FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS - FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ – FAPAC
ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO PEREIRA PERES

COMPARATIVO ENTRE AS LAJES MACIÇAS E LAJES TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS

UBÁ/MG

2013

RODRIGO PEREIRA PERES

COMPARATIVO ENTRE AS LAJES MACIÇAS E LAJES TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Ubá, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Msc Israel Iasbik.

UBÁ/MG

2013

COMPARATIVO ENTRE AS LAJES MACIÇAS E LAJES TRELIÇADAS UNIDIRECIONAIS

RESUMO

A laje tem um papel importante nas edificações. É a primeira estrutura a receber as cargas geradas pelas pessoas, móveis e toda carga vertical, e transmiti-las às vigas e aos pilares que, consequentemente descarregam na fundação. Existem vários tipos de lajes com diferentes sistemas de montagem, cada uma com suas vantagens e desvantagens. Este trabalho tem como objetivo verificar através de revisões bibliográficas as vantagens e desvantagens da laje maciça e da laje pré-fabricada treliçada unidirecional, e fazer comparação de cálculo estrutural de duas edificações de quatro pavimentos com as mesmas projeções, onde a primeira é executada utilizando a laje tradicional maciça e a segunda utilizando a laje pré-fabricada treliçada unidirecional com elemento de enchimento em poliestireno expandido, e verificar qual laje será mais eficiente e econômica. A laje maciça tem boa utilização quando os vãos são de pequenas dimensões, e inviável em vãos maiores devido ao seu alto peso, e sua utilização encarece a obra por se tratar de uma estrutura montada *in loco* onde gera um gasto elevado devido à grande quantidade de fôrmas e escoramento. As lajes treliçadas mostraram-se mais eficientes quando comparados à rapidez na montagem devido à eliminação de fôrmas. Mostra-se economicamente mais eficiente para atender altas cargas e vencer grandes vãos. Também apresenta facilidade nos cálculos das vigotas pelo fato de ser unidirecional e ter o mesmo cálculo utilizado na viga T, e de fácil execução nos canteiros de obra. Os cálculos das edificações mostraram uma redução de concreto e aço de todos os pavimentos que utilizaram a laje treliçada, tornando-a mais vantajosa à medida que aumenta a quantidade de pavimento, trazendo uma maior economia nos pilares da garagem e na fundação.

Palavras-chave: Laje pré-moldada. Laje maciça. Comparativo de cálculo.

COMPARISON BETWEEN SLABS AND MASSIVE ONE-WAY SLABS LATTICE

ABSTRACT

The slab has an important role in the buildings. It is the first structure to receive the loads generated by people, furniture and all the vertical load, and transmit them to the beams and pillars that discharging the foundation. There are various types of slabs with different mounting systems, each one with its advantages and disadvantages. This work aims to determine through literature reviews the advantages and disadvantages of solid slab and slab prefabricated lattice unidirectional, and make comparison of structural calculation of two four-store buildings with the same projections, in that the former is performed using the slab and the second using traditional solid slab prefabricated lattice unidirectional element filling in expanded polystyrene slab and check which will be more efficient and economical. A solid slab has o good use when will be small and unviable go higher due to their high weight and use more expensive the work because it is a frame mounted spot which generates a high expense due to the large amount of formwork and shoring. The slabs lattice shown to be more efficient when compared will fast assembly due to the elimination of molds. Seems more efficient to meet higher loads and win large spans. It also presents easiness in calculation of beams by being unidirectional and have the same calculation used in the beam T, and easy to perform at construction sites. The calculations showed a reduction of the constructions of concrete and steel decks which all used a slab lattice, making it more advantageous as it increases the amount of floor, bringing higher economic pillars in the garage and the foundation.

Keywords: Slab-Precast. Massive Slab. Comparative calculaction.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÃO, F. X.; HEMERLY, A. C.. **Concreto armado:** novo milênio: cálculo prático e econômico. 2.ed. Rio de Janeiro: Interferência, 2010. 224p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859**. Lajes pré-fabricadas – Requisitos – Parte 1: Lajes Unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14860**. Laje pré-fabricada - Pré-laje – Requisitos - Parte 1: Lajes unidirecionais. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14862.** Armadura eletrossoldada - Requisitos. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6118.** Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 6120.** Cargas para o Cálculo de Estruturas. Rio de Janeiro, 1980.

Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. **Manual de utilização EPS na construção civil**. São Paulo: Pini, 2006. 124p.

BOTELHO, M. H. C.; MARCHETTI, O.. **Concreto armado eu te amo,** v.1. 6.ed. São Paulo: Blucher, 2010. 507p.

_____. **Concreto armado eu te amo,** v.2. 3.ed. São Paulo: Blucher, 2011. 333p.

Cichinelli, G. C.. Racionalização industrial. **Construção Mercado.** São Paulo, n.128, Mar. 2012.

Gerdau aços longos S.A. – Consigua. **Certificado de qualidade**, Rio de Janeiro, 2013.

GASPAR, R. **Analise da segurança estrutural das lajes pré-fabricadas na fase de construção.** 1997. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estrutura e Fundação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

GUERRIM, A.; LAVOUR, R. C.; **Tratado de concreto armado:** cálculo do concreto armado**.** V.1. Brasil: Hemus S.A., 2002. 363p.

_____. **Tratado de concreto armado:** estruturas de residências e indústrias, lajes, escadas, balanços e construções diversas. V.3. Brasil: Hemus S.A., 2002. 398p.

GROSSI, R. M. (Inst.). **Curso de Lajes Maciças e Nervuradas.** Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Engenharia Civil, 2013. Apostila

PORTO, S.. Racionalização industrial. **Construção Mercado.** São Paulo, n.128, Mar.2012. Mesa Redonda.

1 INTRODUÇÁO

Lajes são elementos estruturais de concreto armado com a função de receber as cargas de utilização das edificações, aplicadas nos pisos e transmiti-las às vigas. As vigas por sua vez transmitirão às cargas recebidas aos pilares que irão transmitir todo esse carregamento para as fundações. Esse é o modelo básico de um edifício de concreto armado.

Uma estrutura de concreto armado é uma ligação solidária, fundida de concreto com uma estrutura resistente à tração, o aço. Normalmente, a peça é constituída só de concreto na parte comprimida e de aço na parte tracionada. Para um bom funcionamento do concreto armado, o aço deve ser envolvido completamente pelo concreto, de forma que sejam trabalhados e deformados juntos, ou seja, quanto maior o atrito entre ambos, melhor seu desempenho. Dimensionar uma estrutura de concreto armado é determinar a seção de concreto e de aço, tal que, a estrutura não entre em colapso. A estrutura de concreto armado deve ser econômica, durável, apresentar boa proteção à armadura, impedindo sua corrosão, o que levaria a ruína da peça (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

Os pisos que irão receber as cargas de utilização das edificações podem ser executados com diversos tipos de lajes como as maciças, diversos tipos de lajes pré-fabricadas, lajes nervuradas, lajes cogumelo, lajes mistas (nervurada e cogumelo). A definição pelo tipo de laje que será executada dependerá de questões econômicas e de segurança, ou seja, caberá uma análise no momento do projeto para identificar a laje recomendada para a edificação a ser construída.

As lajes treliçadas têm um grande destaque na moderna construção civil, devido à alta resistência, qualidade, segurança e capacidade de vencer grandes vãos e suportar altas cargas. Além de atender bem no quesito de segurança, a laje com armadura em forma de treliça traz uma considerável redução no uso de formas e escoramento *in loco* comprovando assim sua economia e racionalidade. É por esses motivos que esse tipo de laje tem grande ascensão nas grandes cidades pela qualidade e melhor relação custo/benefício sobre as demais lajes.

Segundo Cichinelli, (2012) uma recente pesquisa feita pela Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto, apresentou que, quando se fala em pré-moldado logo vem à mente dos construtores a otimização de mão de obra, redução de prazo, de resíduos e melhor qualidade na estrutura e acabamento.

De acordo com Porto (2012, p.63) “nos últimos anos a aceitação do pré-moldado tem crescido. Temos de difundir a tecnologia. Hoje, o discurso é mais fácil, pois o mercado está demandando racionalização e eco eficiência”.

1.1 Objetivo

Verificar através de revisões bibliográficas as vantagens e desvantagens da laje maciça e da laje pré-fabricada treliçada unidirecional com enchimento em Poliestireno expandido (EPS) e desenvolver um comparativo entre duas edificações idênticas de quatro pavimentos onde a primeira edificação será utilizada lajes maciças e na segunda será utilizada a laje pré- fabricada treliçada utilizando elemento de enchimento em EPS. Pretende-se verificar qual laje será mais eficiente e econômica em relação a concreto e aço.

1.2 Justificativa

Observa-se um predomínio da utilização de lajes maciças na região da zona da mata mineira. Este fato da utilização de lajes maciças pode ser explicado pela cultura dos construtores em adotarem métodos mais tradicionais e também devido ao fato de a mão de obra não ser qualificada à execução de novos métodos. Porém estagnar-se em processos antigos, que muitas vezes não são os mais indicados, significa um retrocesso na profissão do engenheiro. Investir na qualificação da mão de obra e dos engenheiros é uma exigência do mercado. Pensando nisso, busca-se um comparativo entre laje maciça e pré-fabricada treliçada, mostrando vantagens e desvantagens de cada uma, e tentando assim dar suporte e encorajar novas técnicas construtivas na região.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Lajes

Lajes são as estruturas que primeiro recebem as sobrecargas oriundas dos esforços externos, são na maioria das vezes retangulares e de espessura relativamente pequena, as lajes têm a função de receber as cargas acidentais e junto com seu peso próprio distribuir para as vigas. (BOTELHO; MARCHETTI, 2010).

As lajes são áreas planas limitando andares e suportando o revestimento de pisos das quais são atribuídas às funções; resistência, térmica e acústica. As lajes podem ser empregadas tanto em residência quanto em indústrias, a parte da resistência deve ser atendida nos dois casos, já a parte térmica e acústica em casos específicos, geralmente mais indicados em residências. (GERRIM; LAVAUR, 2002b)

A NBR 6120(ABNT, 1980) fixa valores para as cargas acidentais tais como os pesos de pessoas, móveis, veículos, materiais diversos, e as cargas permanentes que são as cargas de todos os elementos construtivos fixos na obra como paredes, pisos, contrapiso, concreto armado etc. A carga de projeto é a soma das cargas acidentais com as cargas permanentes. A seguir apresentam-se as cargas acidentais TAB. 1 e as cargas permanentes TAB. 2, entre outros, com os respectivos valores:

TABELA 1 – Valores mínimos das cargas verticais

LOCAL	**CARGA: KN / m²**
Edifícios residenciais dormitório, sala, cozinha e banheiro	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas com acesso ao público	3
Escada sem acesso ao público	2,5
Escritórios- salas de uso geral e banheiro	2
Forros -sem acesso a pessoas	0,5

Fonte: NBR 6120, 1980, p.3

TABELA 2 – Peso específico dos materiais de construção

CARGA PERMANENTE	PESO ESPECÍFICO APARENTE (KN / m³)
Lajotas cerâmicas	18
Tijolos furados	13
Tijolos maciços	18
Argamassa de cal, cimento e areia	19
Revestimentos Argamassa de cimento e areia	21
Argamassa de gesso	12,50
Concreto simples	24
Concreto armado	25

Fonte: NBR 6120, 1980, p.2

De acordo com Guerrim e Lavaur (2002a) o cálculo das lajes deve visar os cálculos dos momentos e suas deformações e também as reações nas vigas de apoio. As lajes apresentam as seguintes categorias:

- Laje unidirecional - lajes que apresenta a armadura principal armada em uma direção
- Lajes em cruz – laje que apresenta a armadura principal armada em duas direções
- Lajes cogumelos – São lajes cujos seus apoios são constituídos por pilares

Podem-se distinguir duas grandes classes de lajes: a moldada *in loco*, conhecida como laje tradicional e a laje pré-moldada, podendo a fabricação ser total ou parcial.

