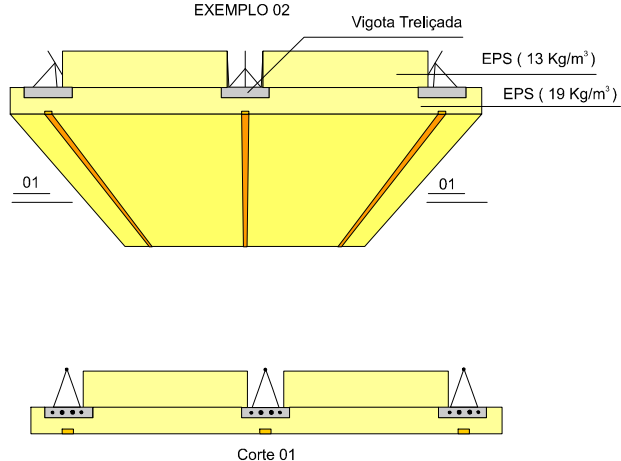


Figura 4.3 - e

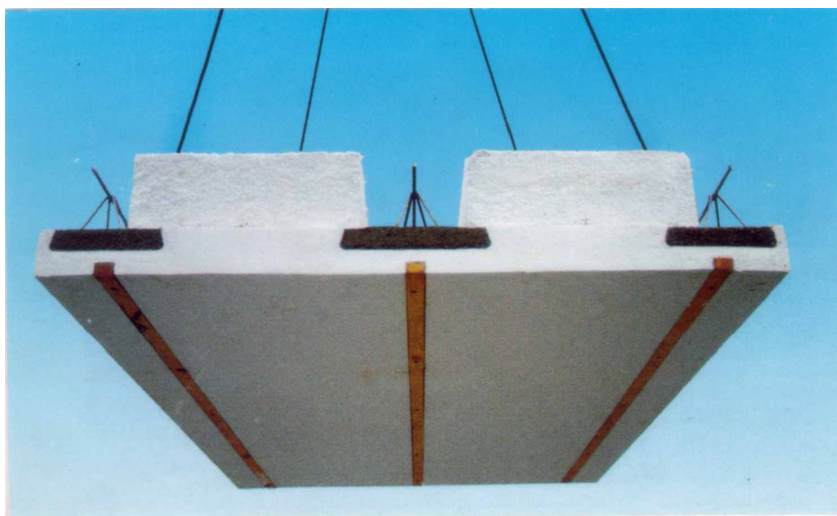


Figura 4.3-f



Figura 4.3-g

4 - Montagem das Lajes

A montagem das lajes pré-moldadas unidirecionais é constituída de um conjunto de operações simples, cuja técnica é perfeitamente dominada no meio técnico nacional. A montagem das lajes bidirecionais também é bastante simples e semelhante à das lajes unidirecionais.

Apresenta-se a seguir um conjunto de fotografias de obras que registram a montagem do Sistema Construtivo Franca, e que servem para ilustrar a montagem das lajes pré-moldadas nervuradas bidirecionais em geral.

Pela observação das **figuras 4.4-a , 4.4-b e 4.4-c** verifica-se que os elementos que compõem o sistema são singulares, leves e resistentes, o que torna seu transporte e manuseio bastante práticos e econômicos. A facilidade de montagem se deve também à perfeita compatibilidade entre os elementos do sistema.

As operações de montagem iniciam-se com o posicionamento das vigotas sobre o cimbramento, seguido-se a colocação alternada dos blocos e das plaquetas. Em virtude da perfeita padronização do sistema, a montagem se torna uma operação rítmica, de elevada rapidez e baixo custo.

Pela observação das fotos citadas, verifica-se que são as vigotas os elementos que garantem a estabilidade do sistema durante as fases de montagem e de concretagem. O cimbramento é projetado para dar apoio às vigotas. O espaçamento máximo entre linhas de escoras (vide **tabela 7.6**) é função das solicitações atuantes durante as fases de montagem e de concretagem. Este espaçamento depende da treliça usada na vigota e, em particular do da bitola da barra de aço do banzo superior (ferro negativo) da treliça.



Figura 4.4-a



Figura 4.4-b



Figura 4.4-c

4.5 -Montagem das Armaduras

As armaduras das lajes nervuradas pré-fabricadas são similares às usadas nas lajes nervuradas moldadas no local. Elas devem respeitar as mesmas regras de detalhamento previstas pela NBR-6118.

Nas lajes nervuradas bidirecionais enquadradas no grupo I (vide **item 4.2.1**), a presença de vigotas treliçadas não exige um cálculo diferente daquele usado para as lajes nervuradas moldadas no local, que empregam armaduras formadas por barras isoladas de aço. Neste tipo de laje pré-fabricada, a barra de aço superior e as barras diagonais da treliça têm por finalidade básica dotar as vigotas de resistência suficiente para enfrentar as solicitações advindas do manuseio, montagem e concretagem.

Já nas lajes nervuradas bidirecionais do grupo II (**item 4.2.2**) e nas grelhas, as armaduras treliçadas podem participar da resistência da laje em relação ao cisalhamento, conforme foi visto no **item 2.3**.

É evidente que tais barras da armadura treliças participam da resistência da peça mesmo depois do concreto endurecido. Vale então salientar que existem ocasiões em que é recomendável tirar partido da existência dessas armaduras.

As barras inferiores da treliça participam da resistência à flexão da laje e devem ser computadas no cálculo da seção de aço.

Pelas razões acima expostas e por questões de custo, para as lajes do grupo I, é recomendável usar a treliça mais leve ($H=8\text{cm}$) disponível no mercado. Quando o comprimento da vigota é próximo dos 10 metros, usualmente são empregadas treliças mais altas ($H=12\text{cm}$), para facilitar o manuseio da peça. Nestas condições, recomenda-se aproveitar o emprego dessas treliças mais altas, distanciando mais as linhas de escoras, por uma questão de economia.

As armaduras da face superior da laje (armaduras negativas) são posicionadas na mesa superior, ao longo dos apoios dos painéis das lajes, ou concentradas nos cruzamentos das nervuras com os referidos apoios.

As armaduras da face inferior da laje (armaduras positivas), como em toda laje nervurada, são dispostas em duas direções ortogonais (eventualmente diagonalizadas), estando situadas no interior das nervuras.

A armadura positiva na direção das vigotas fica embutida no interior da sapata das vigotas, sendo colocada durante a sua confecção. Caso se faça necessário, é possível colocar uma parte suplementar da armadura em uma segunda camada, sobre a sapata, por ocasião da montagem da laje.



