

Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa

Solutions of massive slabs, ribbed slabs with plastic vat and ribbed with frame and pre-shaped beam: comparative analysis

Itamar Vizotto¹ ; Artur Lenz Sartorti²

¹ *Engenheiro civil, diretor da ILTRUK – Projetos & Consultoria Técnica Comercial Ltda.
email: itamar.vizotto@iltruk.com.br*

² *Mestre em engenharia civil – estruturas, engenheiro calculista na ILTRUK – Projetos & Consultoria Técnica-Comercial Ltda., professor no Centro Universitário Adventista de São Paulo.
email: artur.sartorti@iltruk.com.br*

RESUMO: Pela sua eficiência estrutural como placa e membrana, as soluções de lajes maciças e nervuradas com cuba plástica são comumente adotadas por auxiliarem no comportamento global da estrutura, dando à mesma um acréscimo de rigidez que alivia os esforços do pórtico espacial, reduzindo o consumo de materiais nas vigas e pilares. Entretanto, são observadas nestas duas soluções, algumas características não muito favoráveis, entre as quais se destacam o peso próprio elevado, grande consumo de concreto, acentuado consumo de fôrmas e grandes custos com mão-de-obra. Desta maneira, o consumidor tende a procurar um sistema construtivo que atenda os requisitos estruturais de placa e membrana e que tenha um menor custo. É objetivo deste artigo, que o leitor possua uma visão geral sobre as três soluções estruturais para as lajes estudadas e tenha subsídios para a escolha da solução que atenda a melhor relação custo/benefício e acarrete na maximização da sustentabilidade da construção civil.

ABSTRACT: For its structural efficiency as plate and membrane, solutions of slabs massive and ribbed solutions with plastic vat are commonly adopted by helping in the overall behavior of the structure, giving it an increase of stiffness that relieves the efforts of the frame reducing the space consumption of materials in the beams and pillars. However these two solutions are found, some characteristics not very favorable, which highlight the very high weight, high consumption of concrete, sharp intake of ways and big costs for labor. Thus, consumers tend to seek a constructive system that meets the structural requirements of plate and membrane and has a lower cost. The goal of this article is that the reader has an overview about the three structural solutions for the analyzed slabs and he has subsidies for the choice of the best solution that meets the lowest cost/benefit and results in the maximization of sustainable of civil construction.

1. INTRODUÇÃO

As exigências referentes ao comportamento estrutural de um edifício e as relações custo x benefício que devem ser maximizadas, lança um grande desafio aos engenheiros. Devem ser estudadas soluções alternativas na construção civil, que garantam a segurança e promovam a economia.

Desta maneira o presente artigo busca demonstrar uma análise comparativa entre três sistemas de lajes usuais no mercado brasileiro. A escolha das lajes é justificada pela importância que possuem no custo final de uma obra.

2. FUNÇÃO DAS LAJES NO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

As estruturas laminares ou elementos de superfície são amplamente utilizados na construção civil. Conforme Sáles *et al* [1] as *placas litóides* (lajes) aparecem frequentemente em pisos de edifícios absorvendo esforços fora do seu plano médio. Sabe-se, no entanto que as lajes também possuem função de ligação entre os pórticos e pilares-parede quando é realizada a análise de estabilidade global.

Giongo [2] comenta que todos os pórticos e pilares-parede que contribuem para o contraventamento e estabilidade global na direção analisada são interligados por barras rotuladas equivalentes as lajes atuando como um diafragma rígido.

Desta maneira, para que as lajes possam desempenhar a função de diafragma rígido, devem ter a capacidade de absorver esforços paralelos ao seu plano médio, em outras palavras devem ter função de chapa ou membrana. A figura 1 exemplifica as ações que devem ser absorvidas para que as lajes sejam consideradas placas e membranas.

Desta maneira fica evidente que o comportamento global do edifício sofre grande influência do sistema construtivo da laje empregada. No presente artigo são comparados três sistemas construtivos de lajes que atendem as exigências de placa e de membrana.

3. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS COMPARADOS

Não é objetivo do presente artigo detalhar cálculos e rotinas de projeto, nem mesmo apresentar uma ampla revisão bibliográfica sobre as características construtivas dos três sistemas analisados. No entanto, são destacadas algumas das principais características de cada um dos três sistemas construtivos.

3.1 LAJE MACIÇA MOLDADA “*IN LOCO*”

Este é o sistema estrutural de lajes mais utilizado e difundido no meio técnico. Para sua execução deve ser montada uma estrutura de fôrmas e escoras. O posicionamento das armaduras deve ser executado com o auxílio de espaçadores vulgarmente conhecidos como “caranguejos”, também usualmente em material plástico e/ou pastilhas de argamassa de cimento e areia. Suas características mais relevantes são descritas a

seguir.

Vantagens:

- ✓ Oferece funções de placa e membrana;
- ✓ Pode ser considerada uni ou bidirecional;
- ✓ Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- ✓ Adequada a situações de singularidade estrutural (ex: Um, dois ou três bordos livres).

Desvantagens:

- ✓ Elevado consumo de fôrmas, escoras, concreto e aço;
- ✓ Elevado peso próprio implicando em maiores reações nos apoios (vigas, pilares e fundações);
- ✓ Elevado consumo de mão-de-obra referentes as atividades dos profissionais carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- ✓ Grande capacidade de propagação de ruídos entre pavimentos;
- ✓ Limitação quanto a sua aplicação a grandes vãos por conta da demanda de espessura média de concreto exigida para esta situação;
- ✓ Posicionamento de armaduras por meio de espaçadores;
- ✓ Custo relativamente elevado.

3.2 LAJE NERVURADA COM CUBA PLÁSTICA

As lajes nervuradas são indicadas, sobretudo quando existe a necessidade de grandes vãos. Este sistema construtivo é caracterizado pela utilização de cubas ou cubetas plásticas reaproveitáveis. Conforme Nakamura [3] existem dois métodos de instalação das cubetas. No primeiro as cubas são posicionadas sobre um tablado de madeira, semelhante ao da laje maciça, e este apoiado a vigas e escoras geralmente metálicas. O segundo método consiste em praticar o apoio direto das cubas nas vigas metálicas eliminando o tablado de madeira, porém neste método muita atenção deve ser dada a locomoção dos operários durante a montagem e concretagem para evitar escorregamentos das cubas e acidentes.

Cada cuba tem massa aproximada de 3,3 kg (valor médio, dependendo de suas dimensões) e

resiste a carga do concreto fresco, armadura, pequenos equipamentos e operários sobre elas. Após o posicionamento da cuba deve ser aplicado um desmoldante que permitirá a retirada da cuba dando a oportunidade de reaproveitamento. O posicionamento das armaduras é feito com o auxílio de espaçadores. A figura 2 ilustra a montagem de laje nervurada com cuba plástica.

As características mais relevantes são descritas a seguir.

Vantagens:

- ✓ Oferece funções de placa e membrana;
- ✓ Deve ser considerada bidirecional;
- ✓ Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- ✓ Possibilidade de reaproveitamento de fôrmas e cubas.

Desvantagens:

- ✓ Elevado consumo de cubas plásticas, fôrmas e escoras;
- ✓ Elevado consumo de mão-de-obra referente às atividades dos profissionais: carpinteiro, armador, pedreiro e servente;
- ✓ Significativo consumo de concreto e aço, com peso próprio elevado, cabendo otimização;
- ✓ Demanda significativa espessura de capa de concreto para manter condição de cobrimento inferior e superior da armadura de distribuição (tela);
- ✓ Demanda espaçadores adicionais para garantir adequado posicionamento das armaduras;
- ✓ Opções de altura limitadas pela produção padronizada das cubas;
- ✓ Geralmente necessita de acabamento da face inferior com forro falso.

3.3 LAJE NERVURADA TRELIÇADA BIDIRECIONAL

A principal característica dos sistemas treliçados é a dispensa, total ou parcial, das formas na fase construtiva da obra para execução das lajes. O sistema construtivo é constituído por elementos pré-fabricados treliçados adicionados de armadura de reforço, quando necessárias, elementos de enchimento, armaduras e concreto

complementares de obra.