De acordo com a NBR14859-1 (ABNT, 2002), lajes pré-fabricadas unidirecional são lajes nervuradas constituídas por nervuras dispostas em uma única direção executada industrialmente, ou mesmo em canteiro de obras sob rigoroso controle de fabricação, complementadas por elemento de enchimento e uma capa de concreto lançada no local da obra.

As lajes unidirecionais, na sequência, são demonstradas na FIG.1 por: (a) tradicional com sua seção em concreto armado em formato de T invertido; (b) protendida com sua seção em concreto em formato de T invertido com armadura pré-tensionada; (c) treliçada com seção de concreto formando uma placa com armadura treliçada parcialmente englobada pelo concreto.

FIGURA 1 – Lajes pré-fabricadas unidirecionais

(a)

(c)

Fonte: Disponível em: <http://www.premoldados nunes.com.br/site/produto.php?id=6&produto=Lajes>. Acesso em 3 nov.2013.

(b)

Fonte: Disponível em: < http://www.ceramicakaspary.com.br/portal/laje_pre_moldada.php>. Acesso em 3 nov. 2013.

Segundo Guerrim e Lavaur (2002b) lajes moldadas *in loco* dependem de fôrmas montadas no local da obra podendo estas ser de madeira ou em aço. As lajes podem ser dos seguintes tipos: lajes finas de espessuras de sete a 12 cm (maciça), lajes nervuradas constituídas de uma laje com camada fina apoiada sobre nervuras, vigotas revestidas onde são utilizados perfis como armaduras, lajes de elementos vazados compostas por nervuras paralelas usando elementos vazados (lajotas, EPS ou concretos) como enchimento intermediário, lajes grossas, de espessura constante 12 a 30 cm (maciça), lajes cogumelos apoiadas apenas em pilares com ou sem capitéis, lajes translúcidas onde são incorporados pavimentos de vidro.

Inicialmente, as lajes apresentavam o aspecto tradicional, maciça em concreto armado, tendo como características seu enorme peso e um alto consumo de fôrmas e escoramento.

Logo após, surge a laje nervurada que possibilita vencer grandes vãos, apresenta consumo de concreto reduzido, diminuindo assim a sobrecarga que irá para a fundação. A desvantagem desse tipo de laje é o alto custo das formas. Surge a laje pré-moldada tradicional onde se tem economia de concreto, reduzindo, assim a sobrecarga que chega até as fundações, e uma enorme economia em relação às formas. Apresenta como desvantagem a pequena capacidade de carga e aparecimento de fissura. Surge então a laje treliçada que tem a mesma vantagem da laje tradicional, mas com muito menor risco de fissuras e maior capacidade de cargas (BOTELHO; MARCHETTI, 2011).

De acordo com a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido (ABRAPEX) 2006, a partir de 1970 as lajes começaram cada vez mais exigirem vãos grandes e a receber as alvenarias diretamente sobre elas. Com isso, as lajes nervuradas mostraram-se uma melhor alternativa e as técnicas de pré-fabricação passaram a ganhar espaço na execução das estruturas. A execução de métodos com elementos pré-fabricados foi o caminho encontrado pela engenharia civil para reduzir os custos das edificações. Hoje, é possível vencer vãos de até 14 metros utilizando vigotas treliçadas pré-fabricadas com blocos leves de EPS.

2.2 Tipos de lajes

2.2.1 Laje maciça

"As lajes maciças correspondem a cerca de 50% do consumo de concreto numa construção convencional de prédios, e, portanto, a 50% do peso próprio que vai pra fundação" (BOTELHO; MARCHETT, 2011, p. 104).

As lajes maciças consideradas como lajes tradicionais são montadas em cruz ou unidirecional que formam juntamente com as vigas e pilares uma estrutura monolítica, e sua execução encarece a obra pelo fato de ser uma estrutura montada in loco onde traz um gasto elevado devido a grandes quantidades de fôrmas e escoramento (ADÃO; EMERLY, 2010).

As lajes maciças mostram-se muito eficientes, desde que não precisem vencer grandes vãos e suportar altas cargas. Nestes casos, há um aumento em sua espessura e consequentemente um aumento em seu peso próprio inviabilizando sua utilização (GASPAR, 1997).

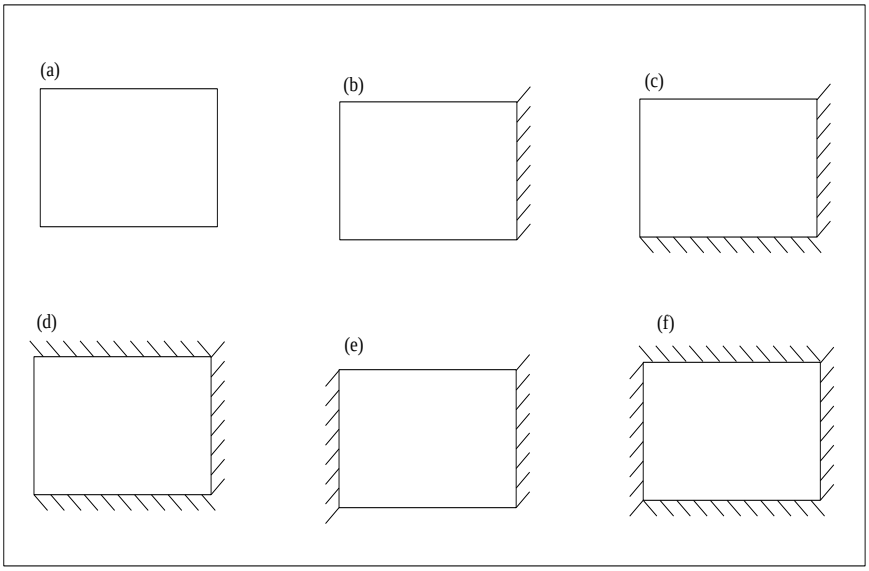
De acordo com Botelho e Marchetti (2010) nas lajes maciças existem dois tipos: as lajes armadas nas duas direções que possuem momentos positivos em ambas as direções, ou seja, irá receber a armadura principal nos dois sentidos e as lajes armadas em uma direção possuem armadura principal na direção do vão menor e uma armadura secundaria no sentido do maior vão.

"Definimos lajes retangulares armadas nas duas direções quando a relação entre as duas dimensões principais (horizontais) é um numero compreendido entre 0,5 e 2,0." (ADÃO; EMERLY, 2010, p.66)

As lajes armadas nas duas direções são apoiadas nos quatros lados, geralmente o vão menor terá um esforço maior que o vão de maior dimensão.

Na FIG.2 são definidos seis tipos de casos, (a) laje apoiada nos quatros lados, (b) laje engastada em apenas um lado, (c) laje engastada em dois lados, (d) laje engastados em três lados, (e) laje engastadas nos dois lados opostos, (f) laje com engastes nos quatros lados.

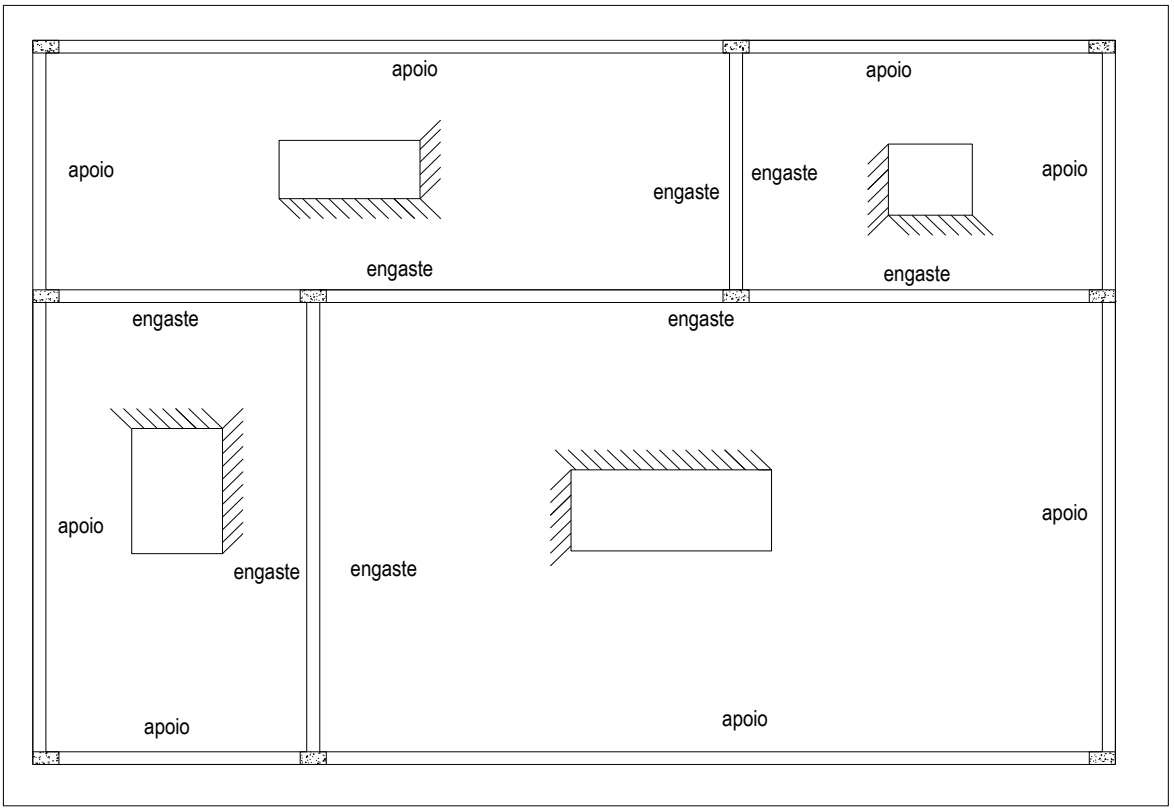
FIGURA 2 – Comportamento das lajes maciças



Fonte: ADÃO, HEMERLY, 2010, p. 66

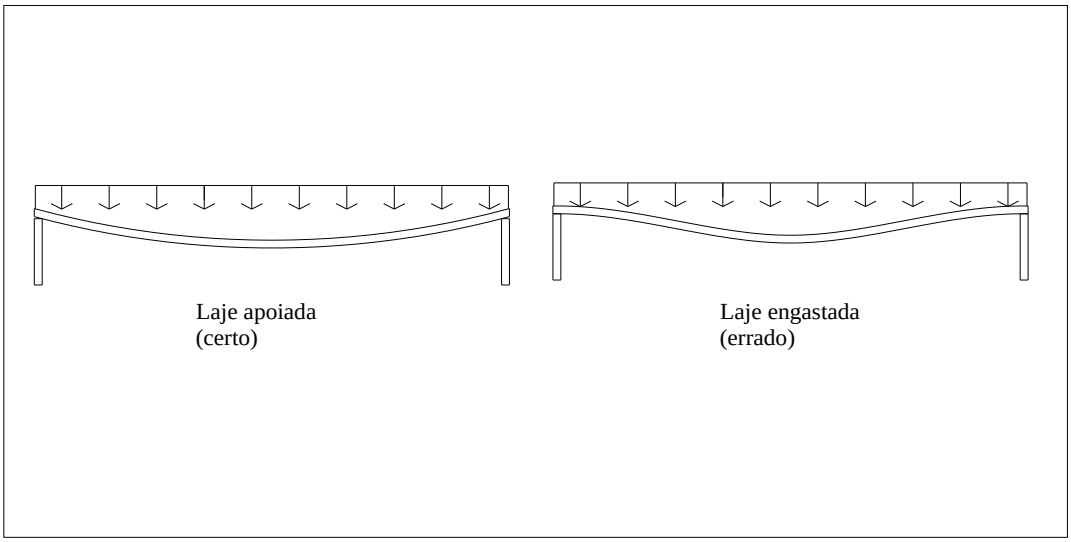
Na FIG.3 mostra que quando a laje possui continuidade com a laje adjacente diz-se que é uma laje engastada, quando for uma laje de extremo ou que não der continuidade esta será apenas apoiado.