Figura 4.5-a

A armadura na direção das plaquetas é colocada sobre as mesmas, durante a fase de montagem, em uma operação bastante simples, como pode ser observado na **figura 4.5-a**. No caso das plaquetas serem substituídas por blocos de E.P.S. com abas salientes, as armaduras são colocadas de maneira semelhante, tomando-se o cuidado de elevá-la da aba, para garantir o cobrimento de sua parte inferior.

As armaduras dos Sistemas Construtivos Franca 3 e 4 são dispostas em três e quatro direções, respectivamente. Elas não apresentam qualquer inconveniente e são similares às armaduras das grelhas com nervuras em três e quatro direções moldadas no local, com exceção da presença da treliça, conforme analisado no **item 4.2.**

4.6 - Concretagem das Lajes

A concretagem das lajes pré-fabricadas nervuradas com blocos de E.P.S. poderá ser feita com concreto usinado bombeado diretamente sobre a laje, visto que o sistema suportm

perfeitamente bem, as solicitações advindas das operações de concretagem.

É evidente que os blocos de E.P.S. devem ser dimensionados para suportar tais solicitações.

Como referência poderá ser citado o Sistema Construtivo Franca - 1, cujas operações de concretagem podem ser observadas na **figura 4.6-a**.

Em obras de edifícios de andares múltiplos, solicitados por carregamentos usuais, recomendam-se as especificações seguintes:

- Massa específica aparente mínima do E.P.S.: 10 kg/m^3 ;
- Dimensões da face superior do bloco: 50 x 50 centímetros;
- Altura mínima do bloco: 8 cm;
- Altura mínima para permitir o tráfego dos operários pisando diretamente sobre os blocos: 14 cm.



Figura 4.6 — a



Figura 4.6-a

4.7 - Revestimento das Lajes

Para o revestimento da face inferior das lajes construídas com blocos de E.P.S. empregam-se os mesmos procedimentos usuais utilizados para revestir qualquer tipo de laje, maciça ou pré-fabricada, conforme se observa na **figura 4.7-a**. Para isso são feitas as seguintes recomendações:

Revestimento de Base:

- **Chapisco de cimento e areia**
- **Gesso** com espessura de 0,5 a 1,0 cm. com traço de 1:3 (cimento:areia média) que pode ser opcionalmente aditivado com composto adesivo para chapisco (por exemplo: Bianco da Vedacit ou Sikafix da Sika);
- **Pintura texturizada** formada pela mistura de cola branca para madeira ou papel (por exemplo Norcola) e água em partes iguais, com um pouco de areia grossa (solução menos usada).

Revestimento Externo

- **Reboco** com traço 1:2:9 (cimento:cal hidratada:areia fina) com espessura de 1,0 a 1,5cm;



Figura 4.7-a

4.8 - Fabricação das Lajes

A fabricação das lajes pré-moldadas treliçadas pode ser feita no canteiro de obra ou em pequenas instalações fabris, já existindo equipamentos de terceira geração para sua fabricação automatizada. A fabricação em canteiro de obra ou em pequenas instalações fabris está mostrada nas **figuras 4.8-a e 4.8-b**.

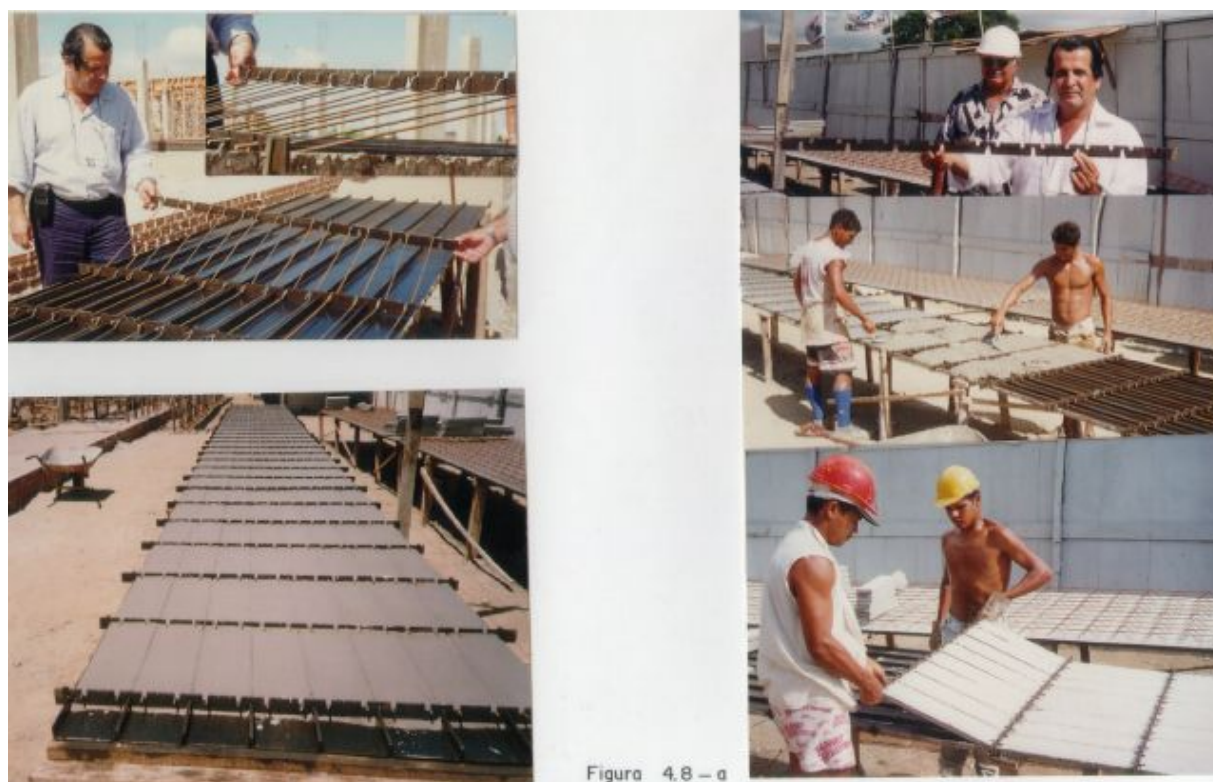


Figura 4.8-a

Os blocos de E.P.S. são normalmente entregues cortados no canteiro da obra. As operações de fabricação das vigotas e plaquetas são bastantes simples, recomendando-se todavia precisão milimétrica das dimensões, a fim de se evitarem dificuldades na montagem do sistema. Os equipamentos necessários a fabricação das vigotas e plaquetas se resumem basicamente em um conjunto de formas metálicas, uma betoneira, uma máquina para estirar e uma serra de disco de corte para ferro, e uma pequena prensa para moldar os ferros da plaqueta (**figura 4.8-b**)

Para fabricação das plaquetas idealizou-se um pente removível (régua dentada observada na **figura 4.8-a**) que serve de suporte para armação e separação das plaquetas. As fôrmas que são usadas para confecção das plaquetas são as mesmas usadas para moldar vigotas, visto que os pentes são removíveis e se fixam nas laterais das fôrmas externas. É digna de registro a importância das garras de aço das plaquetas para as operações de moldagem e desmoldagem das peças. Para confecção das plaquetas do tipo 3 não existe qualquer dificuldade, pois é suficiente a substituição do pente visto nas fotos da **figura 4.8-a**, que é uma régua dentada plana, por outra poligonal (plissada).