Os elementos pré-fabricados treliçados utilizados nas lajes nervuradas treliçadas com seção “T” são comumente as vigotas treliçadas que geralmente podem ser transportadas manualmente. A figura 3 apresenta os detalhes de uma seção transversal da vigota treliçada.

A laje nervurada treliçada unidirecional é constituída por vigotas pré-fabricadas treliçadas, intercaladas por elementos de enchimento geralmente em material cerâmico ou EPS, ambos capazes de resistir as cargas de trabalho ou seja, concreto fresco e armaduras sobre eles, armaduras complementares que devem ser especificadas no projeto estrutural e concreto do capeamento que também preenche a alma das nervuras longitudinais e transversais.

As armaduras complementares são compreendidas por armadura inferior das nervuras de travamento, armadura de distribuição aplicada aproximadamente à meia altura da capa de concreto e armadura superior de tração, podendo eventualmente ter função apenas de controle de fissuração, genericamente indicadas na figura 4.

O estabelecimento da nervura transversal é possibilitado construtivamente pelo afastamento entre elementos de enchimento e introdução de uma tábua deitada que terá a função de fôrma localizada, ou da disposição de canaletas que além de fôrma vedam as cavidades das lajotas através de suas paredes laterais impedindo a fuga do concreto fresco do capeamento.

A altura da armadura treliçada é governada genericamente pela altura do elemento de enchimento, sendo esta relevante aos interesses técnicos e construtivos. Do ponto de vista técnico-estrutural, tendo a armadura treliçada altura não inferior à altura do elemento utilizado para enchimento e pela condição de atendimento ao cobrimento mínimo às barras longitudinais inferiores da armadura treliçada, resultará que a armadura treliçada penetrará no concreto de capeamento com o valor do cobrimento estabelecido por norma para as armaduras das lajes, segundo condições específicas de localização e utilização de cada obra. Sendo assim, fica garantido também, que a armadura de distribuição ficará apoiada sobre a armadura treliçada dispensando-se os espaçadores.

Para garantir-se que as diagonais da armadura treliçada realmente possam trabalhar como estribos, ligando zona tracionada com zona

comprimida, basta verificar se o banzo superior da treliça cruza a posição da linha neutra, ou mesmo, apenas penetre na mesa de compressão.

O sistema construtivo com laje nervurada treliçada bidirecional, que é o sistema construtivo estudado neste artigo, consiste numa variação do sistema construtivo tradicional (unidirecional), onde as lajotas de formatos convencionais são substituídas por lajotas especiais de EPS com abas que funcionam como fôrmas para as nervuras transversais (enchimento analisado neste estudo), ou em material cerâmico, entre cada uma das lajotas intercala-se uma canaleta com recorte especial para apoio nas vigotas treliçadas, ambas as soluções gerando uma solução de laje nervurada armada em cruz agregando potencialidade de funcionamento como placa e membrana e a agilidade de montagem que o pré-moldado treliçado (vigota treliçada) oferece.

Caracterizada por desempenhar função de placa e membrana, constitui uma solução para obras verticais esbeltas e/ou horizontais, apresentando-se em destaque para panos de lajes com relação de lados variando de 1,0 a 1,5.

Neste sistema é espontâneo a formação de aberturas (buracos) nas lajes, uma vez que apresenta excelente capacidade para redistribuição de esforços. As figuras 5 e 6 apresentam mais detalhes sobre este sistema.

As características mais relevantes são descritas a seguir.

Vantagens:

- ✓ Oferece funções de placa e membrana;
- ✓ Deve ser considerada bidirecional;
- ✓ Bom desempenho em relação à capacidade de redistribuição dos esforços;
- ✓ Vence grandes vãos;
- ✓ Reduz forma e escoramento;
- ✓ Reduz tempo de execução;
- ✓ Estrutura monolítica;
- ✓ Facilidade de transporte, içamento e montagem;
- ✓ Maior eficiência ao combate ao esforço cortante;
- ✓ Teto liso com dispensa de forro falso;
- ✓ Alívio nas reações da estrutura;
- ✓ Reduz mão-de-obra em geral;
- ✓ Baixa propagação de ruídos;
- ✓ Altura otimizada devido à flexibilidade na produção de treliças e enchimento;

- ✓ Reduz custo final.

