

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LAJES TRELIÇADAS DE EPS, NERVURADAS COM FORMA PLÁSTICA TIPO CUBETA E LAJES DE FORMAS COLABORANTES NERVURADAS (MISTAS NERVURADAS)

Adriano Adilson Pott¹
 Poliana Bellei²
 Ailson Oldair Barbisan³

RESUMO

Este trabalho tem como principal objetivo verificar os sistemas construtivos de lajes treliçadas com enchimento de EPS, nervuradas com forma plástica tipo cubeta, e lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas), qual delas apresenta o menor custo. Quanto maior for o conhecimento sobre os sistemas, melhor será a escolha para o projeto e execução, logo, com o comparativo entre esses sistemas construtivos, o profissional poderá escolher qual método construtivo de laje é mais eficiente. As lajes desenvolveram-se ao longo dos anos, por existir profissionais interessados em buscar melhores desempenhos estruturais e arquitetônicos, em relação as limitações e vantagens que os sistemas apresentam com o passar do tempo. Aliado a isso, as construções devem possuir menor consumo de material e maior agilidade de mão de obra. Este trabalho buscou apresentar o sistema de laje com melhor custo/benefício, depois das análises chega-se à conclusão, de que as lajes de formas colaborantes são as mais eficientes, apesar de seu custo inicial ser elevado em determinada situação, o seu valor absorve-se na economia dos insumos e a redução de mão de obra.

Palavras-Chave: Lajes treliçadas com enchimento de EPS. Lajes nervuradas com formas plásticas tipo cubeta. Lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas).

1 INTRODUÇÃO

A construção civil evoluiu consideravelmente nos últimos anos. Desta maneira, novas técnicas e materiais são utilizados, a fim de melhorar o desempenho das construções, reduzindo gastos com execução e consumo de materiais.

O surgimento de linhas arquitetônicas modernas forçou o aumento dos vãos, exigindo uma estrutura esbelta, e o uso da laje nervurada, cuja mesma, necessita de um baixo consumo de concreto, propiciando redução no peso próprio, e melhor aproveitamento do aço e do concreto. A resistência à tração concentra-se nas nervuras, e os materiais leves de enchimento substituem o peso do concreto, sem influenciar na resistência (BOTELHO, 2013). Essas reduções propiciam uma economia de matéria prima, mão-de-obra, e de cimbramento, aumentando, assim, a viabilidade do sistema construtivo (PINHEIRO, RAZENTE, 2003).

¹ Formado em Engenharia Civil pela UCEFF.

² Docente do curso de Engenharia Civil da UCEFF. E-mail: polianabellei@gmail.com.

³ Docente da UCEFF. ailsonbarbisan@uceff.edu.br.

Com isso, torna-se importante um estudo que compare as tipologias de lajes, as quais podem ser utilizadas na estrutura, buscando a escolha mais adequada, em termos de desempenho, baixo consumo de material, e redução de mão-de-obra, conduzindo a um menor custo final global.

Cada sistema construtivo possui suas particularidades, vantagens e desvantagens, porém, a falta de pesquisas analisando esses três sistemas, deixa dúvidas sobre qual deles possui o melhor custo benefício. Atrelado a isso, a questão problema dessa pesquisa é: **Qual o sistema construtivo de lajes treliçadas de EPS, nervurada com formas plásticas, e lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas) apresenta o maior custo/benefício?**

Discute-se sobre os diversos tipos de lajes nervuradas existentes no mercado, principalmente, sobre sua viabilidade técnica e econômica. Assim, o objetivo geral desse trabalho é verificar na cidade de Chapecó - SC, entre os sistemas construtivos de lajes treliçadas de EPS, nervuradas com forma plástica tipo cubeta, e lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas), qual delas apresenta o menor custo/benefício. Desta forma, ao final da obra, se obtém um produto de melhor qualidade para os clientes, gerando mais lucro aos construtores e incorporadores, em função da melhor escolha entre o tipos de lajes.

2 REVISÃO TEÓRICA

Para calcular uma estrutura é necessário conhecer o tipo de laje, revestimento do piso, forro, entre outras informações sobre a edificação, para que seja possível determinar as cargas e sobrecargas que a estrutura terá de suportar. Dependendo da finalidade da edificação projetada, a mesma requer um grau de exigência, funcionalidade, dimensões mínimas, e ações a serem atendidas (VASCONCELOS, 1985).