Figura 4.8 - b

Figura 4.8-b

5 ESTIMATIVA DE CUSTOS ⁷

Trabalho realizado pelos seguintes engenheiros:

Argemiro Brito Monteiro da Franca

Maria de Fátima de Araújo Viana

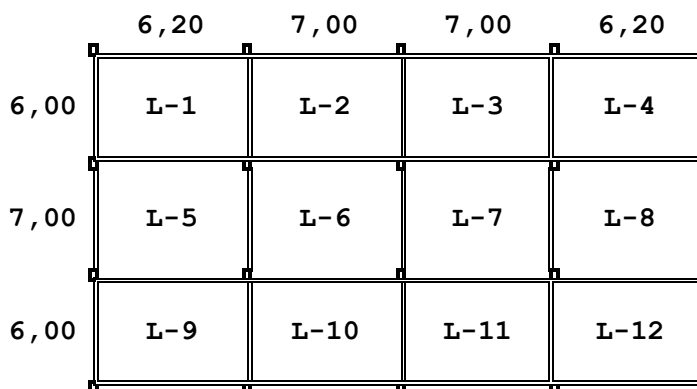
Maria de Fátima Rodrigues

5.1 Hipóteses admitidas

O emprego do EPS nas lajes dos edifícios proporciona alívio de cargas, com a conseqüente redução das solicitações tanto nas lajes, quanto nas vigas, nos pilares e nas fundações, economizando-se, assim, aço, concreto, forma e mão de obra em toda a estrutura.

Na seqüência apresenta-se uma estimativa dos custos de construção correspondentes a diferentes tipos de lajes.

O estudo foi feito considerando-se um edifício ideal de 10 pavimentos elevados, com o arranjo em planta mostrado na **figura 5.1-a**.



**Planta do andar tipo do edifício ideal estudado para a
comparação de custos
Figura 5.1-a**

Tendo em vista que o objetivo da comparação é estudar a influência dos diferentes tipos de lajes nos custos de construção, no dimensionamento da estrutura global admitiu-se a existência de

⁷ Transcrição do trabalho apresentado pelo Eng. Argemiro Brito Monteiro da Franca em 17-9-96 no Instituto de Engenharia de São Paulo

pilares em todos os cruzamentos de vigas, não tendo sido considerada a ação do vento sobre a estrutura.

O estudo comparativo de custos foi realizado admitindo-se os seguintes níveis de carregamento:

- 1- Lajes com cargas usuais;
- 2 -Lajes com cargas máximas admissíveis (correspondentes a flechas admissíveis).

Os parâmetros considerados no cálculo estão definidos a seguir:

PARÂMETRO	CARGA USUAL	CARGA MÁXIMA
Concreto (f_{ck})	20 MPa	20 MPa
Aço	CA-50	CA-50
Sobrecarga - kN/m ² (kgf/m ²)	1,50 (150)	1,50 (150)
Carga-Permanente kN/m ² - (kgf/m ²)	1,50 (150)	3,05 (305)

5.2 Sistemas construtivos considerados

Neste estudo comparativo foram consideradas lajes maciças tradicionais e diferentes arranjos de lajes nervuradas pré-fabricadas, construídas com vigotas treliçadas e blocos de EPS.

Os sistemas estudados foram os seguintes:

- I. Laje maciça tradicional
- II. Laje nervurada pré-fabricada unidirecional
- III. Laje nervurada pré-fabricada bidirecional ⁸
- IV. Laje nervurada bidirecional tipo "Colmeia"
- V. Laje nervurada bidirecional tipo "Teto Plano"

I. Laje maciça tradicional

⁸ Sistema Franca - desenvolvido pelo Eng. Argemiro Brito Monteiro da Franca

Lajes maciças apoiadas em vigas e estas em pilares que transferem as cargas para as fundações.

II. Laje nervurada pré-fabricada unidirecional

Lajes construídas com vigotas pré-fabricadas treliçadas, blocos de poliestireno expandido (EPS) e vigas de travamento moldadas no local.

Este sistema reduz o consumo de concreto e o peso próprio da laje em consequência do emprego de blocos de EPS com peso praticamente desprezível.

Neste caso, como é pequeno o número de nervuras transversais, não compensa a fabricação de plaquetas. A fôrma deste tipo de laje fica reduzida à tábua de fundo das nervuras de travamento.

A utilização das vigotas pré-fabricadas em conjunto com os blocos de EPS permite uma significativa redução dos custos de formas e de escoramento, ganhando-se tempo e mão de obra.

III. Laje nervurada pré-fabricada bidirecional

Lajes compostas por vigotas pré-fabricadas treliçadas, blocos de poliestireno expandido (EPS) e plaquetas pré-fabricadas para a moldagem das nervuras transversais.

Analogamente ao anterior, este sistema propicia uma substancial redução do consumo de concreto e de aço, reduzindo-se significativamente o peso próprio da estrutura.

A utilização das plaquetas pré-moldadas permite a construção de lajes bidirecionais sem a necessidade de fôrmas de madeira, nem mesmo do emprego de tábuas como fôrma do fundo das nervuras transversais. As plaquetas também permitem que, em certos trechos, a laje nervurada seja transformada em laje maciça, como pode ser necessário ao longo das vigas de apoio ou em trechos localizados, em virtude de particularidades do arranjo construtivo da laje.

IV. Laje nervurada bidirecional tipo "Colmeia"

Laje nervurada moldada no local, com a utilização de blocos de EPS como elementos de enchimento, e com armaduras montadas no local, sem o uso de treliças pré-fabricadas.

Os blocos de EPS podem ser perdidos ou recuperáveis. O índice de reaproveitamento dos blocos de EPS é superior a 80%. Com o reaproveitamento dos blocos, por um problema estético, torna-se necessário o uso de forro na face inferior da laje.

Este sistema também propicia uma grade redução do peso próprio da laje, com o conseqüente alívio de esforços e redução do consumo de concreto e aço de toda a estrutura.

No caso do reaproveitamento, os blocos devem ser colocados em sacos plástico, para se evitar a sua aderência ao concreto e facilitar a retirada posterior.

Todavia, o não reaproveitamento dos blocos, com a permanência do EPS na laje, proporciona um excelente isolamento termo-acústico dos ambientes, permitindo uma melhor qualidade de vida para os usuários da construção.