FIGURA 3 – Disposição da laje maciça quanto ao engastamento



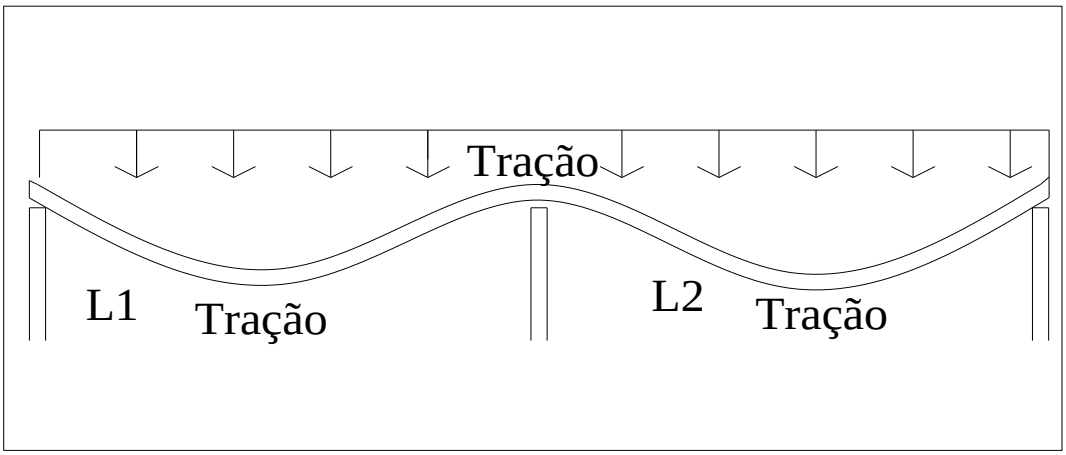
De acordo com Botelho e Marchetti (2010), nas lajes maciças há as lajes isoladas (apoiadas) e as lajes conjugadas (engastadas). Nas lajes isoladas, as lajes são concretadas junto com as vigas, mas para efeito de cálculos são consideradas como simplesmente apoiadas onde são desprezados os engastamento que existem entre as vigas e a lajes FIG.4; Nas lajes conjugadas FIG.5 as lajes se interengastam nos seus pontos comuns, e apresentam apoios simples nas suas extremidades.

FIGURA 4 – Lajes apoiadas



Fonte: BOTELHO; MARCHETTI, 2011, p.114

FIGURA 5 – Lajes conjugadas



Fonte: BOTELHO; MARCHETTI, 2011, p.117

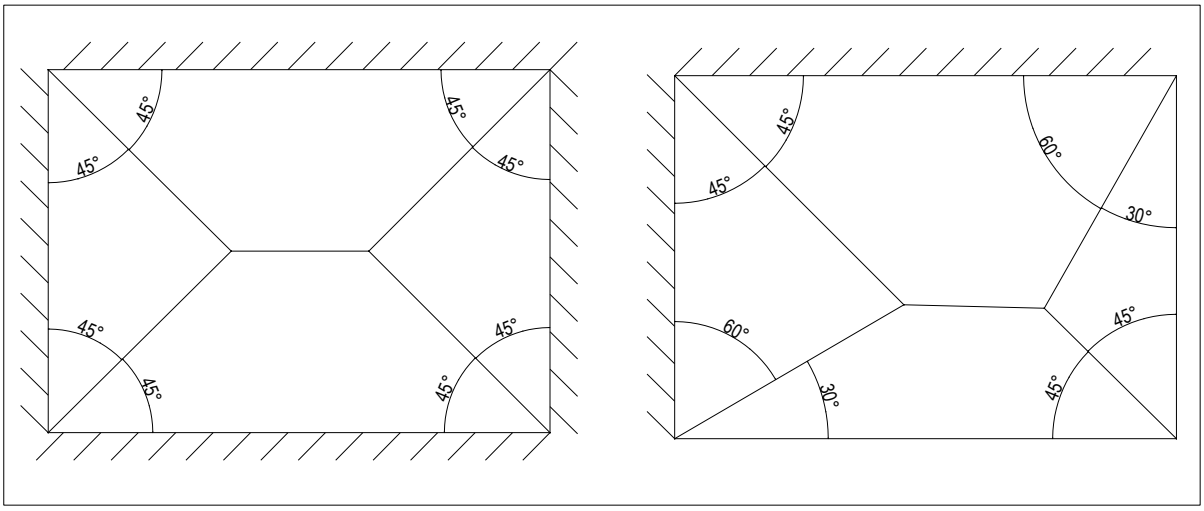
Na figura acima demonstra que no meio do vão ocorre momento fletor (positivo), compressão em cima e tração embaixo, e nos apoios intermediários ocorre momento fletor

(negativo) tração em cima e compressão embaixo, isso mostra que para vencer esses momentos tem que adicionar aço no meio do vão para vencer o momento positivo e aço nos apoios intermediário para vencer os momentos negativos.

Para se calcular uma laje conjugada tem que determinar espessura da laje que é o menor vão dividido por 40(critério pratico para fixação), armadura positiva e armadura negativa (BOTELHO; MARCHETTI, 2011).

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003), as cargas das lajes retangulares transmitidas para as vigas podem ser identificadas num ângulo de 45°, quando os dois apoios forem do mesmo tipo e 60°, quando um apoio for engastado e o outro apoiado.

FIGURA 6– Transmissão das cargas geradas para as vigas



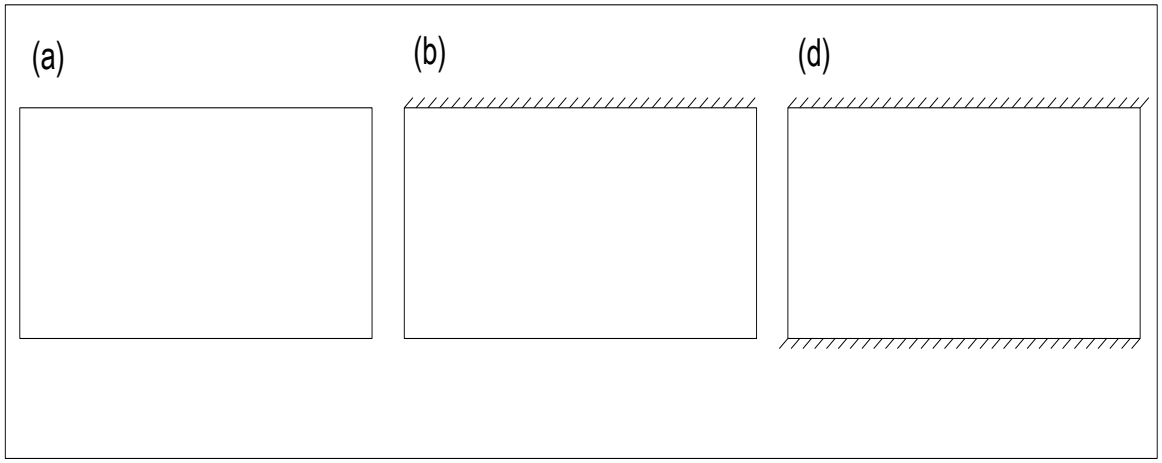
Uma laje é definida por seus dois vão horizontais denominado lx e ly (onde lx é considerado, na maioria das vezes, o vão engastado de preferência o menor) e a carga nela distribuída por metro quadrado. Com esses dados pode-se determinar o momento negativo e positivo nas duas direções o que irá determinar a seção do aço e a reação de apoios nos quatros lados.

Segundo a NBR6118 (ABNT, 2003) as lajes maciças devem apresentar as seguinte medidas mínimas para espessura:

- Cinco centímetros para lajes de cobertura não em balanço;
- Sete centímetros para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- 10 centímetros para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 KN;
- 12 centímetros para lajes que suportam peso total maior que 30 KN.

Conforme Adão e Hemerly (2010) as lajes, quando a relação de suas medidas (horizontais) for maior que dois, ou seja, quando o vão maior for superior ao dobro do vão menor diz-se que é uma laje armada em apenas uma direção, são definidos três tipos de laje (a) apoio nos dois lados, (b) Engaste e apoio, (c) Engaste nos dois lados.

FIGURA 7 – Comportamento das lajes unidirecionais



Fonte: ADÃO, HEMERLY, 2010, p.68

Para se obter a carga e o momento fletor de uma laje armada em uma direção, utilizam-se as formulas da resistência dos materiais:

- Para as lajes (a) $M= (ql^2)/8$
- Para as lajes (b) $M= (ql^2)/8$ $X= (-ql^2/14,2)$
- Para as lajes (c) $M= (ql^2)/24$ $X=(-ql^2/12)$

Onde:

- M= Momento Maximo fletor.
- X= Momento no engaste (negativo)
- l = distancia do vão
- q = carga distribuída da laje referente a um metro de largura.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003) as lajes armadas em uma direção, mesmo tendo momento em apenas um sentido é necessário que se coloque uma armadura transversal de distribuição que atende a 20% da armadura principal e ainda espaçamento entre barras de no máximo 33 cm.

2.2.2 Lajes Treliçadas unidirecional.

> Se a engenharia tem como um dos seus objetivos prioritário a segurança-decorrência obvia do valor da vida humana, bem como das necessidades da conservação dos patrimônios-a história do desenvolvimento cultural e técnico ao longo dos séculos e dos milênios demonstra que muitas das grandes invenções resultaram do intuito de reduzir custos (GASPAR, 1997, p.1).

Verifica-se que a engenharia vem ao longo do tempo procurando aliar a segurança, que é o seu principal objetivo com economia.

Conforme a ABRAPEX (2006), adoção de métodos de construção com elementos pré-fabricados foi o caminho encontrado pela engenharia civil para a redução de custos das edificações.

O dimensionamento das lajes maciças de concreto armado mostra que as tensões de compressão nas mesmas são muito baixas, e que a seção resistente de concreto armado solicitado à flexão estava em boa parte submetida a tensões de tração, resistida pelas armaduras, sem qualquer colaboração da maior parte do concreto.

A ideia era a eliminação do concreto tracionado, pois o mesmo tem pouca capacidade de resistir à tração e manter o concreto comprimido do outro lado da seção. Para poder eliminar o concreto na área tracionada eram colocados materiais inertes de enchimento, mas essa eliminação não poderia ser total, então retiraram apenas uma parte do concreto tracionado e deixaram a outra parte para que pudesse alojar a armadura de tração e ter a ligação com o concreto comprimido, mantido na forma de uma capa superior da laje, formando assim, as nervuras resistentes a flexão. Essa foi à ideia que levou as lajes nervuradas.

A laje treliçada trata-se de um pré-moldado unidirecional (armada em uma direção) fabricado, em centrais de fornecimento. É composto por treliça metálica espacial, base de concreto e elemento de enchimento que pode ser lajota, bloco de concreto ou EPS (BOTELHO; MARCHETTI, 2011).