No início da utilização das lajes, essas eram maciças e calculadas em uma ou duas direções. Esses elementos são responsáveis por receber os carregamentos e ações aplicadas nas estruturas. As ações são perpendiculares, podendo ser divididas da seguinte forma: distribuídas na área, linearmente, ou forças concentradas, sendo estas, transmitidas para as vigas, e após, aos pilares (VASCONCELOS, 1985).

Com o passar dos anos foram surgindo novos tipos de lajes, pode-se dizer que são reconfigurações das lajes maciças, sendo retirado concreto em partes da laje, que não sofrem tração, e colocado material inerte, sem fim estrutural. Desta forma, possibilitou a redução do

seu peso, e permitiu o dimensionamento de um vão maior, devido à exigência da arquitetura moderna (VASCONCELOS, 1985).

As lajes são elementos estruturais planos, onde sofrem carregamentos externos normais nas suas faces, e são classificadas em dois grupos: lajes moldadas *in loco* (feita em canteiro de obra), e as lajes pré-moldadas (feitas em fabricas), que podem ser pré-fabricadas totalmente ou parcialmente. As lajes moldadas *in loco* são consideradas lajes maciças, ou até lajes nervuradas. Exigem a confecção de formas no local, sendo explanado neste estudo, o modelo de laje nervurada com formas plásticas tipo cubeta, por possuir vazios entre suas nervuradas. Já as lajes pré-fabricadas, treliças, possuem entre as nervuras materiais inertes, como enchimento de EPS, ou tabelas de cerâmica, e as lajes de formas colaborantes com vigotes metálicos e enchimento de EPS.

2.1 LAJES TRELIÇADAS

Essas lajes são formadas por elementos pré-moldados chamados de vigotas, a armadura do elemento é uma treliça espacial de aço, composta por três banzos paralelos, e diagonais laterais de forma senoidal, soldadas por processo eletrônico aos banzos (CARVALHO, 2014).

Os elementos pré-moldados são os elementos resistentes do sistema, e têm capacidade para suportar, além do seu peso próprio, o do EPS, concreto da capa, e uma pequena carga acidental. O dimensionamento da laje treliçada funciona como o da laje nervurada, devendo ser entendida e calculada como tal, tendo em algumas situações, os deslocamentos transversais, bem maiores que os apresentados em lajes armadas em dois sentidos (CARVALHO, 2014).

A peça trabalha em flexão, e a linha neutra passa pela capa, onde existe, uma armadura transversal às nervuras, para vencer os esforços entre duas vigotas sucessivas (BOTELHO, 2013).

2.2 LAJES NERVURADAS COM FORMAS PLÁSTICAS TIPO CUBETAS

As lajes nervuradas com formas plásticas tipo cubetas, surgiram como uma opção construtiva eficiente, ágil e flexível perante as exigências dos projetos arquitetônicos. Este sistema construtivo desenvolveu-se e facilitou o seu uso, devido a evolução dos programas estruturais e dos materiais, proporcionando entendimento pelos projetistas (ARAÚJO, 2008).

A forma como se comporta permite vencer grandes vãos e suportar grandes cargas, devido à eliminação de concreto entre as nervuras, com isso, reduzindo o peso próprio de sua estrutura, sem reduzir sua resistência, tornando o trabalho do concreto e o aço, mais eficiente (REVISTA TÉCNICA, 2007).

Segundo Araújo (2008), a mesa de concreto é responsável por resistir aos esforços de compressão, o aço por absorver os esforços de tração e nervura por solidarizar ambas as peças.

Com o aparecimento deste sistema construtivo o dimensionamento era o principal empecilho, faltavam ferramentas adequadas para obter as reações que as lajes iriam sofrer devido seu grande número de variáveis. Com o passar dos anos começaram a surgir softwares de cálculo, onde permitiu-se chegar a realidade mais próxima do comportamento estrutural, com deformações e deslocamentos (ARAÚJO, 2008).

Devido essas fôrmas serem industrializadas e resistentes, estas podem ser utilizadas várias vezes, propiciando redução de mão-de-obra e desperdício de formas, desta forma, aumentando a produtividade, e reduzindo prazos e custos financeiros (EQUIPE DE OBRA, 2008).