V. Laje nervurada bidirecional tipo "Teto Plano"

Semelhante ao tipo anterior, este tipo de laje é moldado no local e a armadura também é montada no local, diferindo apenas pela ausência das vigas.

Neste sistema estrutural as lajes se apoiam diretamente nos pilares.

No entorno dos pilares são feitos trechos maciços, que permitem a transferência das reações de apoio das nervuras para os pilares e garantem a resistência da laje à punção.

A ausência de vigas proporciona maior liberdade na definição dos espaços internos além de simplificar a execução de formas e a concretagem.

Como no sistema anterior, este também permite o reaproveitamento dos blocos de EPS, com índice semelhante, mantendo-se, também neste caso, a necessidade do uso de forro.

O reaproveitamento do EPS exige os mesmos cuidados já citados anteriormente, ou seja, a utilização de sacos plásticos para facilitar a retirada dos blocos.

5.3 Levantamento do consumo de materiais

Após o dimensionamento das lajes, foram levantados os consumos de materiais correspondentes a cada um dos casos estudados, que estão nos **Quadros 1.1, 1.2, 2.1, 2.2 e 3.1**, a seguir apresentados.

Os consumos unitários de materiais e mão de obra foram extraídos da TCP09 e através de pesquisa em obras locais.

I - Estudo Comparativo levando em consideração as lajes isoladamente

Quadro 1.1 - Lajes com cargas usuais

TIPO DE LAJE	ALTURA TOTAL cm	PESO PRÓPRIO kgf/m ²	CONCRETO m ³ /m ²	AÇO kg/m ²	FÔRMA m ² /m ²	TRELIÇA kg/m ²	E. P. S. m ³ /m ²
Tradicional (Maciça)	9,00	225,00	0,090	5,00	1,00		
Treliçada Unidirecional	16,00	193,00	0,077	4,05	0,08	1,95	0,083
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	12,00	160,00	0,067	3,47		1,06	0,053
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)	12,00	160,00	0,067	3,06	1,00		0,053

Quadro 1.2 - Lajes com cargas máximas

TIPO DE LAJE	ALTURA TOTAL cm	PESO PRÓPRIO kgf/m ²	CONCRETO m ³ /m ²	AÇO kg/m ²	FÔRMA m ² /m ²	TRELIÇA kg/m ²	E. P. S. m ³ /m ²
Tradicional (Maciça)	9,00	225,00	0,090	6,68	1,00		
Treliçada Unidirecional	20,00	220,00	0,088	4,75	0,08	2,20	0,112
Treliçada Bi-Direcional (Sistema Franca)	12,00	160,00	0,067	4,43		1,06	0,053
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)	12,00	160,00	0,067	4,02	1,00		0,053

II - Estudo Comparativo levando em consideração as lajes e vigas em conjunto

Quadro 2.1 - Lajes com cargas usuais

TIPO DE LAJE	ALTURA TOTAL cm	CONCRETO m ³ /m ²	AÇO kg/m ²	FORMA m ² /m ²	TRELIÇA A kg/m ²	E.P.S . m ³ /m ²
Tradicional (Maciça)	9,00	0,114	7,61	1,45		
Treliçada Unidirecional	16,00	0,100	6,49	0,53	1,95	0,083
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	12,00	0,091	5,78	0,45	1,06	0,053
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)	12,00	0,091	5,37	1,45		0,053
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)	20,00	0,150	9,78	1,00		0,050

Quadro 2.2 - Lajes com cargas máximas

TIPO DE LAJE	ALTURA TOTAL cm	CONCRETO m ³ /m ²	AÇO kg/m ²	FORMA m ² /m ²	TRELIÇA A kg/m ²	E.P.S . m ³ /m ²
Tradicional (Maciça)	9,00	0,114	10,07	1,45		
Treliçada Unidirecional	20,00	0,112	8,06	0,53	2,11	0,112
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	12,00	0,088	7,20	0,45	1,06	0,053
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)	12,00	0,088	6,79	1,45		0,053
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)	20,00	0,150	11,28	1,00		0,050

III - Estudo Comparativo Global levando em
consideração as lajes, vigas e pilares
com cargas usuais

Quadro 3.1 - Lajes com cargas
usuais

TIPO DE LAJE	ALTURA TOTAL cm	CONCRETO m ³ /m ²	AÇO kg/m ²	FORMA m ² /m ²	TRELI- ÇA kg/m ²	E.P.S . m ³ /m ²
Convencional (Maciça)	9,00	0,127	9,42	1,61		
Treliçada Unidirecional	16,00	0,113	8,43	0,69	2,11	0,083
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	12,00	0,101	7,38	0,61	1,06	0,053
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)	12,00	0,101	6,97	1,61		0,053
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)	20,00	0,166	12,74	1,16		0,050

5.4 Composição dos custos unitários

Na composição dos custos unitários foram consideradas:

- a) as quantidades de materiais utilizadas;
- b) a mão de obra necessária;
- c) os equipamentos empregados.

No cálculo do custo das fôrmas de madeira considerou-se uma utilização de cinco vezes, embora esse reaproveitamento possa ser maior.

Para efeito do cálculo de custo, todas as lajes foram consideradas como revestidas com gesso, uma vez que o custo deste revestimento é menor que o do revestimento tradicional, como demonstrado adiante no Quadro 4.

Nas lajes tipo Colmeia e Teto Plano, com reaproveitamento do EPS, onde se faz necessário o uso de fôrro, foi considerado o forro de gesso em placas.

Os custos unitários dos insumos (materiais, mão-de- obra e equipamentos) foram obtidos através de cotação de preços na praça de João Pessoa/PB, em agosto de 1996.

O custo da preparação, lançamento e adensamento do concreto está reunido em um único valor de R\$ 118,14 /m³ (Quadro 5).

No custo da fôrma está incluído o escoramento, salientando-se porém as diferenças detalhadas a seguir:

-Laje Unidirecional - R\$ 2,06/m² (Quadro 5)

A fôrma fica reduzida apenas à tábua de fundo das vigas de travamento. O escoramento está incluído.

- Laje Bidirecional (Sistema Franca) - R\$ 1,44/m² (Quadro 5)

Não há fôrma. O custo acima refere-se apenas ao escoramento.