Desvantagens:

- ✓ Necessidade de uso de aditivo para chapisco do EPS.

As lajes nervuradas treliçadas seguem as exigências estabelecidas nas normas específicas: NBR 14859-1:2002 [4]; NBR 14859-2:2002 [5]; NBR 14860-1:2002 [6]; NBR 14860-2:2002 [7] e NBR 14862:2002 [8], todas atualmente em processo de revisão, as quais reportam a NBR 6118:2003 [9] e NBR 9062:2006 [10], entre outras.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Foram calculadas através do *software* TQS três lajes simplesmente apoiadas em vigas suficientemente rígidas e com relação de lados igual a 1,0 nos três sistemas estruturais comparados neste artigo. A carga utilizada permanente (além do peso próprio) foi de 2,0 kN/m² e a acidental de 2,5 kN/m², ambas de natureza estática. O f_{ck} adotado foi de 25 MPa e o cobrimento das armaduras de 2,0cm. A figura 7 apresenta a configuração da forma estrutural adotada para cada sistema.

Com os resultados obtidos nos processamentos foram extraídos os dados apresentados nas tabelas 1 a 4.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Realizaram-se cotações dos materiais na região da cidade de Campinas no estado de São Paulo – Brasil em julho de 2009 e foram obtidos os valores apresentados na tabela 5.

Com estes valores pode ser feita uma composição de custos de mão-de-obra e materiais seguindo a tabela 6.

Esta composição de custos gera o gráfico de custo total estimado por metro quadrado apresentado na figura 8.

Analisando a figura 8 pode ser observado que os custos da laje nervurada cuba plástica da laje nervurada treliçada são 0,8% e 19,1% mais econômicos que a laje maciça respectivamente. A laje nervurada treliçada é 18,5% mais econômica que a laje nervurada cuba plástica nesta análise.

Esta diferença entre as lajes nervuradas deve-se

ao fato de que na laje treliçada o pré-moldado (vigota) juntamente com o elemento de enchimento tornam o sistema de rápida execução (redução de mão-de-obra) e com os gastos de fôrma e cimbramento reduzidos pela ausência de fôrmas e pela capacidade auto-portante da vigota treliçada.

Quanto à deslocabilidade da estrutura a laje nervurada cuba plástica, por ter nervuras trapezoidais (largura média espessa) e capa de 6cm é menos deformável. Porém com o recurso de contra-flecha estabelecido na tabela 13.2 da NBR 6118:2003, é perfeitamente viável ser aplicada uma laje treliçada com mesma altura final da laje nervurada com cuba plástica porém com uma espessura média 7,7% menor o que neste simples pavimento implicaria em uma redução de 8,46 kN = 846 kgf na reação das fundações, valor que aparentemente é irrisório porém ao extrapolarmos para grandes áreas e múltiplos pavimentos torna-se um diferencial da laje nervurada com pré-moldado treliçado.

Outro aspecto que deve ser destacado é a redução drástica de fôrmas do sistema treliçado em relação aos outros dois. Esta redução é uma importante medida levando-se em conta não somente o custo, mas também o aspecto da sustentabilidade na construção civil.

Cabe salientar que na composição de custos não foi considerada as necessidades de acabamentos das lajes que incluem chapisco, emboço, reboco, forro falso, etc.

6. CONCLUSÕES

A apresentação desta comparação teve por objetivo apresentar uma solução tecnicamente viável e segura, porém mais econômica na grande maioria dos casos já estudados. Nota-se claramente uma vantagem econômica da laje nervurada com pré-moldado treliçado sobre as lajes maciça e nervurada com cuba plástica. Esta vantagem é governada pela agilidade de montagem e a dispensa de fôrmas que o pré-moldado treliçado oferece bem como a redução de consumo de concreto que este sistema promove.