Segundo Araújo (2008), as lajes nervuradas convencionais, são aquelas que as nervuras ficam localizadas na parte inferior, com uma mesa superior de concreto. Os espaços vazios, nos quais podem ser inseridos elementos inertes, ou podem permanecer livres, são obtidos, neste caso, devido à retirada das cubetas.

2.3 LAJES COLABORANTES NERVURADAS (MISTAS NERVURADAS)

Esse sistema inovador de lajes colaborantes nervuradas vem se destacando no mercado da construção civil pela economia de mão de obra, praticidade, e redução no consumo de concreto e escoramentos (TUPER S/A, 2013).

O projeto das lajes mistas nervuradas ocorre de forma semelhante à das lajes treliçadas, porém, permitem de antemão, vãos maiores e liberdade de *layout* de paredes.

Torna-se importante considerar: o peso da parede deve ser calculado; projetar as lajes como lajes nervuradas; usar na capa de concreto, em compressão, as taxas mínimas de armaduras, iguais ao previsto pela norma de lajes mistas.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho pertence a uma linha de pesquisa cujo objeto de investigação é esclarecer qual sistema de laje é mais eficiente com o menor custo.

Quanto ao método científico utilizado foi o indutivo que, para chegar ao conhecimento ou demonstração da verdade, parte de fatos particulares, comprovados, e tirar uma conclusão genérica (MARCONI, LAKATOS, 2010).

Esta pesquisa é de nível exploratória, esta é desenvolvida, afim de proporcionar uma visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato. Constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla (GIL, 2008).

O delineamento desta pesquisa foi documental. A característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escritos ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias. Estas podem ser feitas no momento, em que o fato ou fenômeno ocorre, ou depois (MARCONI, LAKATOS, 2010 p. 174).

O população alvo desta pesquisa são os sistemas de laje existentes, permitindo gerar uma amostra em relação aos tipos de lajes que serão comparadas, sendo elas: lajes treliçadas de eps, nervuradas com forma plástica tipo cubeta e lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas). Essa amostra classifica-se como não probalística por conveniência, a qual constitui o menos rigoroso de todos os tipos de amostragem. Por isso mesmo, é destituída de qualquer rigor estatístico. O pesquisador seleciona os elementos a que tem acesso, admitindo que estes possam de alguma forma, representar o universo. Aplica-se esse tipo de amostragem em estudos exploratórios ou qualitativos, onde não é requerido elevado nível de precisão (GIL, 2008).

Segundo Marconi e Lakatos (2012, p. 165), amostra é uma parcela conveniente selecionada do universo (população), é um subconjunto do universo.

O método de interpretação de dados foi o quantitativo e qualitativo, com apresentação de tabelas, projeto estrutural e arquitetônico, quadros e imagens, para facilitar a leitura e apresentação do sistema construtivo mais econômico a ser utilizado nos projetos na cidade de Chapecó – SC.

Segundo Marconi e Lakatos (2012, p. 104), as mudanças qualitativas não são graduais, mas rápidas súbitas, e se operam por saltos de um estado ao outro, essas mudanças não contingentes, mas necessárias, são o resultado da acumulação de mudanças quantitativas insensíveis e graduais.

Os dados obtidos mediante levantamento podem ser agrupados em tabelas, possibilitando sua análise estatística, as variáveis em estudo podem ser quantificadas,

permitindo o uso de correlações e outros procedimentos estatísticos. Torna-se possível até mesmo conhecer a margem de erros dos resultados obtidos (GIL, 1999).

4 RESULTADOS DO ESTUDO

Os tipos de lajes analisados durante a realização desse trabalho, para fins de comparativo foram: as lajes treliçadas com enchimento de EPS, lajes nervuradas com forma plástica tipo cubeta, e lajes de formas colaborantes nervuradas com vigotes metálicos. O real dimensionamento da estrutural do edifício foi realizada pelo sistema de lajes treliçadas com enchimento de EPS.

Conforme dados apresentados na sequência desse trabalho, foram analisados o consumo de material e mão de obra necessários para construção de cada sistema, sendo que, os índices de consumo de mão de obra e escoramento foram retirados da Tabela de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO), e do mercado de Chapecó – SC, com base no Custo Unitário Bruto (CUB) de Santa Catarina para o mês de outubro de 2016.