Quadro 4 - Custo unitário dos revestimentos. (R\$/m²)

Tipo de Revestimento	Chapisco 1:4	Massa Única 1:2:8	Massa Corrida	Revest. com Gesso	Forro de Gesso	CUSTO FINAL
Revest. Tradicional	1,57	6,21	1,72	-	-	9,50
Revest. com Gesso	-	-	-	4,33	-	4,33
Forro de Gesso	-	-	-	-	6,00	6,00

Quadro 5 - Custo Unitário dos Serviços

TIPO DE LAJE	CON- CRETO R\$/m ³	AÇO R\$/kg	FOR- MA R\$/m ²	TRE- LIÇA R\$/kg	E.P.S. R\$/m ³	SACO PLÁS- TICO R\$/uni	REVEST. COM GESSO R\$/m ²	FORRO DE GESSO R\$/m ²
Convencional (Maciça)	118,14	1,12	12,65				4,33	
Treliçada Unidirecional	118,14	1,12	2,06	1,28	61,47		4,33	
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	118,14	1,12	1,44	1,28	61,47		4,33	
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)								
a) Com reaprov. do E.P.S.	118,14	1,12	11,19		61,47	0,13		6,00
b) Sem reaprov. do E.P.S.	118,14	1,12	11,19		61,47		4,33	
Nervurada Bi- direcional (Teto Plano)								
a) Com reaprov. do E.P.S.	118,14	1,12	11,19		61,47	0,13		6,00
b) Sem reaprov. do E.P.S.	118,14	1,12	11,19		61,47		4,33	

(*) Considerou-se revestimento de gesso em todas as lajes, exceto nas Lajes Tipo Colmeia e Teto Plano com reaproveitamento do EPS, onde se faz necessária a colocação de forro, sendo considerado o de gesso.

(**) No custo de forma da Laje Treliçada Sistema Franca está considerado apenas o escoramento uma vez que esta laje dispensa o uso de forma.

(***) No custo de forma da Laje Treliçada Unidirecional está considerado o escoramento e a tábua de fundo das vigas de travamento uma vez que esta é a única fôrma usada neste tipo de laje.

5.5 Comparação de custos

I - Custo comparativo levando em consideração as lajes isoladamente

Quadro 6 - Lajes com cargas usuais

TIPO DE LAJE	CON- CRETO	AÇO	FÔR- MA	TRE- LIÇA	E. P. S.	SACO	REVEST C/ GESSO	FÔRRO	
	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²	PLÁS- TICO R\$/m ²	R\$/m ²	GESSO R\$/m ²	TRAD. (%)
Tradicional (Maciça)	10,63	5,60	12,65				4,33		
Treliçada Unidirecional	9,10	4,54	2,06	2,50	5,10		4,33		- 16,84
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	7,92	3,89	1,44	1,36	3,26		4,33		- 33,20
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	7,92	3,43	11,19		0,65	0,52		6,00	- 10,56
b) Sem reaprov. do E.P.S.	7,92	3,43	11,19		3,26		4,33		-9,31

(****) Chama-se a atenção para o fato de que na coluna "TOTAL" dos Quadros de 6 a 10 e no Quadro 11, os custos unitários estão acrescidos do revestimento ou forro, de acordo com cada caso.

Quadro 7 - Lajes com carga máxima

TIPO DE LAJE	CON- CRETO R\$/m ²	AÇO R\$/m ²	FÔR- MA R\$/m ²	TRELI ÇA R\$/m ²	E. P. S R\$/m ²	SACO PLÁS TICO R\$/m ²	REVEST COM GESSO R\$/m ²	FORRO GESSO R\$/m ²	TRAD. (%)
Convencional (Maciça)	10,63	7,48	12,65				4,33		
Treliçada Unidirecional	10,40	5,32	2,06	2,82	6,88		4,33		-9,37
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	7,92	4,96	1,44	1,36	3,26		4,33		- 33,72
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	7,92	4,50	11,19		0,65	0,52		6,00	- 12,30
b) Sem reaprov. do E.P.S.	7,92	4,50	11,19		3,26		4,33		- 11,11

II - Custo comparativo levando em consideração as lajes e vigas em conjunto

Quadro 8 - Lajes com cargas usuais

TIPO DE LAJE	CONCRETO R\$/m ²	AÇO R\$/m ²	FORMA R\$/m ²	TRELIÇA R\$/m ²	E.P.S R\$/m ²	SACO PLÁSTICO R\$/m ²	REVEST COM GESSO R\$/m ²	FORRO GESSO R\$/m ²	TRAD. (%)
Convencional (Maciça)	13,47	8,52	18,34				4,33		
Treliçada Unidirecional	11,81	7,27	7,75	2,50	5,10		4,33		- 13,21
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	10,75	6,47	7,13	1,36	3,26		4,33		- 25,44
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	10,75	6,01	16,23		0,65	0,52		6,00	- 10,08
b) Sem reaprov. do E.P.S.	10,75	6,01	16,23		3,26		4,33		-9,15
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	17,72	10,95	11,19		0,61	0,52		6,00	5,23
b) Sem reaprov. do E.P.S.	17,72	10,95	11,19		3,07		4,33		5,83

Quadro 9 - Lajes com cargas máximas

TIPO DE LAJE	CONCRETO R\$/m ²	AÇO R\$/m ²	FÔR- MA R\$/m ²	TRE- LIÇA R\$/m ²	E. P. S R\$/m ²	SACO PLÁS- ICO R\$/m ²	REVEST. C/ GESSO R\$/m ²	FORRO GESSO R\$/m ²	TRAD. (%)
Tradicional (Maciça)	13,47	11,28	18,34				4,33		
Treliçada Unidirecional	13,23	9,03	7,75	2,70	6,88		4,33		-7,36
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	10,40	8,06	7,13	1,36	3,26		4,33		- 27,16
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	10,40	7,60	16,23		0,65	0,52		6,00	- 12,70
b) Sem reaprov. do E.P.S.	10,40	7,60	16,23		3,26		4,33		- 11,82
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	17,72	12,63	11,19		0,61	0,52		6,00	2,66
b) Sem reaprov. do E.P.S.	17,72	12,63	11,19		3,07		4,33		3,22

III - Custo Comparativo levando em consideração as lajes, vigas e pilares com cargas usuais.

Quadro 10 - Lajes com cargas usuais

TIPO DE LAJE	CONCRETO R\$/m ²	AÇO R\$/m ²	FÔRMA R\$/m ²	TRELIÇA R\$/m ²	E.P.S R\$/m ²	SACO PLÁSTICO R\$/m ²	REVEST COM GESSO R\$/m ²	FÔRRO GESSO R\$/m ²	TRAD. (%)
Tradicional (Maciça)	15,00	10,55	20,37				4,33		
Treliçada Unidirecional	13,35	9,44	9,78	2,70	5,10		4,33		- 11,04
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	11,93	8,27	9,16	1,36	3,26		4,33		- 23,78
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	11,93	7,81	18,02		0,65	0,52		6,00	- 10,60
b) Sem reaprov. do E.P.S.	11,93	7,81	18,02		3,26		4,33		-9,77
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)									
a) Com reaprov. do E.P.S.	19,61	14,27	12,98		0,61	0,52		6,00	7,45
b) Sem reaprov. do E.P.S.	19,61	14,27	12,98		3,07		4,33		7,99

IV - Comparação do custo global entre os diversos casos estudados.