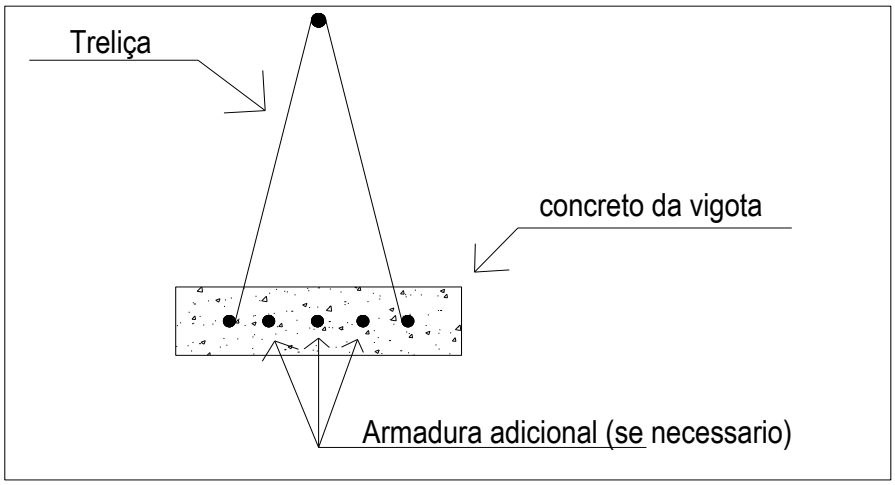
Após a montagem da laje treliçada no local, coloca-se um concreto preparado na obra ou em usina que é chamado de capa de concreto. De acordo com o projeto da laje, pode ser adicionado, armadura positiva para resistir a grandes cargas e grandes vãos, armadura negativa nos apoios para diminuir as fissuras e uma armadura transversal de distribuição.

No que se refere ao processo de economia, “As lajes pré-fabricadas surgiram para ficar. Realmente, a economia se faz com a dispensa de fôrmas em toda a extensão de uma laje, alem de poder diminuir o escoramento, justifica seu uso” (ADÃO, HEMERLY, 2010, p.72). Isso mostra que a preferência por lajes pré-fabricadas pode trazer grandes vantagens quando comparada com as lajes montadas *in loco*.

Para a NBR 6118 (ABNT, 2003) as lajes unidirecionais são calculadas na direção das nervuras. Lajes nervuradas podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, cujos momentos positivos estão localizados nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte.

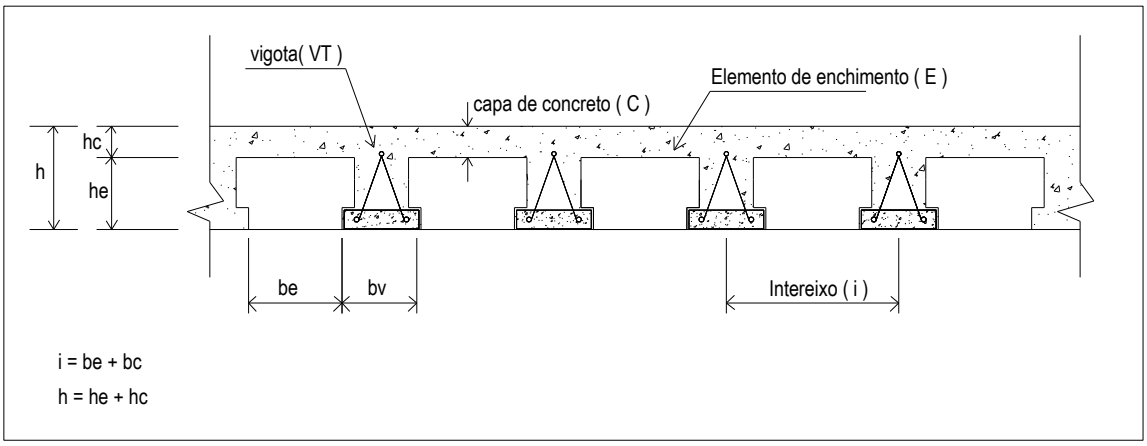
De acordo com a NBR 14859-1 (ABNT, 2002) a vigota treliçada tem seção de concreto formando uma placa, com armadura treliçada parcialmente englobada pela mesma e quando necessário deverá ser complementada com armadura inferior de tração, totalmente englobada pelo concreto. Estas armaduras são utilizadas para compor as lajes treliçadas.

FIGURA 8 – Composição da Vigota treliçada unidirecional



A NBR 14859-1 (ABNT, 2002) demonstra na FIG. 9 a composição de uma laje pré-fabricada treliçada unidirecional.

FIGURA 9 - Composição da laje treliçada



Fonte: NBR14859-1, 2002, p.2

Elementos de enchimento (E) são materiais inertes, intercalados entre as vigotas, com a função de reduzir o volume de concreto, o peso próprio da laje e servir como fôrma para o concreto complementar.

TABELA 3 – Dimensões padronizadas do elemento de enchimento em centímetros (cm)

ALTURA NOMINAL	LARGURA NOMINAL	COMPRIMENTO NOMINAL
7 (MÍNIMA)	25 (MÍNIMA)	20 (MÍNIMA)
8	30	25
9,5	32	-
11,5	37	-
15,5	39	-
19,5	40	-
23,5	47	-
28,5	50	-

Fonte: NBR14859-1, 2002, p.5

Capa (C) é a capa superior formada por concreto complementar feito na obra ou em usinas cuja medida e feita a partir da face superior do elemento de enchimento. Deve ser a complementação das vigotas pré-fabricadas para a formação das nervuras longitudinais.

.

TABELA 4 – Capa mínima resistente para altura total padronizada (cm)

ALTURA TOTAL DA LAJE	ESPESSURA MÍNIMA DA CAPA
10	3
11	3
12	4
13	4
14	4
16	4
17	4
20	4
21	4
24	5
25	5
29	5
30	5
34	5

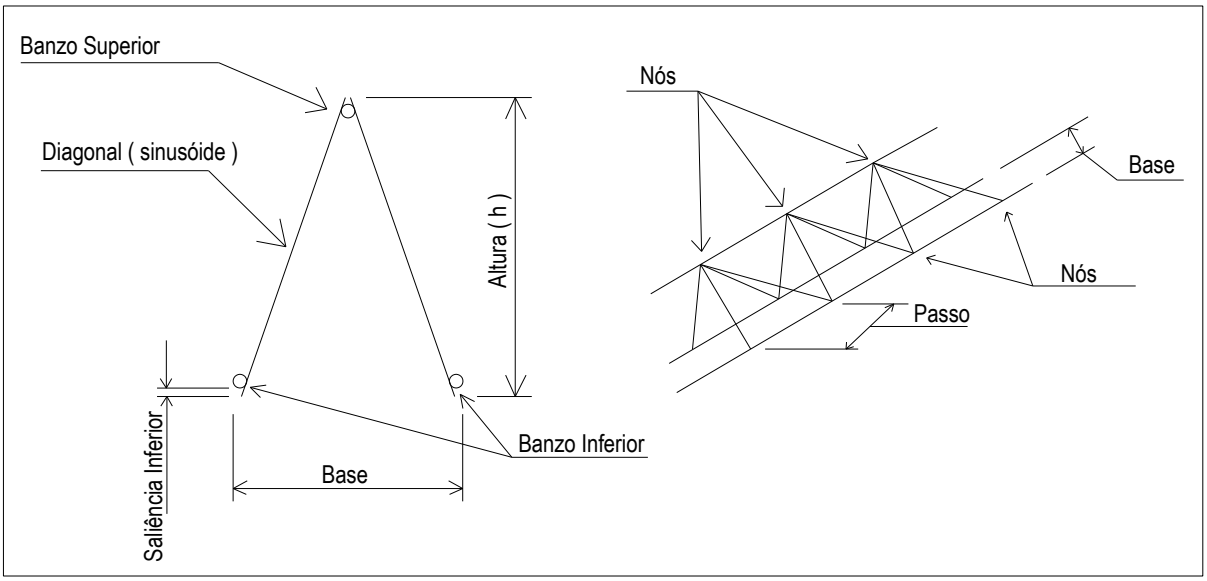
Fonte: NBR 14859, 2002, p.8

Intereixo (i) é a distância entre eixos das vigotas treliçadas.

Armadura de distribuição é a armadura utilizada para eliminar as fissura na laje utilizando aço CA50, aço CA60 ou tela soldada com área mínima de 0,6cm²/m

Segundo a NBR14862 (ABNT, 2002), armadura treliçada é a armadura de aço pronta, pré-fabricada, constituída por um fio de aço na parte superior (banzo superior) e dois fios de aço na parte inferior (banzo inferior) unidos por dois fios em diagonais (sinusóide), interligados por eletrofusão com espaçamento padronizado chamado passo (FIG.10).

FIGURA10-Detalhamento da armadura treliçada



Fonte: NBR14862, 2002, p.2

Nó é o ponto onde é feito a junção dos fios de aço da armadura treliçada, unidos por eletrossolda (caldeamento).

Altura (h) distância entre a superfície limite inferior e a superfície limite superior, com medidas padronizadas de 80 mm, 120 mm, 160 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm.

Passo (p) é a distância entre eixos dos nós que compõem a armadura treliçada com medidas padronizadas de 200 mm.

Base (b): Distância entre os fios que compõem o banzo inferior com medidas entre 80 mm e 120 mm.

Saliência inferior é a distância entre a superfície inferior da armadura treliçada a face inferior do banzo inferior.

A identificação de uma treliça é dada da seguinte forma 120 mm de altura, banzo superior de seis milímetros (mm), diagonal (sinusóide) de quatro milímetros e banzo inferior de 4,2 mm serão designados TR12644.

As armaduras treliçadas quando fornecidas devem apresentar o certificado de qualidade, que deve indicar as características mecânicas e suas designações.

FIGURA 11 – Certificado de qualidade

CERTIFICAMOS QUE O PRODUTO ESTÁ DE ACORDO COM OS REQUISITOS DA NORMA TÉCNICA CITADA.

Cliente	Nota Fiscal	Certificado n°
##################	###########	**1625398-SCR**
Descrição do produto	**Norma/Qualidade**	**Data Emissão**
TRELIÇA TG8L	**ABNT NBR14862**	**10/10/2013**

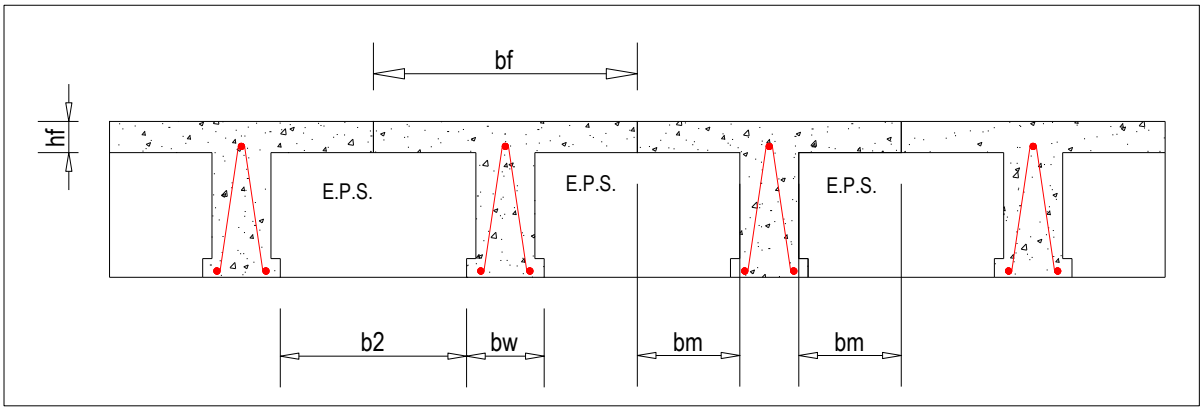
Bitola	Corrida	Peso (kg)	DIAM B mm	LE BI MPa	LR BI MPa	REL BI	AL BI %	DB BI	D BS mm	LE BS Mpa	LR BS MPA	REL BS	AL BS %	CIS MD N	MLRTRE kg/m
		1588	4,12	754	839	1,11	8	OK	5,92	675	735	1,09	9,5	7050	0,721

Código das propriedades mecanicas		Observasãoes	Responsavel pela qualidade
LE BI Lim Escoam Bz inf	LE BS Lim Escoam Bz Sup		
LR BI Lim resist Bz inf	LR BS Lim resist Bz Sup		
REL BI Rel LR/LE Bz Inf	REL BS Rel LR/LE Bz Sup		
AL BI Alongam. Banzo Inf.	AL BS Alongam. Banzo Sup.		CREA
DB BI Dobram. Banzo Inf.	CIS MD Carga Cisalh. Médio		

Fonte: Gerdau aços longos S.A. – Consigua, R.J, 2013.