Os autores têm tido resultados semelhantes para muitas outras análises comparativas, sendo que o caso apresentado é apenas uma amostra destes casos.

Não se pretende, no entanto, afirmar que um sistema construtivo é melhor que o outro, pois

cada projeto específico deve ser analisado com cuidado antes de serem tomadas quaisquer decisões.

REFERÊNCIAS

1. SALES, J. J.; MALITE, M.; GONÇALVES, R. M.; MUNAIAR NETO, J.; DIAS, A. A., (2005). *Sistemas Estruturais: teoria e exemplos*. 1ª ed. São Carlos: EESC – Universidade de São Paulo.
2. GIONGO, J. S., (2003). *Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios*. São Carlos: EESC - Universidade de São Paulo.
3. NAKAMURA, J., (2008). *Lajes nervuradas com cubas plásticas*. Revista Equipe de Obra N°16 Ano IV – Março/Abril 2008. São Paulo: Pini.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). *Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 1: Lajes unidirecionais* NBR-14859-1. Rio de Janeiro.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). *Laje pré-fabricada – Requisitos Parte 2: Lajes bidirecionais* NBR-14859-2. Rio de Janeiro.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). *Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos Parte1: Lajes unidirecionais* NBR-14860-1. Rio de Janeiro.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). *Laje pré-fabricada – Pré-laje – Requisitos Parte1: Lajes bidirecionais* NBR-14860-2. Rio de Janeiro.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2002). *Armaduras treliçadas eletrossoldadas – Requisitos* NBR-14862. Rio de Janeiro.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento* NBR-6118. Rio de Janeiro.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2006). *Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado* NBR-9062. Rio de Janeiro.

ANEXO - FIGURAS E TABELAS

As figuras e tabelas são apresentadas neste anexo conforme sua citação no texto.

FIGURAS

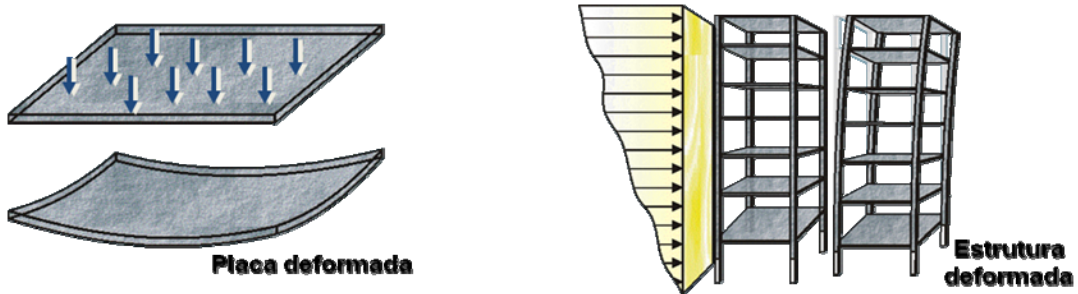


Figura 1 – Esforços que a laje deve absorver para ser computada na rigidez global.