Quadro 11 - Comparativo entre os casos estudados

O Quadro 11 é um resumo dos cinco quadros anteriores, reunindo em um só os custos finais de todas as lajes estudadas.

TIPO DE LAJE	LAJES ISOLADAS		LAJES E VIGAS EM CONJUNTO		LAJES, VIGAS E PILARES
	CARGAS		CARGAS		CARGAS
	USU- AIS	MÁXI- MAS	USU- AIS	MÁXI- MAS	USUAIS
	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²	R\$/m ²
Tradicional Maciça	33,21	35,09	44,66	47,42	50,25
Treliçada Unidirecional	27,62	31,81	38,76	43,93	44,70
Treliçada Bidirecional (Sistema Franca)	22,19	23,26	33,30	34,54	38,30
Nervurada Bidirecional (Tipo Colmeia)					
a) C/reap. Do E.P.S.	29,70	30,78	40,16	41,40	44,93
b) S/reap. Do E.P.S.	30,12	31,20	40,58	41,81	45,34
Nervurada Bidirecional (Teto Plano)					
a) C/reap. do E.P.S.			47,00	48,68	54,00
b) S/reap. do E.P.S.			47,27	48,95	54,26

Obs.: Lembra-se que os custos unitários acima estão acrescidos do revestimento ou forro, com cada caso.

5.6 Análise dos resultados

Na análise dos resultados apresentados é importante notar que pequenas diferenças de custo não são significativas, considerando todas as incertezas que, em situações reais, existem nas variáveis consideradas.

Por esta razão, na análise feita a seguir, dá-se ênfase apenas às diferenças mais importantes.

1 - Considerando as lajes isoladamente.

No caso com cargas usuais, todas as lajes com EPS são mais econômicas que a **Laje Tradicional Maciça**, sendo a **Treliçada Bidirecional** (Sistema Franca) a que oferece mais vantagem, com custo 33,20% menor que a maciça, seguida da **Treliçada Unidirecional**, com custo 16,84% mais baixo que a maciça. (Quadro 6)

No caso de cargas máximas, verifica-se também que todas as **lajes com EPS** são mais econômicas que a **Laje Tradicional Maciça**, mantendo-se a **Treliçada Bidirecional** (Sistema Franca) como a que oferece mais vantagem, com custo 33,72% menor que a laje maciça. A Laje Treliçada Unidirecional fica neste caso com custo apenas 9,37% menor que o da laje maciça, sendo superada pela **Laje Bidirecional Tipo Colmeia**, que é moldada no local, com reaproveitamento do EPS, que tem custo 12,30% menor que a laje maciça. (Quadro 7)

2 - Considerando as lajes e vigas em conjunto.

No caso de cargas, usuais verifica-se que apenas as **Lajes Teto Plano** apresentam custo superior às **Lajes Maciças**. Também neste caso a **Laje Treliçada Bidirecional** (Sistema Franca) apresenta maior vantagem, com custo 25,44% menor que o da laje maciça, seguida neste caso pela **Laje Treliçada Unidirecional**, com custo 13,21% menor que o da laje maciça, próximo do custo da **Laje Tipo Colmeia** com reaproveitamento do EPS, que é 10,08% menor que o custo da laje maciça. (Quadro 8)

Nas lajes onde foram consideradas as cargas máximas, repete-se a situação anterior, permanecendo a **Laje Treliçada Biirecional** (Sistema Franca) como a que oferece mais vantagem, com custo 27,16% menor que o da laje maciça, seguida da **Laje Tipo Colmeia** com reaproveitamento do EPS, que tem custo 12,70% menor que a laje tradicional maciça. (Quadro 9)

3 - Considerando as lajes, vigas e pilares em conjunto.

Neste caso, consideraram-se apenas as cargas usuais. Verifica-se que a **Laje Bidirecional Teto Plano**, moldada no local, continua com custo superior ao das lajes maciças. A **Laje Treliçada Bidirecional** (Sistema Franca) ainda apresenta maior vantagem, com

custo 23,42% menor que o da laje maciça, seguida da **Laje Tipo Colmeia** com reaproveitamento do EPS, que tem custo 11,04% menor que o da laje maciça. (Quadro 10)

5.7 OBSERVAÇÃO FINAL

Finalizando este estudo, pode-se dizer que as lajes que utilizam o **Poliestireno Expandido (EPS)** apresentam vantagens técnicas e econômicas em relação às lajes maciças tradicionais.

No entanto, salienta-se que os resultados deste estudo não podem ser irrestritamente generalizados, embora possam ser considerados como fornecendo uma idéia razoável dos custos dos diversos tipos de laje, tendo em vista a escolha dos arranjos estruturais em casos reais.