Para obter o dimensionamento da laje nervurada treliçada o cálculo é feito considerando as nervuras como viga T, onde devem ser observadas todas as prescrições relativas às mesmas tais como: (Grossi (Inst.), 2013).

FIGURA 12 – Formato das nervuras da laje treliçada com elemento de enchimento em EPS



Fonte: GROSSI (INST.), 2013 p.29

Legenda:

- bf = nervura;
- bm = largura da mesa;
- bw = base da viga;
- hf = espessura da laje;
- b2 = distancia entre nervura;

As figuras abaixo mostram a vista superior da laje treliçada FIG.13 e a vista superior da laje maciça (FIG.14).

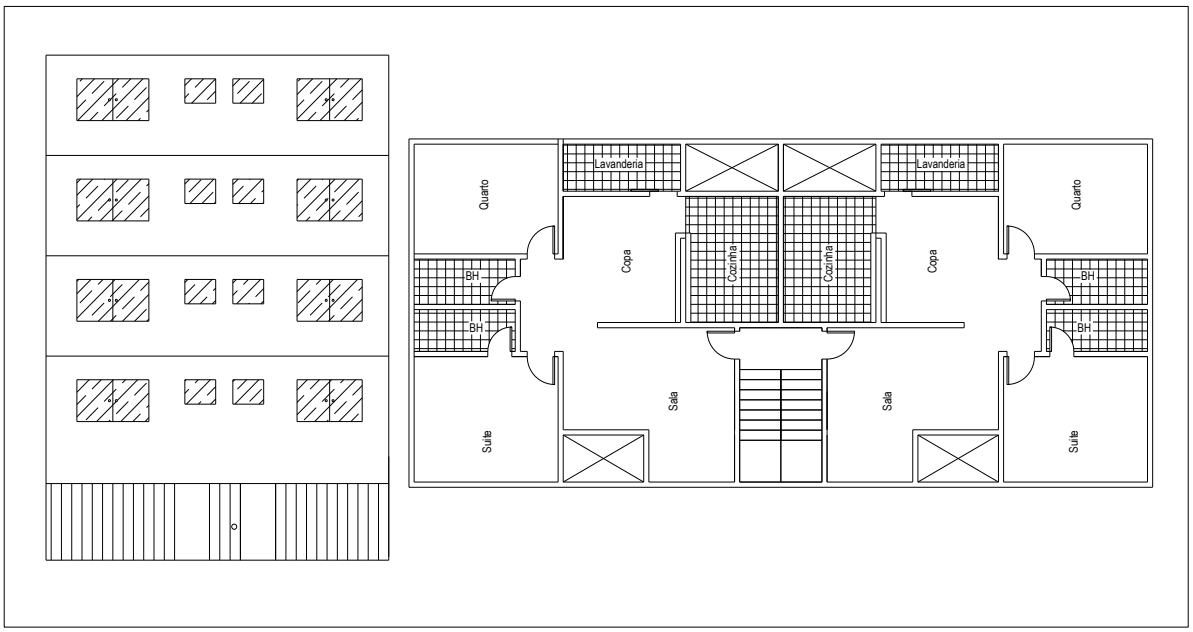
FIGURA 13 – Vista superior da laje treliçada e distribuição do aço

FIGURA 14 – Vista superior da laje maciça e distribuição do aço

2.3 Metodologia de cálculo

Foram analisadas através de calculo estrutural duas edificações idênticas, sendo uma em laje maciça e a outra com laje treliçada (FIG.15).

FIGURA 15– Projeto da fachada e da planta da edificação em estudo



Os cálculos das edificações foram baseados na literatura de Concreto Armado Eu Te Amo volume I, 2010 e para fins de desenho foi utilizado o software Auto CAD 2007 FIG.16. Para facilitar os cálculos, utilizou-se a Microsoft Excel FIG.17, e para a identificação dos momentos fletores nas vigas foi utilizado o software ftool (FIG.18).

FIGURA 16 – Software Auto CAD utilizado para elaboração dos projetos

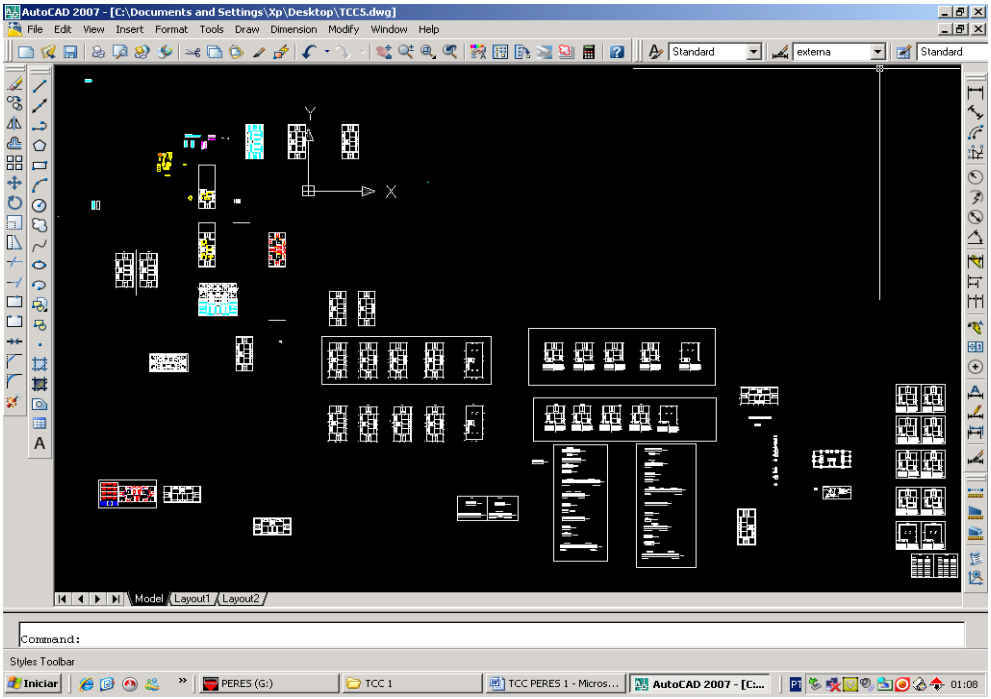


FIGURA 17 – Planilha do Microsoft Excel utilizada para obter a seção do aço

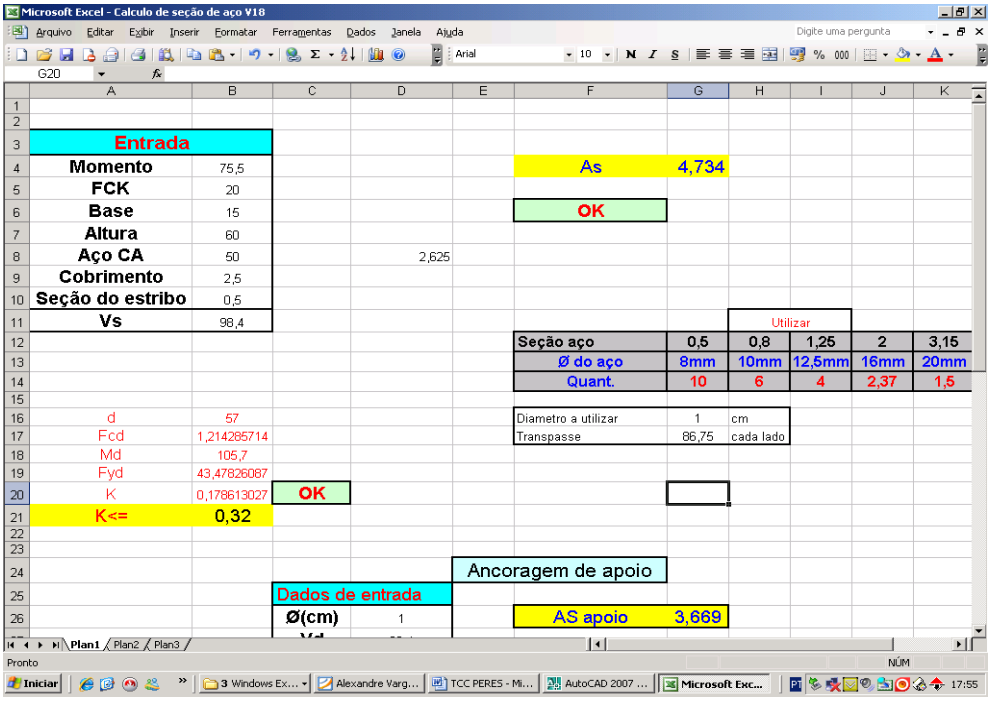
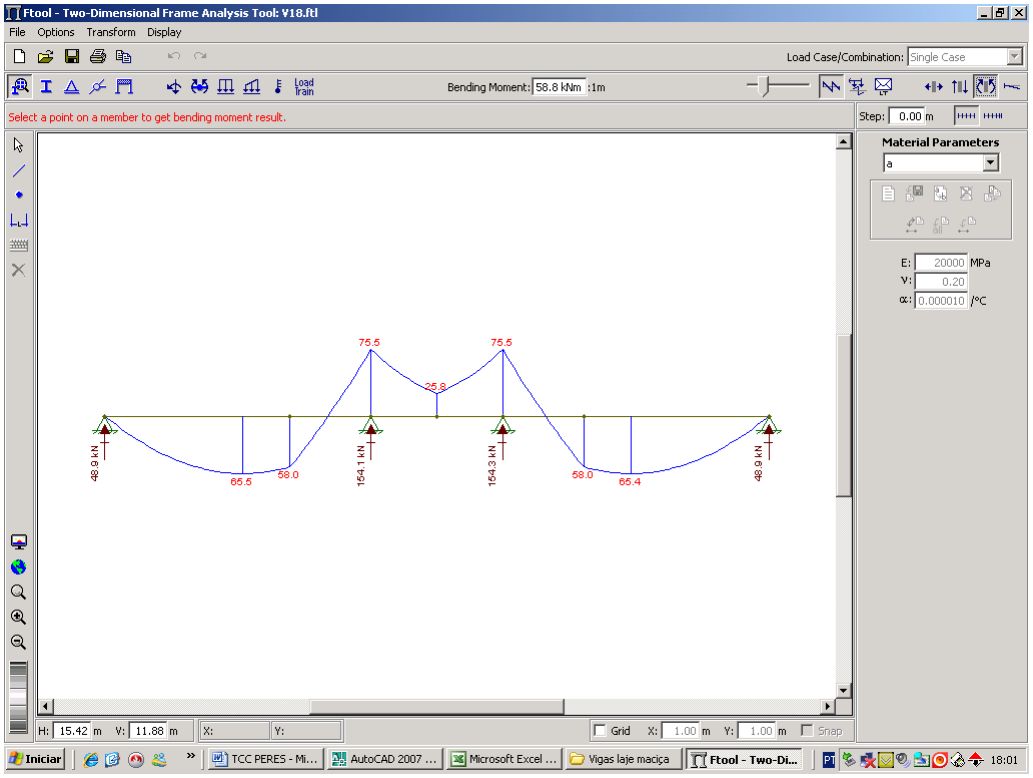


FIGURA 18 – Software ftool utilizado para obter os momentos fletores nas vigas em analise



2.4 Resultados e Discussão

2.4.1 Lajes

Primeiramente é apresentada a disposição de cada laje na edificação em análise, o sentido da ferragem e os diâmetros de cada aço a serem distribuídos no local FIG.19 e na FIG. 20 mostra o sentido das vigotas treliçadas seguido do EPS que serão distribuídos na obra.