Figura 2 – Montagem de uma laje nervura com cubas plásticas

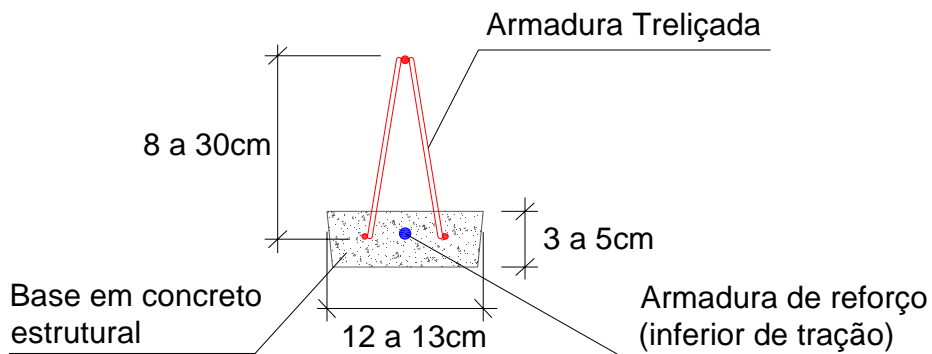


Figura 3 – Detalhes da seção transversal de uma vigota treliçada pré-moldada

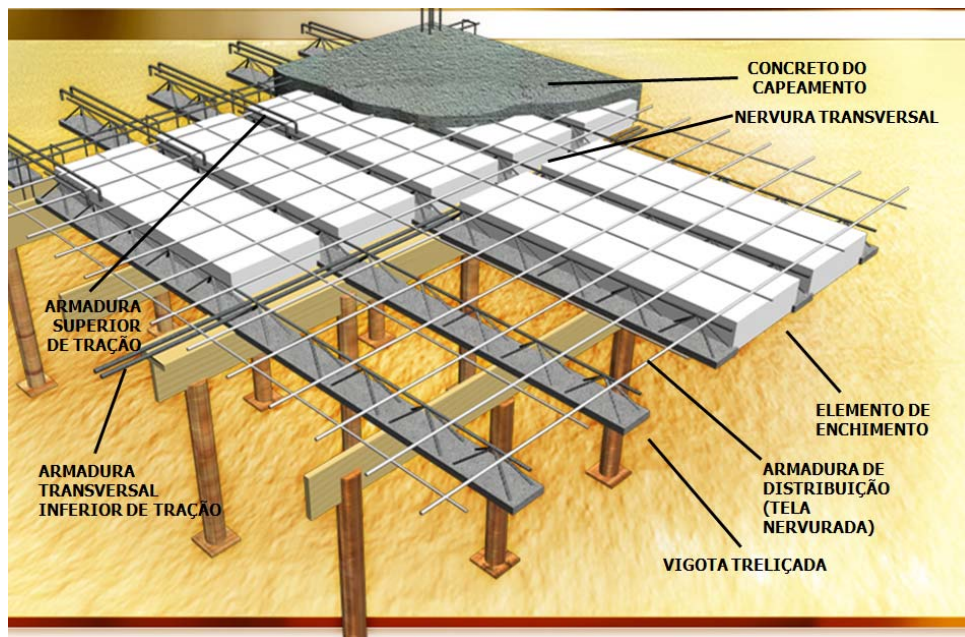


Figura 4 – Detalhe da laje nervurada trelçada unidirecional



Figura 5 – Disposição dos elementos de EPS e as armaduras para laje trelçada bidirecional.