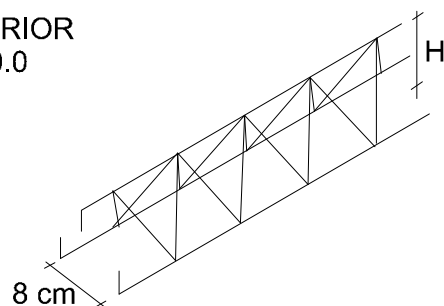
6 TABELAS GERAIS

6.1 ARMADURAS TRELIÇADAS

$$8 \leq H \leq 30$$

CORDÃO SUPERIOR
 $6,0 \leq \varnothing \leq 10,0$

CORDÃO INFERIOR
 $4,2 \leq \varnothing \leq 10,0$

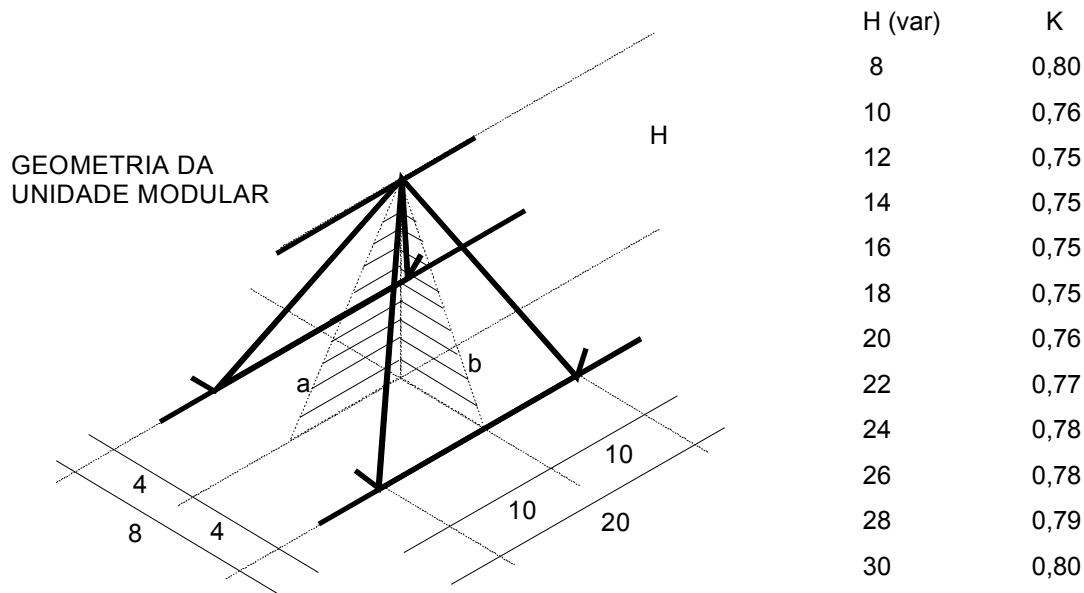


$$8 \leq H \leq 30$$

DIAGONAIS
 $4,2 \leq \varnothing \leq 10,0$

TRELIÇAS USUAIS						
TIPO	ALTURA (mm)	DIÂMETROS DAS BARRAS (mm)			SEÇÃO (cm ²)	MASSA (kg/m)
		SUP.	DIAG.	INF.		
TR 08634	80	6	3.4	4.2	0.277	0.625
TR 08634A	80	6	3.4	4.6	0.332	0.696
TR 08635	80	6	3.4	5	0.392	0.744
TR 08636	80	6	3.4	6	0.566	0.880
TR 12645	120	6	4.2	5	0.392	0.909
TR 12745	120	7	4.2	5	0.566	0.989
TR 12646	120	6	4.2	6	0.392	1.045
TR 12746	120	7	4.2	6	0.566	1.125
TR 16645	160	6	4.2	5	0.566	0.973
TR 16745	160	7	4.2	5	0.392	1.053
TR 16646	160	6	4.2	6	0.566	1.109
TR 16746	160	7	4.2	6	0.566	1.189
TR 20646	200	6	4.2	6	0.566	1.179
TR 20746	200	7	4.2	6	0.566	1.259
TR 20756	200	7	5	6	0.566	1.477
TR 20856	200	8	5	6	0.566	1.570
TR 24756	240	7	5	6	0.566	1.584
TR 24856	240	8	5	6	0.566	1.677

6.2 EQÜIVALÊNCIA ENTRE ARMADURAS TRELIÇADAS E ESTRIBOS VERTICAIS DE DOIS RAMOS



$$A_{sw,ab,nec} = A_{sw,90,nec} \cdot \frac{1}{\sin b \sin a + \cos a}$$

$$A_{sw,ab,nec} = k \cdot A_{sw,90,nec}$$

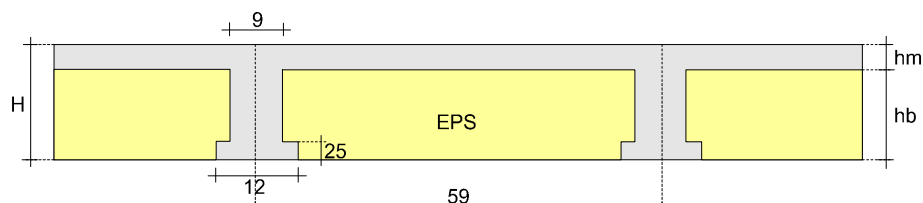
$$k = \frac{1}{\sin b \sin a + \cos a}$$

$A_{sw,90,nec}$ = armadura necessária formada por estribos perpendiculares ao eixo da peça, no comprimento ΔL ;

$A_{sw,ab,nec}$ = armadura diagonal que substitui $A_{sw,90,nec}$ no mesmo comprimento ΔL , considerando apenas as diagonais tracionadas de cada unidade modular.

7 TABELAS DO SISTEMA CONSTRUTIVO FRANCA-1

7.1 INFORMAÇÕES PARA PROJETO E ESPECIFICAÇÕES



H	12	14	15	16	18	20	25
hm	4	4	4	4	4	4	5
hb	8	10	11	12	14	16	20
heq	8.6	9.9	10.6	11.3	12.7	14.0	17.3
H/heq	1.40	1.41	1.42	1.42	1.42	1.43	1.43
$R=V_n/V_{eq}$	0.75	0.71	0.69	0.67	0.64	0.62	0.58
$K=I_m/I_n$	2.76	2.79	2.81	2.83	2.86	2.90	2.94
PP	1.62	1.75	1.83	1.90	2.05	2.18	2.80
V_n	0.065	0.070	0.073	0.076	0.082	0.087	0.112
V_{eq}	0,089	0,099	0,106	0,113	0,127	0,140	0,173

Sendo:

H : Altura total da laje (cm);
 hm : Altura da mesa (cm);
 hb : Altura do bloco (cm);
 heq : Altura equivalente de uma seção retangular com mesma inércia (cm);
 R : Relação entre os volumes das lajes nervuradas e maciças de inércias iguais;
 K : Relação entre as inércias das lajes maciça e nervurada com mesmo H;
 PP : Peso próprio (kN/m²);
 V_n : Volume de concreto da laje nervurada (m³/m²);
 V_{eq} : Volume de concreto da laje equivalente (m³/m²);

Observações:

- A densidade prevista para os blocos de EPS é de 10 Kg/m³;
 - Os blocos e as treliças são desconsiderados para efeito de cálculo de resistência e rigidez das lajes, porém as barras inferiores das treliças são computadas na seção de aço;
 - Eventualmente a treliça participa do cálculo da resistência;
 - É usual trabalhar com: $L / 40 \leq H \leq L / 30$;
- sendo "L" o menor vão da laje;

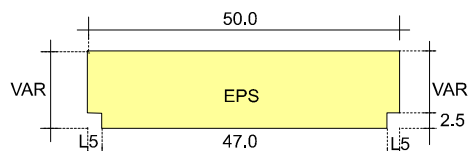
7.2 CONSUMO DE CONCRETO

ESPECIFICAÇÕES	UNIDADES	ALTURA TOTAL DA LAJE (cm)						
		12	14	15	16	18	20	25
SAPATA DA VIGOTA	m ³ /m	0.0030						
(PRÉ-MOLDADA)	m ³ /m ²	0.0051						
PLAQUETA	m ³ /pça	0.0014						
(PRÉ-MOLDADA)	m ³ /m ²	0.0040						
MESA E NERVURAS (MOLDADAS NO LOCAL)	m ³ /m ²	0.055 5	0.061 1	0.064 0	0.066 8	0.072 4	0.078 1	0.102 1
TOTAL	m ³ /m ²	0.064 6	0.070 2	0.073 1	0.075 9	0.081 5	0.087 2	0.112 1