FIGURA 19 – Projeto da laje maciça

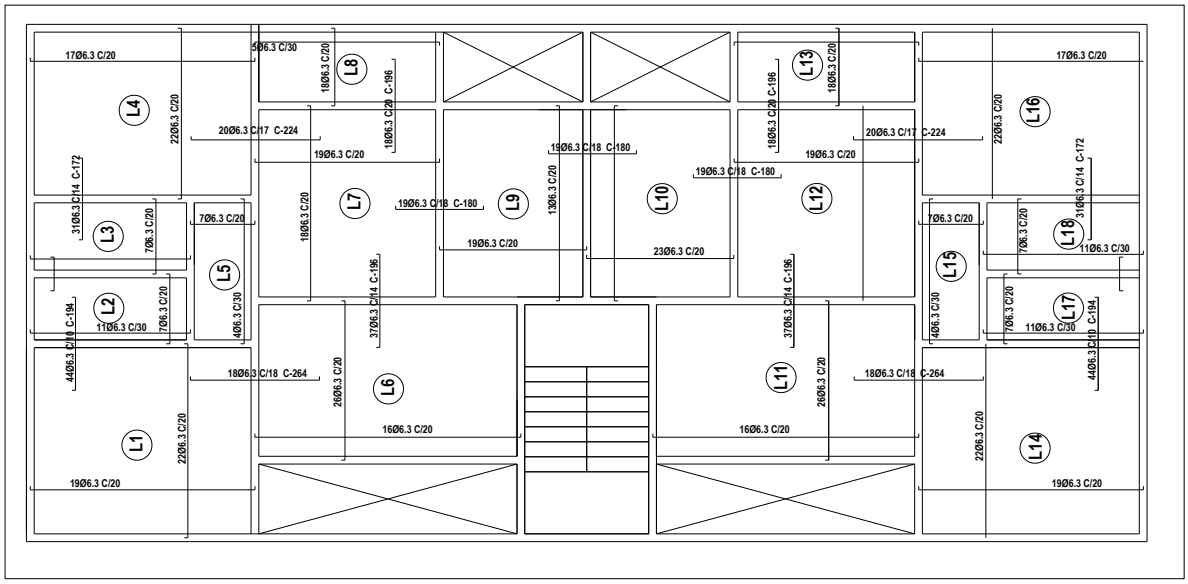
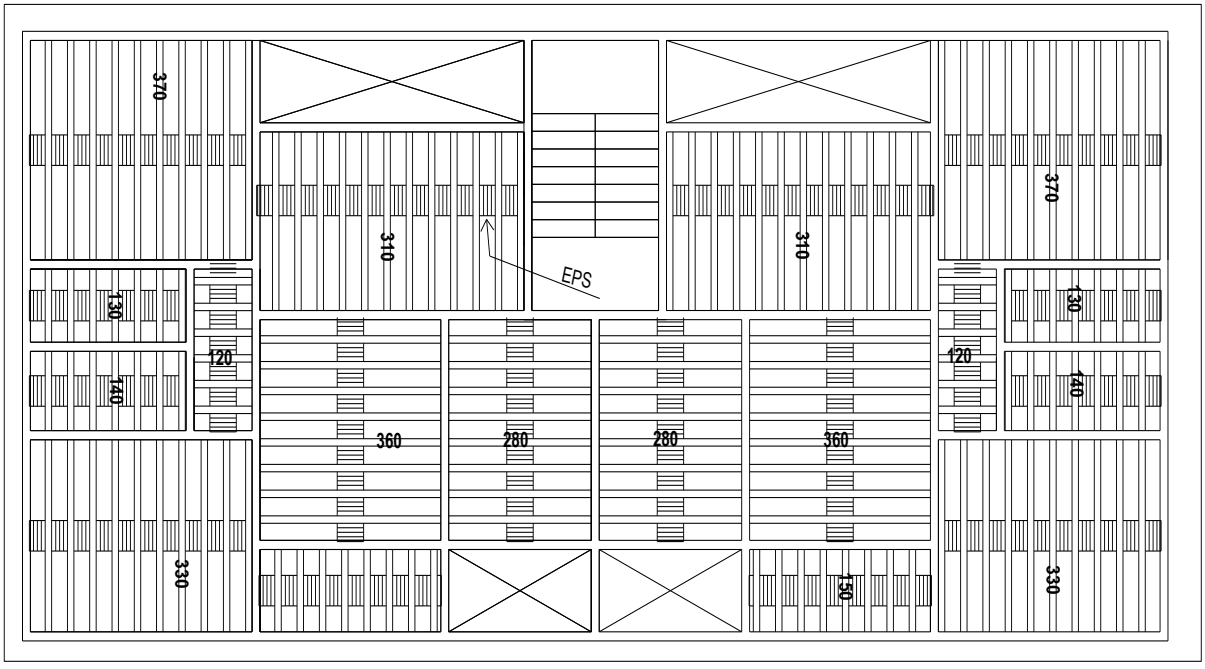


FIGURA 20– Projeto da laje Treliçada



De acordo com a comparação das lajes acima nota-se que a execução da laje maciça é mais trabalhosa, pelo fato da utilização de fôrmas e a distribuição do aço com os espaçamentos necessários.

2.4.2 Vigas

Na FIG.21 mostra as posições das vigas na FIG.22 e FIG.23 mostram o projeto de distribuição de aço nas vigas das duas edificações em análise.

FIGURA 21– Posição das vigas das duas edificações

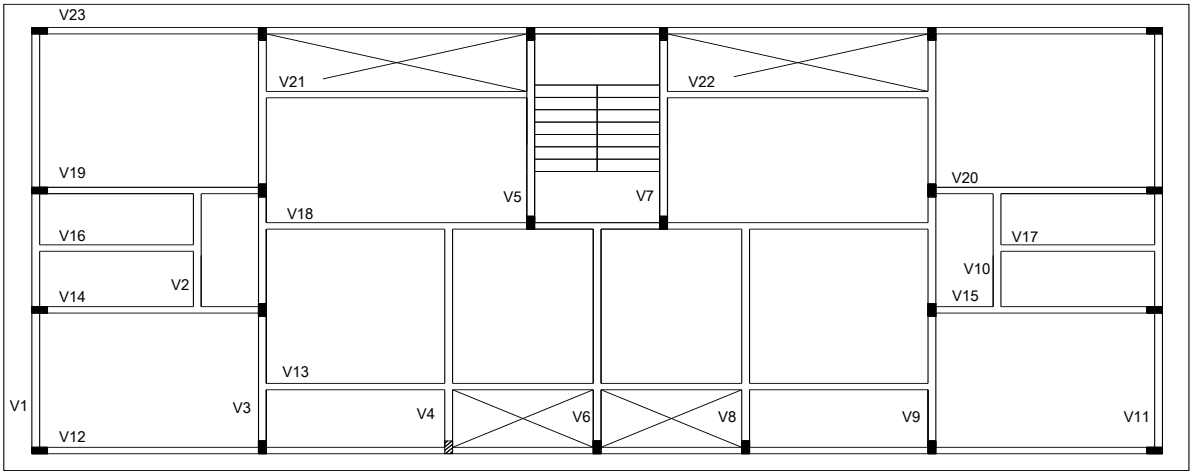
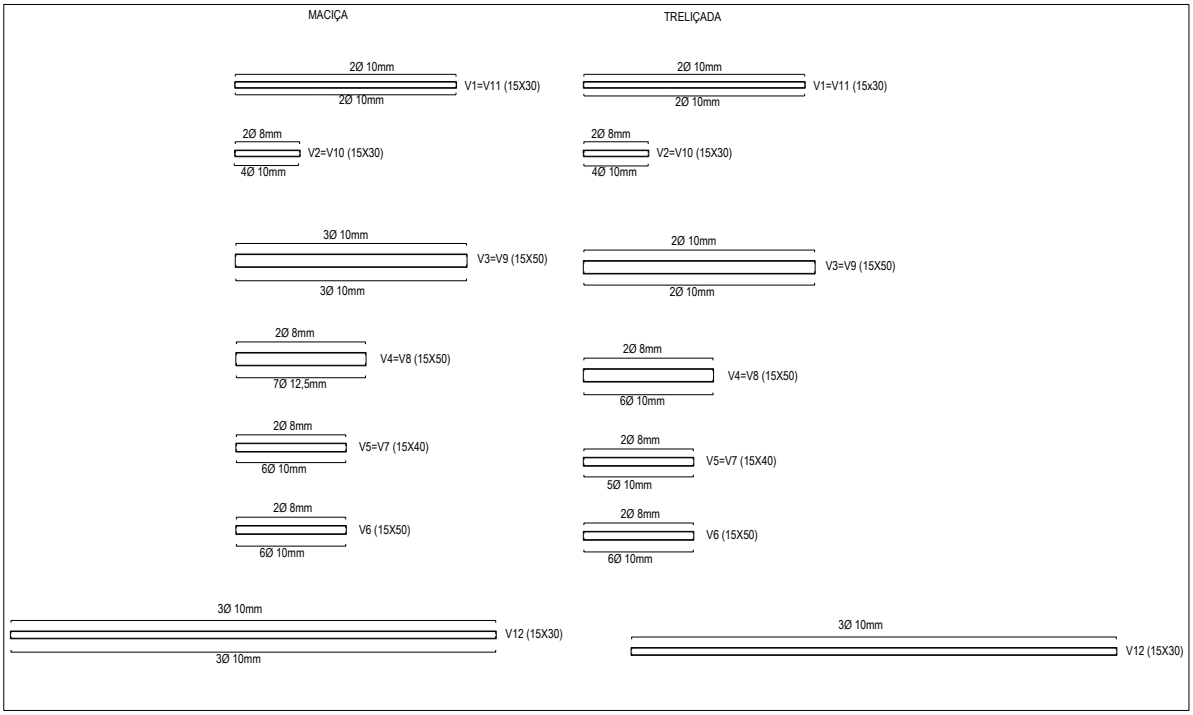
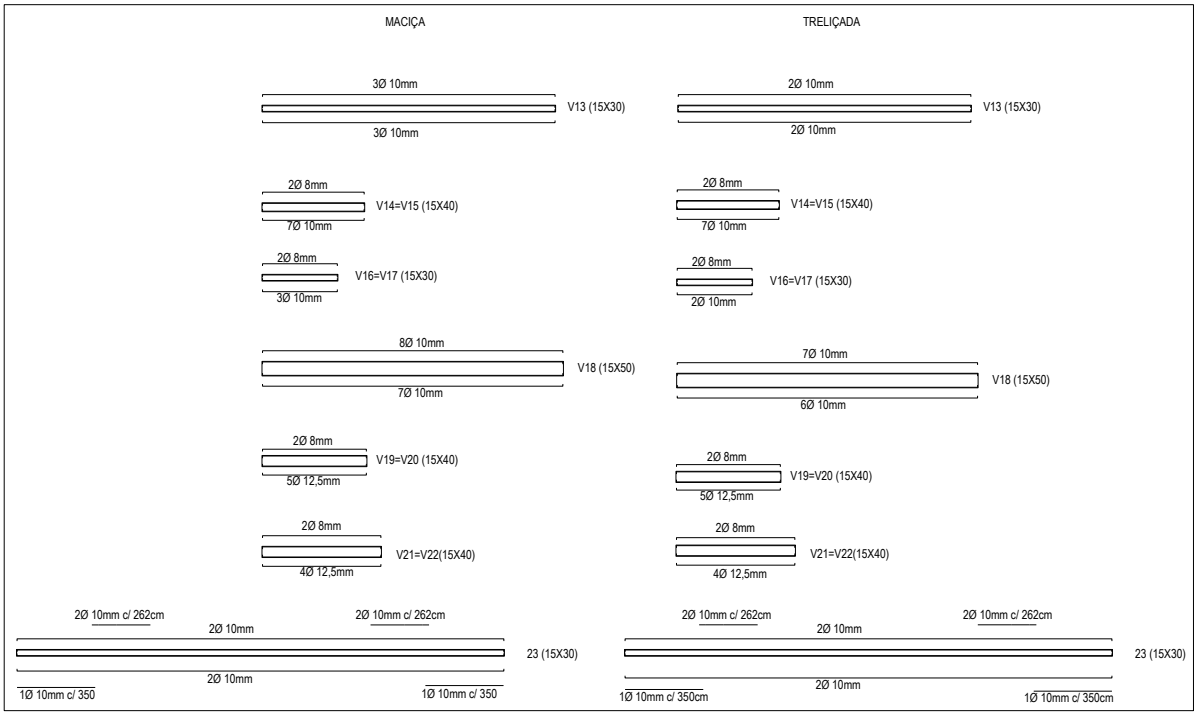


FIGURA 22– Detalhamento de vigas



A viga 1 é representada com seção de 15 cm na direção do eixo x, 30 cm na direção do eixo y, 2 aços na bitola (diâmetro) de 10mm na parte superior, 2 aços na bitola de 10mm na parte inferior (FIG.22).