Para o dimensionamento de todos os tipos das lajes utilizou-se o software de cálculo para estrutura em concreto armado *Eberick V9*, o que permitiu a análise e detalhamento dos sistemas estruturais. As considerações de cálculo para a estrutura baseiam-se na ABNT/NBR 6118 (2014), sendo utilizada Classe de Agressividade Ambiental II – Moderada, Região Urbana, e os cobrimentos mínimos para pilar e viga de 3 cm e lajes 2 cm, respectivamente, sendo estes os valores mínimos exigidos pela norma.

A estrutura foi analisada considerando o comportamento elástico-linear dos elementos estruturais, e foram extraídos do software plantas de forma, detalhamentos de armaduras, e quantitativos de volume de concreto, taxa de armadura e consumo de formas. Não foi considerado no cálculo o custo de escadas e rampas maciças de acesso a garagens.

Algumas das particularidades de cada projeto, consistiu no fato de que as vigas do projeto lajes treliçadas com enchimento de EPS tiveram uma variação entre as seguintes dimensões: 15x50 cm e 20x70 cm, e foi necessário a utilização de vigas de transição entre o pavimento garagem 2 e tipo 1. Para as lajes com forma plástica tipo cubeta e lajes de formas colaborantes mistas nervuradas, as vigas tiveram dimensões de 20x70 cm devido a variação de vãos. Já os pilares possuíam variação 20x60 cm e 20x70 cm, nos três sistemas estudados, pois com a laje treliçada com enchimento de EPS, o lançamento de mais vigas, não altera a posição dos pilares.

4.1 APRESENTAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

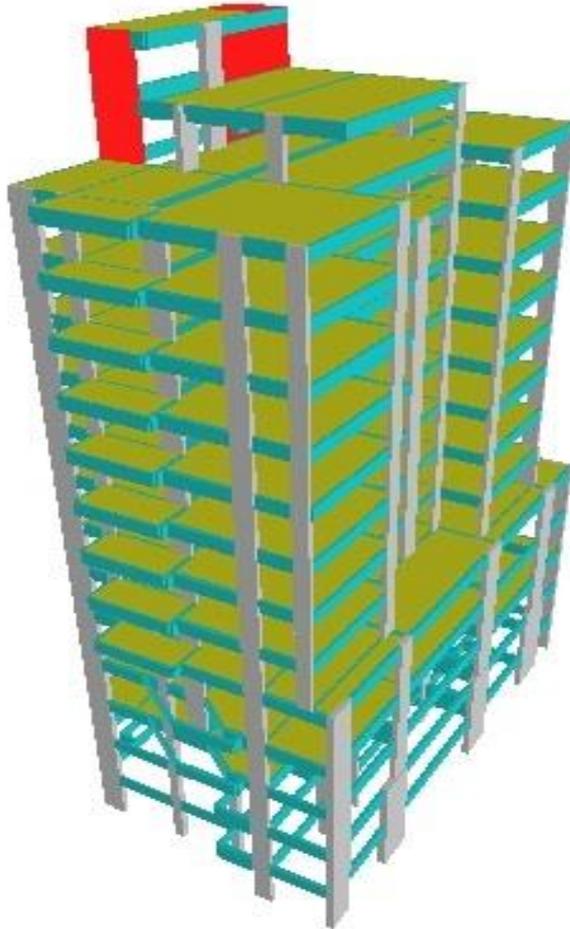
Na Figura 1 é possível observar o projeto arquitetônico em 3D do edifício multifamiliar com nove pavimentos.

Figura 11 – Projeto arquitetônico em 3D do edifício



Fonte: Adaptado de Arquivo Fino Traço (2016).

Na Figura 2 é possível observar o dimensionamento do edifício no *software* utilizado.

Figura 2 – Pórtico Estrutural

Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Os dimensionamentos estruturais procuraram o melhor desempenho de cada sistema, como vãos máximos e carregamentos, que estes são capazes de suportar, considerado a mesma posição de pilares, sendo alterada somente a distância entre vigas.

Por meio do dimensionamento estrutural de cada tipologia de lajes, na Tabela 1 é possível verificar o quantitativo de aço e concreto utilizados, bem como a mão de obra para em cada situação.