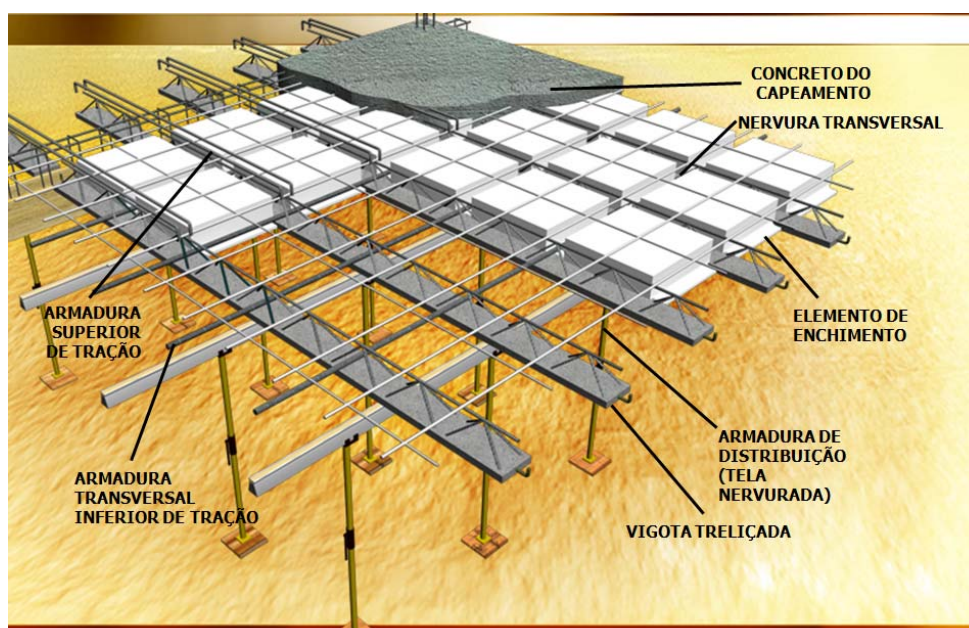


Figura 6 – Detalhe da laje nervurada trelçada bidirecional

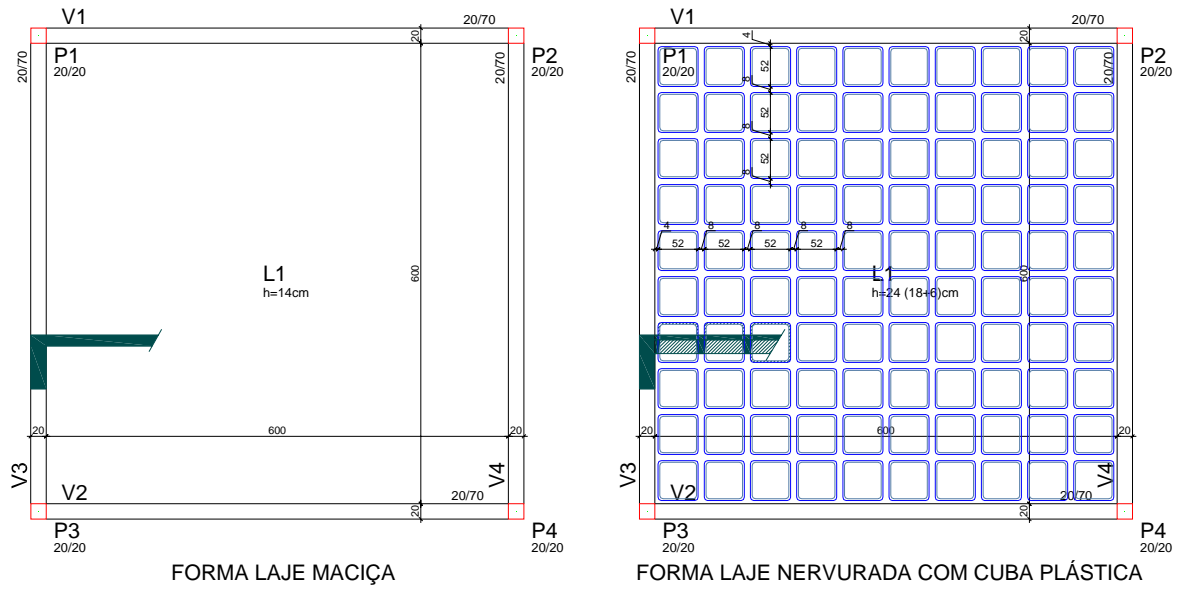


Figura 7 – Forma estrutural das lajes estudadas

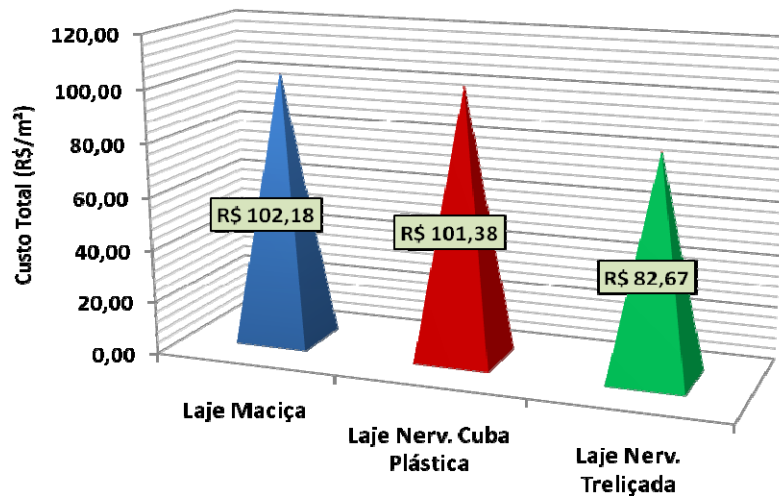


Figura 8 – Custo por metro quadrado de cada sistema construtivo na análise

TABELAS

Tabela 1 – Consumo de materiais A

Sistema Construtivo	Concreto consumido na laje (m ³)	Espessura média da laje (cm)	EPS (m ³ /m ²)	Cuba Plástica (unid./m ²)
Laje Maciça	5,04	14,00	0	0
Laje Nerv. Cuba Plástica	4,23	11,75	0	2,78
Laje Nerv. Treliçada	3,89	10,81	0,13	0

Tabela 2 – Consumo de materiais B

Sistema Construtivo	Vergalhão (kg/m ²)	Treliça (kg/m ²)	Tela (kg/m ²)	Consumo Total (kg/m ²)	Taxa de Armadura (kg/m ³)
Laje Maciça	9,81	0,00	0,00	9,81	70,04
Laje Nerv. Cuba Plástica	5,53	0,00	1,48	7,01	59,64
Laje Nerv. Treliçada	4,25	1,69	1,21	7,15	66,16

Tabela 3 – Consumo de materiais C

Sistema Construtivo	Fôrma (m ² /m ²)	Escoras Metálicas (unid./m ²)	Viga metálica (m/m ²)	Treliça Sugerida
Laje Maciça	1,00	0,83	1,67	---
Laje Nerv. Cuba Plástica	1,00	0,67	1,67	---
Laje Nerv. Treliçada	0,00	0,44	0,87	TR18 745

Tabela 4 – Comparativo de deformações

Sistema Construtivo	Flecha Diferida do Tempo (cm)	Limite de Flecha (cm)	Contra-flecha Necessária (cm)	Limite de Contra-flecha (cm)	OBS
Laje Maciça	2,35	2,40	0,00	1,71	Ok