Foram previstas para as mesas as espessuras abaixo;

hm = 4 cm para $H \leq 20$ cm.;

hm = 5 cm para $H = 25$ cm.;

TABELA 7.3 CONSUMOS DE BLOCOS DE EPS

ESPECIFICAÇÕES	UNIDADES	BLOCOS USUAIS						
ALTURA DA LAJE	cm	12	14	15	16	18	20	25
ALTURA DO BLOCO	cm	8	10	11	12	14	16	20
CONSUMO	$m^3/p\grave{c}a$	0.013	0.018	0.021	0.023	0.028	0.033	0.043
	m^3/m^2	8	8	3	8	8	8	8
		0.039	0.054	0.061	0.068	0.082	0.097	0.125
		6	0	2	4	7	0	8

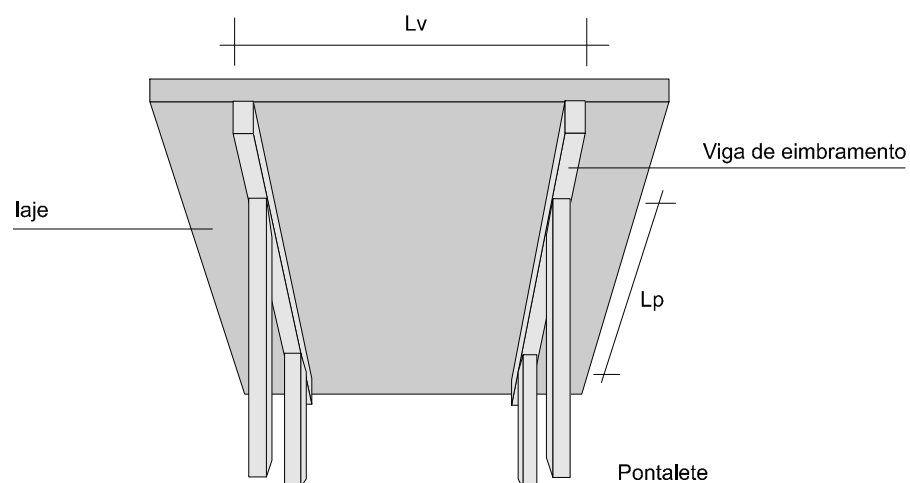
TABELA 7.4 PLAQUETAS - CONSUMO DE MATERIAIS

ESPECIFICAÇÕES	UNIDADES	PLAQUETA
QUANTIDADE	$p\grave{c}a/m^2$	2.8727
CONCRETO	$m^3/p\grave{c}a$	0.0014
	m^3/m^2	0.0040
Aço (CA-60) (2 Ø 4.2 L = 56,7)	kg/ $p\grave{c}a$	0.1220
	kg/ m^2	0.3500

TABELA 7.5 VIGOTAS - CONSUMO DE MATERIAIS

ESPECIFICAÇÕES	UNIDADES	VIGOTA
QUANTIDADE	m/m^2	1.6949
CONCRETO	m^3/m	0.0030
	m^3/m^2	0.0051
AÇO (TRELIÇA - TR 08634)	kg/m	0.625
	kg/ m^2	1.0593
AÇO ADICIONAL	Kg/ m^2	FUNÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL

Observação: Eventualmente se trabalha com outro tipo de treliça, por exemplo: TR 12645;

TABELA 7.6 INFORMAÇÕES PARA PROJETO DO CIMBRAMENTO

Sendo:

Lv: Espaçamento entre vigas do cimbramento;

Lp: Espaçamento entre pontaletes de uma mesma viga do cimbramento;

ESPAÇAMENTO MÁXIMO (Lv ENTRE VIGAS) (cm) DO CIMBRAMENTO		
ALTURA DA LAJE (cm)	TIPO DE TRELIÇA	
	TR 08634 TR 12645	
12	1.70	2.00
14	1.70	2.00
15	1.60	1.80
16	1.60	1.80
16	1.60	1.80
18	1.50	1.70
20	1.50	1.70
25	1.50	1.70

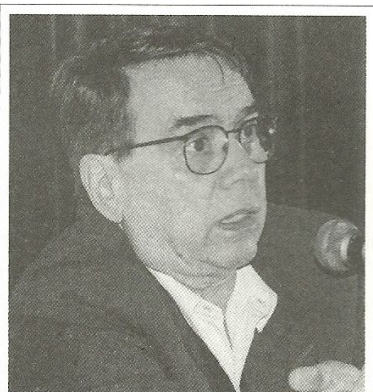
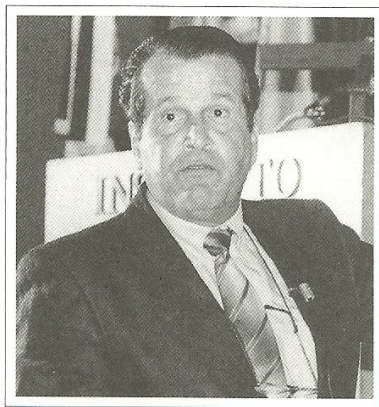
Observação:

O valor de "Lp" é função do projeto de cimbramento.

Os Autores.

Argemiro Brito Monteiro da Franca

- Engenheiro Civil
Escola de Engenharia da Universidade da Paraíba - 1967
- Curso de Pós-graduação
COPPE/1968
- Curso de Especialização
LENEC - Portugal - 1971
- Professor da UFPB
- Diretor Técnico da Escala Escritório de Cálculos Estruturais Ltda.
- Diretor Técnico da Escala Indústria de Pré-fabricados de Concreto Ltda.
- Projetou estruturas de concreto e proferiu palestras nas principais capitais brasileiras



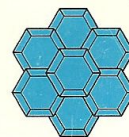
Péricles Brasiliense Fusco

- Engenheiro Civil
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - 1952
- Engenheiro Naval
Escola Politécnica da USP
- Doutor em Engenharia - USP - 1968
- Livre Docente - EPUSP - 1975
- Professor Titular - EPUSP - 1980
- Projetista de estruturas de concreto tendo participado do projeto de grandes obras realizadas no país



ASSOCIAÇÃO DOS FABRICANTES
DE LAJES DE SÃO PAULO

Rua Santa Isabel, 137 - 6º - cj. 61
01221-010 - São Paulo, SP
Tel/Fax: (011) 222.0138



ABRAPEX

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO
POLIESTIRENO EXPANDIDO

Rua Basílio da Cunha, 173
01544-000 - São Paulo, SP
Tel/Fax: (011) 575.6646
e-mail: eps@abrapex.com.br