Tabela 1 - Consumo de materiais

Tipo de Laje	Concreto (m ³)		Aço (kg)		Mão de obra (h/h)	
	Estrutura	Laje	Estrutura	Laje	Estrutura	Laje
Laje treliçada com enchimento de EPS	614,3	163,4	84616,61	5786,79	30560,73	9086,75
Laje nervurada com formas plásticas	460,9	289,34	73706,75	15496,1	25986,64	15403,33
Laje de formas colaborantes	448,8	135,03	71009,1	3857,86	24874,10	2630,77

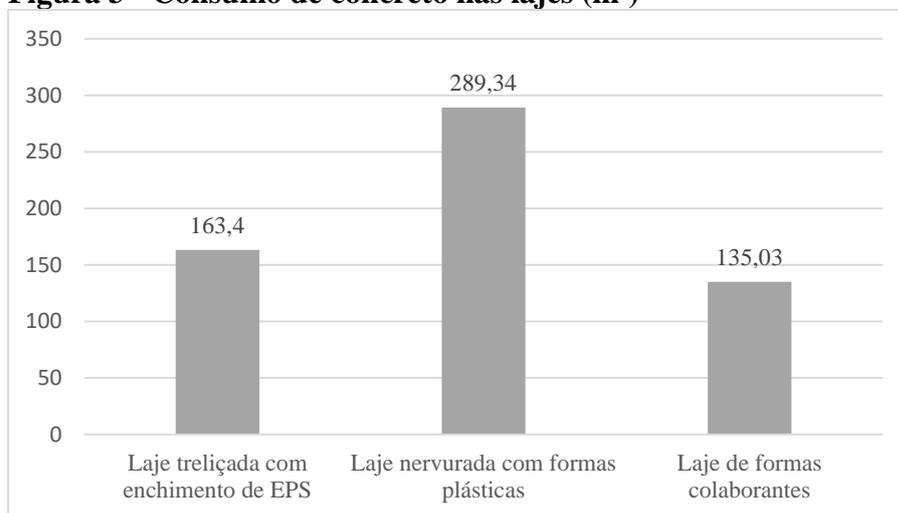
Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Com isso, na sequência do trabalho são realizadas as comparações dos sistemas para cada consideração.

4.1.1 Consumo de concreto/aço/mão de obra na laje

As alturas das lajes treliçadas com enchimento de EPS e lajes de formas colaborantes tiveram as seguintes alturas H12, H16, H20 e H25, onde “H” simboliza a altura da laje e o numeral os centímetros, e as lajes com formas plásticas ficaram padronizadas em H25. Na Figura 3 nota-se os três sistemas em relação ao consumo de concreto nas lajes.

Figura 3 - Consumo de concreto nas lajes (m³)



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

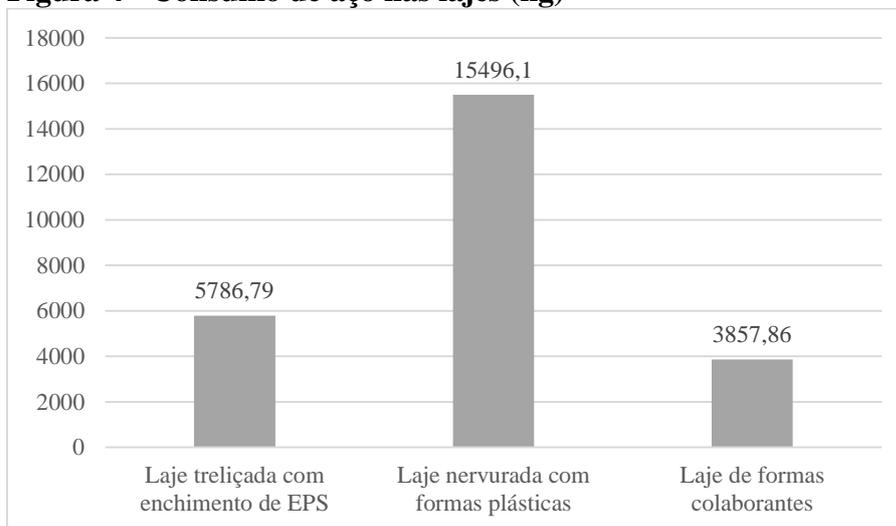
Esses resultados são em consequência da variação de altura das lajes e dos vãos, sendo que na capa de concreto o cobrimento varia de 4 a 7 cm.