Laje Nerv. Cuba Plástica	2,40	2,40	0,00	1,71	Ok
Laje Nerv. Treliçada	3,05	2,40	0,65	1,71	Ok

Tabela 5 – Valores dos materiais cotados em julho de 2009 na região de Campinas - SP

Insumo	Valor	Unidade
Concreto C25	200,00	R\$/m ³
Vergalhão	3,47	R\$/kg
Treliça	3,92	R\$/kg
Tela	4,44	R\$/kg
Fôrma (reaproveitada 3 vezes)	3,25	R\$/m ² /3
Aluguel Escora Metálica (15 dias)	9,00	R\$/unidade/ciclo
Aluguel Viga Metálica (15 dias)	6,00	R\$/m/ciclo
EPS	120,00	R\$/m ³
Aluguel Cuba Plástica (15 dias)	3,90	R\$/unidade/ciclo

Tabela 6 – Valores de consumo de mão-de-obra convencionados para a análise

Insumos	Mão-de-Obra											
	Servente			Pedreiro			Carpinteiro			Armador		
	(h)	Unidade	(R\$/h)	(h)	Unidade	(R\$/h)	(h)	Unidade	(R\$/h)	(h)	Unidade	(R\$/h)
Concreto C25	0,60	h/m ³	7,03	0,60	h/m ³	8,76	---	---	---	---	---	---
Vergalhão	0,08	h/kg	7,03	---	---	---	---	---	---	0,08	h/kg	8,76
Treliça	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Tela	0,04	h/kg	7,03	---	---	---	---	---	---	0,04	h/kg	8,76
Fôrma	0,16	h/m ²	7,03	---	---	---	0,16	h/m ²	8,76	---	---	---
Escora Metálica	0,08	h/unid.	7,03	---	---	---	0,08	h/unid.	8,76	---	---	---
Viga Metálica	0,08	h/m	7,03	---	---	---	0,08	h/m	8,76	---	---	---
EPS	0,35	h/m ³	7,03	0,35	h/m ³	8,76	---	---	---	---	---	---
Cuba Plástica	0,17	h/unid.	7,03	0,17	h/unid.	8,76	---	---	---	---	---	---