FIGURA 23– Detalhamento de vigas

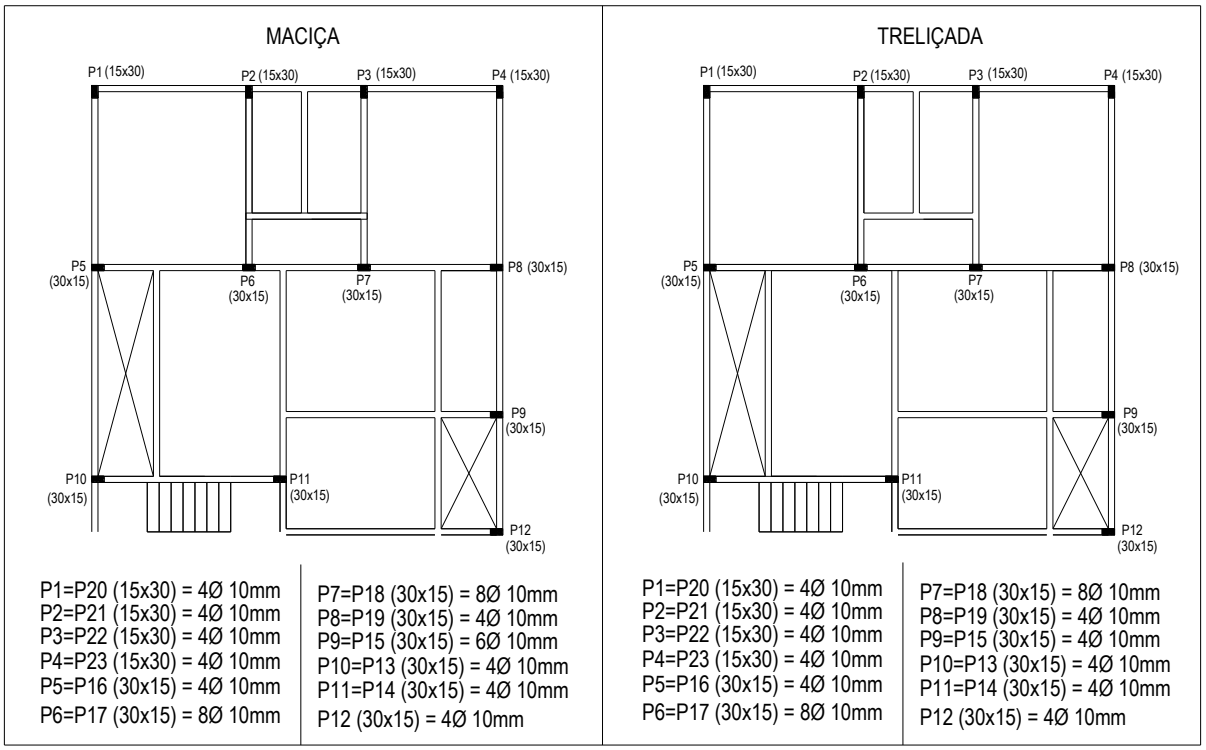


De acordo com a distribuição dos aços acima, verificou-se que as vigas do projeto executado com a laje treliçada mostraram uma economia de 5,4% de aço.

2.4.3 Pilares

As seguir mostram-se os resultados dos pilares no quarto pavimento FIG.24, terceiro pavimento FIG.25, segundo pavimento FIG.26, primeiro pavimento FIG.27 e garagem FIG.28.

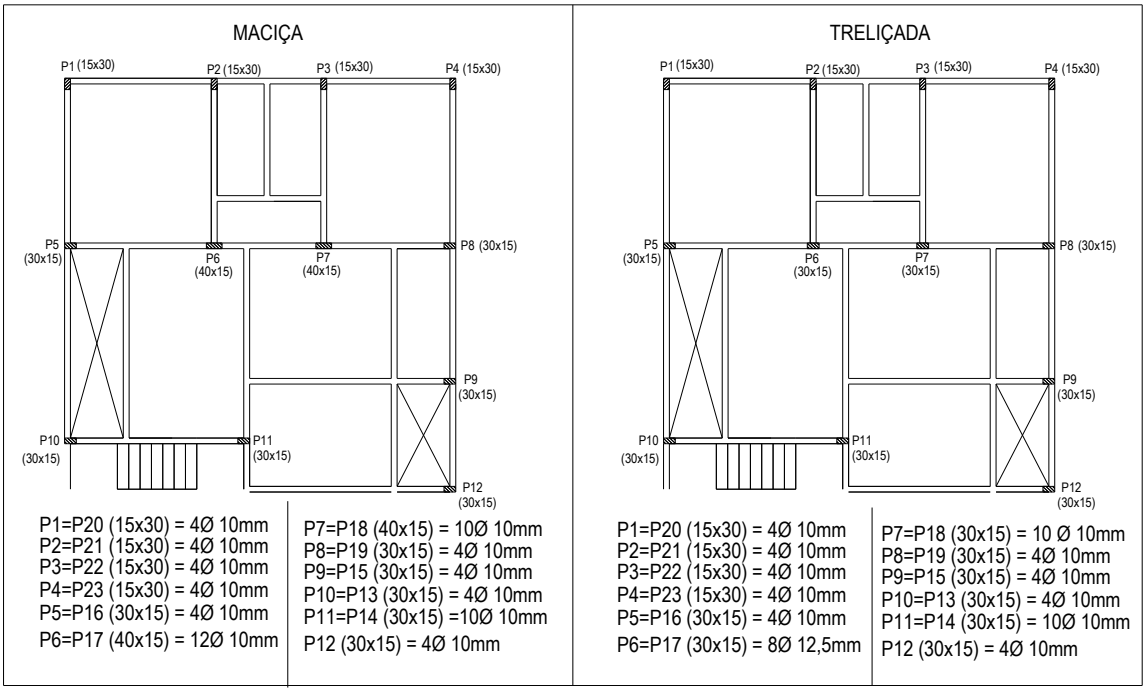
FIGURA 24– Detalhamento dos pilares do quarto pavimento



De acordo com o projeto acima o pilar 1 é representado com seção de 15 cm no eixo x, 30 cm no eixo y e com 4 aços na bitola de 10mm.

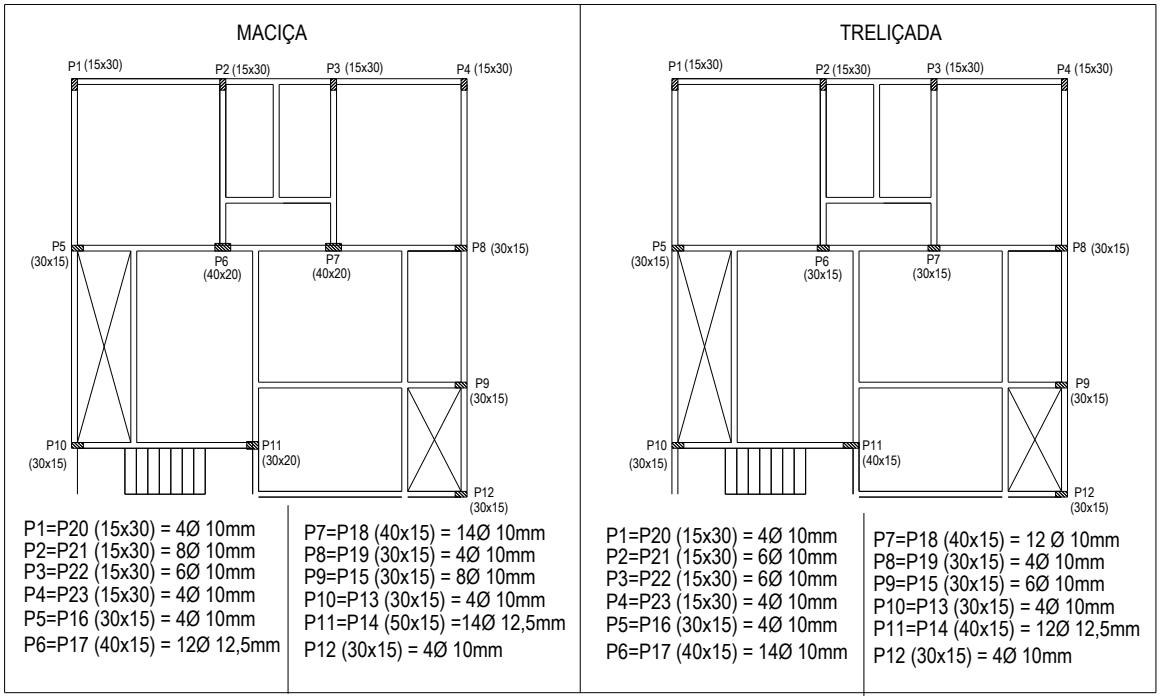
Verificou-se com os resultados da FIG.24 que o projeto feito com a laje treliçada manteve o mesmo consumo em relação ao concreto e uma redução de 3,5% no consumo de aço em relação o projeto executado com a laje maciça.