Comparando o consumo de concreto nas lajes treliçadas com enchimento de EPS e as lajes nervuradas com formas plásticas, a diferença no consumo de concreto por metro cubico é de 56,47 % menor para a primeira. Em relação a laje treliçada com enchimento de EPS com laje de forma colaborante, esta última possui uma redução no consumo de concreto de até 17,36 % no custo. Esses resultados são em consequência dos vãos maiores entre vigas, pois como a taxa de aço dos vigotes metálicos reforçada em seu entre eixo (distância entre o centro de cada vigote) ser maior que a laje treliçada com enchimento de EPS, consegue-se vãos maiores e menor consumo de concreto.

Comparando o consumo de concreto entre as lajes nervuradas com forma plástica e lajes de formas colaborantes, a diferença entre as mesmas resulta em 46,67 % menor para as lajes com forma colaborante. Com a resistência dos vigotes nas lajes de forma colaborante consegue-se atingir os vãos parecidos com as lajes de forma plástica, diminuindo o consumo de concreto, pois nos vãos das lajes com forma colaborante, é necessária uma laje com altura de 12 cm, enquanto nas lajes nervuradas com formas plásticas, a altura das formas é padronizada, é neste estudo as formas utilizadas são para altura final da laje em 25 cm.

O consumo de aço nas lajes teve variação conforme apresenta a Figura 4.

Figura 4 - Consumo de aço nas lajes (kg)



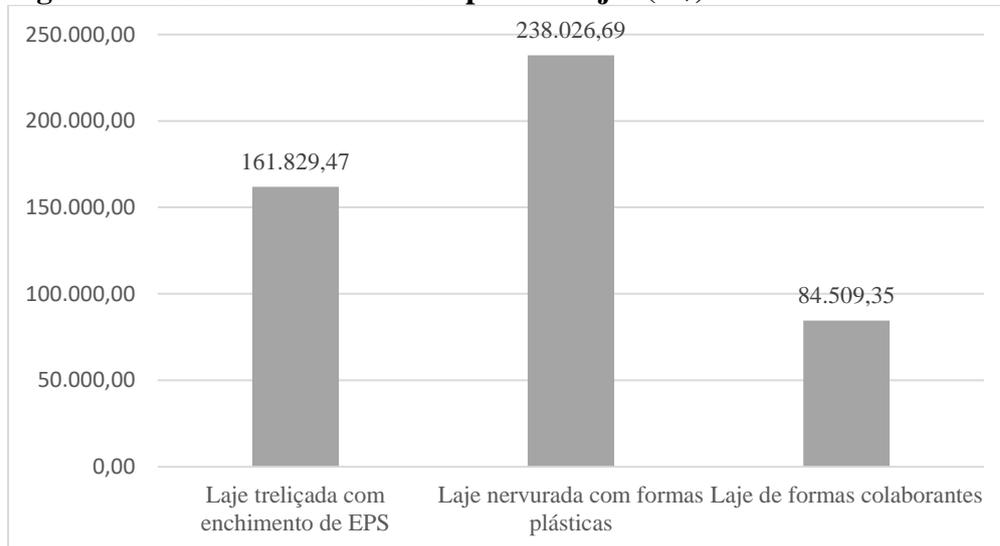
Fonte: Arquivo pessoal (2016)

As lajes treliçadas com enchimento de EPS possuem aços adicionados junto à capa de concreto, portanto são adicionados aços negativos nos apoios, e a malha de distribuição é inclusa na capa de cobrimento. No caso das lajes de formas colaborantes, não se faz necessário à utilização de armadura negativa, somente aços adicionais quando o vão for maior que quatro metros, se tornando nervura de travamento, segundo a ABNT NBR 6118 (2014). Para a laje com formas plásticas necessita-se de armadura positiva armada nos dois sentidos, incluindo a malha de distribuição na capa de concreto, e alguns pilares possuem a necessidade de armadura de punção.

As lajes treliçadas com enchimento de EPS apresentaram uma economia de 62,64 % em relação às lajes nervuradas com formas plásticas. Já no caso das lajes de formas colaborantes, a mesma apresenta uma economia de 33,33 % em relação da laje treliçada com enchimento de EPS, e com as lajes com formas plásticas, a mesma apresenta uma economia de 75,10 %,

conforme observado. Na Figura 5 verifica-se a diferença entre o custo de mão de obra para cada sistema de laje estudado.