FIGURA 25– Detalhamento dos pilares do terceiro pavimento



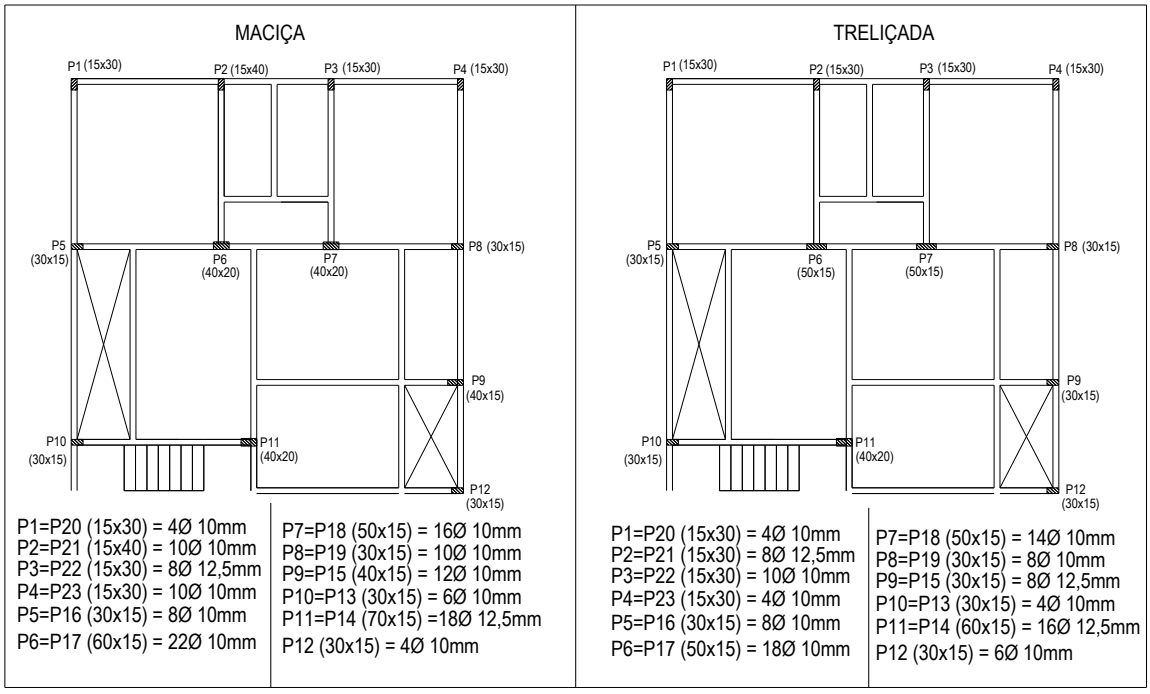
De acordo com os dados da FIG.25 observar-se uma redução no projeto executado com a laje treliçada de 5,3% no consumo de concreto e 3% no consumo de aço.

FIGURA 26– Detalhamento dos pilares do segundo pavimento



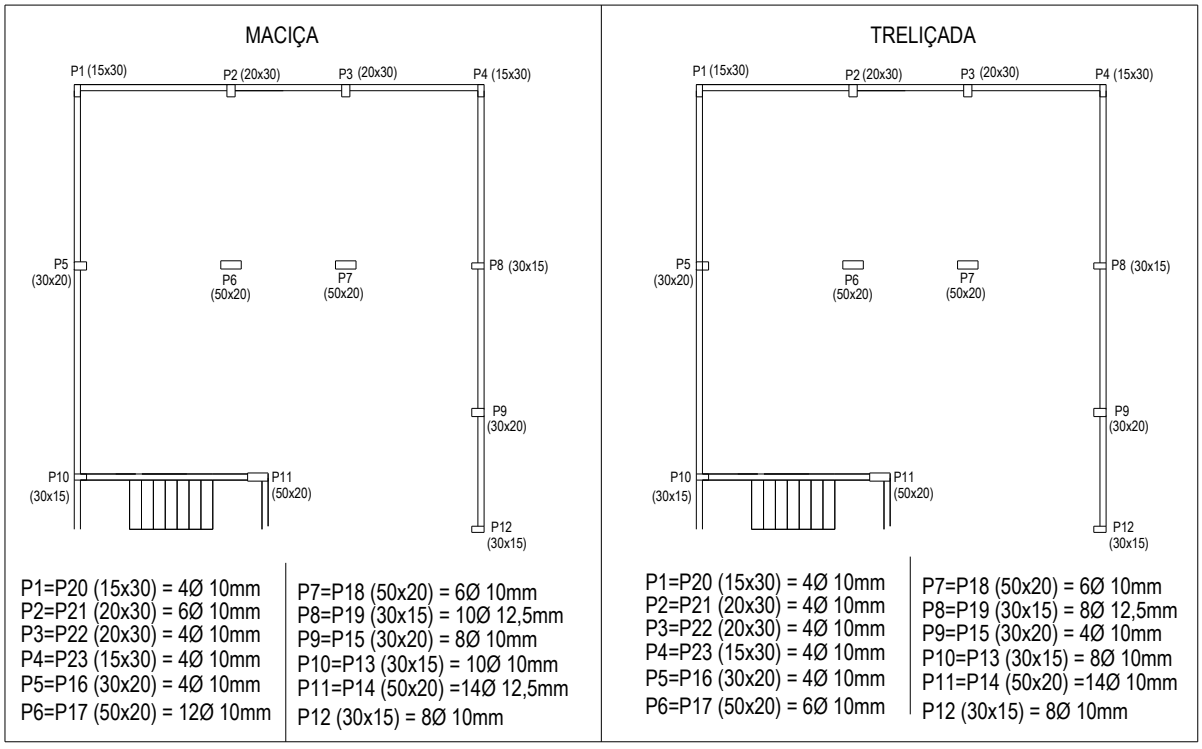
Na FIG.26 observa-se que o projeto da laje treliçada apresentou uma redução no consumo de concreto de 2,5% e 10,3% em relação ao aço.

FIGURA 27– Detalhamento dos pilares do primeiro pavimento



O projeto executado com a laje treliça apresentou mais econômica trazendo uma redução de 8,5% em relação ao concreto e 13,75% em relação ao aço.

FIGURA 28– Detalhamento dos pilares da garagem



Observa-se que na FIG.28 procurou manter a seção dos pilares iguais nos dois casos e verificou-se uma redução em relação ao aço de 21% no pilar onde se utilizou a laje treliçada.

2.4.4 Sapatas

Na FIG.29, apresenta o projeto da localização das sapatas em planta e na FIG.30 apresenta-se o resultado dos cálculos das sapatas das duas edificações.

FIGURA 29– Detalhamento das sapatas das duas edificações

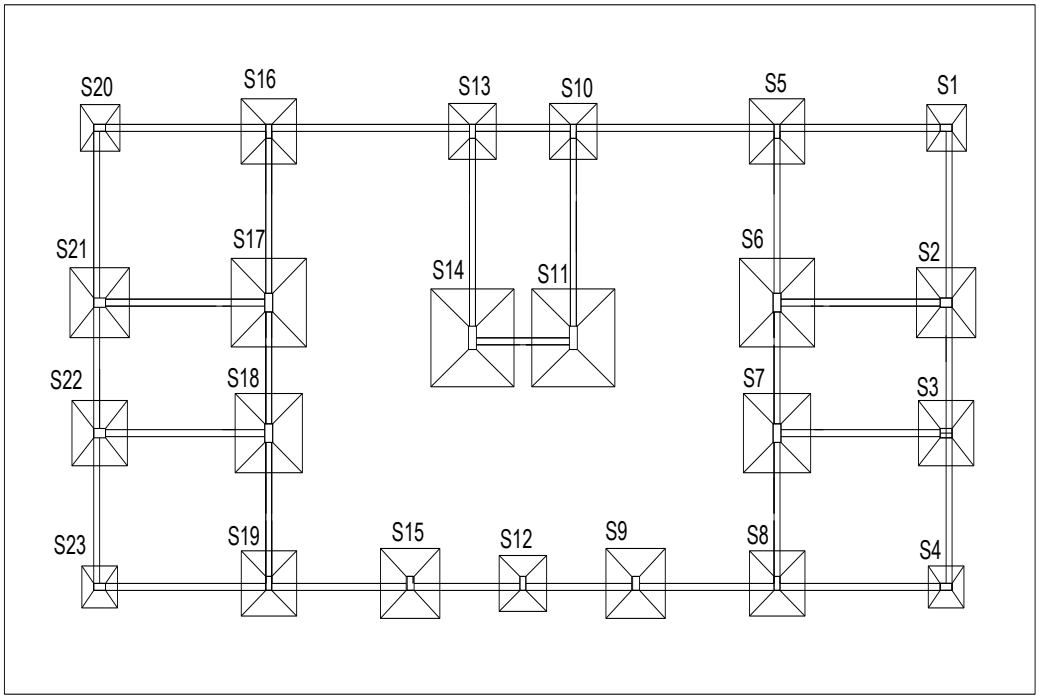


FIGURA 30– Detalhamento das sapatas das duas edificações

MACIÇA			TRELIÇADA		
DIMENSÂO (cm)	X	Y	DIMENSÂO (cm)	X	Y
S1=S20 (100x100)	4Ø10mm c/ 25	4Ø10mm c/ 25	S1=S20(90x90)	4Ø10mm c/ 25	4Ø10mm c/ 25
S2=S21 (150x150)	10Ø10mm c/ 15	11Ø10mm c/ 14	S2=S21 (140x140)	8Ø10mm c/ 15	9Ø10mm c/ 16
S3=S22 (140x140)	8Ø10mm c/ 18	9Ø10mm c/ 16	S3=S22 (140x140)	7Ø10mm c/ 19	8Ø10mm c/ 17
S4=S23 (90x90)	4Ø10mm c/ 25	4Ø10mm c/ 25	S4=S23 (90x90)	4Ø10mm c/ 25	4Ø10mm c/ 25
S5=S16 (140x140)	9Ø10mm c/ 16	7Ø10mm c/ 19	S5=S16 (130x130)	7Ø10mm c/ 18	6Ø10mm c/ 21
S6=S17 (190x190)	27Ø10mm c/ 7	19Ø10mm c/10	S6=S17 (140x140)	19Ø10mm c/ 9	13Ø10mm c/13
S7=S18 (170x170)	17Ø10mm c/10	13Ø10mm c/ 13	S7=S18 (160x160)	15Ø10mm c/11	11Ø10mm c/ 15
S8=S19 (140x140)	12Ø10mm c/ 21	6Ø10mm c/ 25	S8=S19 (130x130)	5Ø10mm c/ 24	5Ø10mm c/ 25
S9=S15 (150x150)	12Ø10mm c/ 13	10Ø10mm c/ 15	S9=S15 (140x140)	9Ø10mm c/ 16	8Ø10mm c/ 18
S10=S13 (120x120)	5Ø10mm c/ 23	5Ø10mm c/ 25	S10=S13 (110x110)	5Ø10mm c/ 24	4Ø10mm c/ 25
S11=S14(210x210)	26Ø10mm c/ 8	21Ø10mm c/ 10	S11=S14 (200x200)	29Ø10mm c/ 7	22Ø10mm c/ 9
S12 (120x120)	5Ø10mm c/ 23	5Ø10mm c/ 25	S12 (120x120)	5Ø10mm c/ 22	5Ø10mm c/25

De acordo com a FIG.30 acima a sapata 1 da obra calculada com a laje maciça é representada na dimensão de 100 cm no eixo x, com 4 aços na bitola de 10 mm a cada 25 cm de espaçamento entre elas e 100 cm no eixo y, com 4 aços na bitola de 10 mm espaçada a cada 25 cm.

Através dos cálculos verificou-se que a edificação calculada com a laje treliçada, houve uma redução na sapata de 6,2% em relação ao consumo de concreto e 18% de redução em relação ao consumo de aço.

3 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos, na comparação feita observa-se que a edificação projetada com a laje treliçada apresenta rapidez em sua montagem, devido à ausência de fôrmas, gerando redução de tempo e mão de obra. Apresenta, também, a vantagem de ser economicamente viável para vencer grandes vãos e suportar altas cargas.

Verificou-se que a edificação feita com a laje treliçada, apresentou economia em concreto e aço nos pilares e vigas, de todos os pavimentos dimensionados, melhorando as vantagens nos pilares à medida que aumenta o número de pavimentos. Em relação à fundação, a carga gerada para o solo foi menor que a carga gerada pela edificação da laje maciça.

Pode trazer benefícios também na parte estética da obra, pelo fato de terem pilares com seções menores que a edificação feita com a laje maciça. Verificou-se, comprovando que a proposta da utilização da laje treliçada unidirecional se mostrou eficaz, considerando o desempenho estrutural, o processo de execução e a viabilidade econômica na edificação em estudo.

Devido aos avanços na construção civil, a busca é cada vez maior por novos métodos construtivos que tragam rapidez e economia. Cabe aos profissionais da área, engenheiros e construtores, especializarem-se em novos métodos para que possam proporcionar aos clientes o tipo de estrutura mais adequada para edificação a ser construída, e não optar sempre pelos processos construtivos tradicionais.