Figura 5 – Custo de mão de obra para as lajes (R\$)



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Observa-se que a laje de formas colaborantes é mais econômica em relação a mão de obra. Segundo o fabricante Tuper Sistemas Construtivos, os vigotes metálicos possuem uma grande redução do consumo de concreto devido a distância entre cada vigote, os quais possuem variação de 50 cm à 60 cm reduzindo o número de nervuras. O peso de cada vigote pode variar de 1,73 kg/m (quilos por metro linear) até 3,43 kg/m, e na taxa de aço, se comparados com outros sistemas construtivos, exigem menos escoras partindo de linhas de escoramentos com 1,10 m podendo chegar até 1,60 m. Desta forma agiliza a montagem e, conseqüentemente, menos mão de obra, diminuindo o custo Hora/ Homem.

O custo da mão de obra para montagem e concretagem das lajes treliçadas com enchimento de EPS ficou 32,01 % mais barata que as lajes de formas plásticas. Acontece uma redução das linhas de escoramento, pois as lajes treliçadas com enchimento de EPS possuem uma variação nas linhas de escoramento entre 60 cm até 1,00 m, não tendo a necessidade de adicionar armadura positiva secundária (outro sentido dos vigotes), somente colocação de armadura negativa e malha de distribuição, e ainda, não possui custo com a retirada e limpeza das formas, gerando menor consumo de concreto.

A principal diferença de valor é no consumo de mão de obra onde as lajes de formas colaborantes ficam 70,99 % menor que as lajes treliçadas com enchimento de EPS, devido o

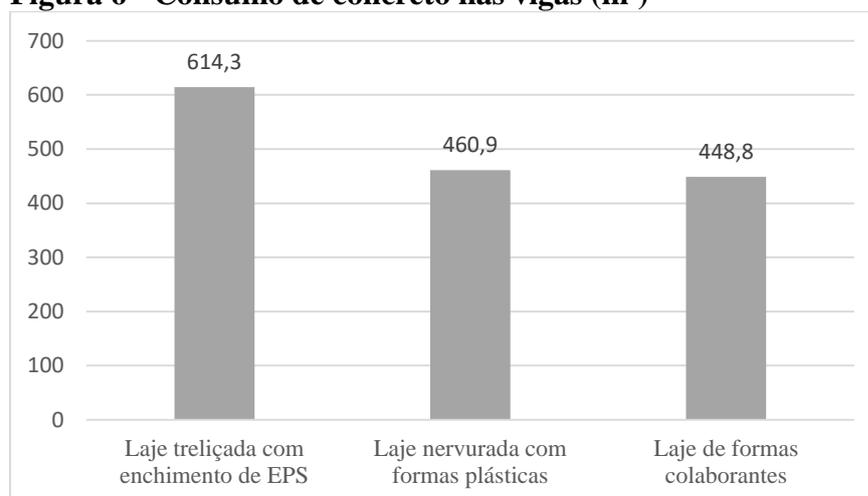
peso elevado dos vigotes treliçados que possuem variação de 11 kg/m até 18 kg/m. Isso dificulta o trabalho de montagem, elevando o custo de mão de obra, como também as linhas de escoramento, que tem variação de 60 cm até 1 metro, aumentando o consumo de escoras e mão de obra para montagem. Já as lajes de formas colaborantes possuem variação de 1,10 m até 1,60 metros, e o seu peso próprio varia de 1,73 kg/m até 3,43 kg/m, desta forma acaba reduzindo o tempo de montagem. Segundo o fabricante Tuper/SA o tempo de montagem dos vigotes para 350 m² é de no máximo 5 horas com 4 funcionários, este fabricante alega que como envia projeto de montagem e todos o vigotes vem identificados para a obra, isso faz com que seu tempo seja reduzido. Ainda, como os vigotes são metálicos não possuem quebra de material, diminuindo assim o custo de Hora/Homem.

As lajes de formas colaborantes ficaram 64,49 % menor que as lajes nervuradas com formas plásticas. Conforme o analisando isso por que a lajes de formas colaborantes podem ser armadas em uma ou duas direções, e a taxa de aço elevado dos vigotes que são metálicos. Possui ainda redução no consumo de escoramento e concreto, e não tem o custo com retirada de formas e limpeza das mesmas.

4.1.2 Consumo de concreto, aço e mão de obra nas vigas

O consumo de concreto nas vigas foi maior nas lajes treliçadas com enchimento de EPS, conforme Figura 6.

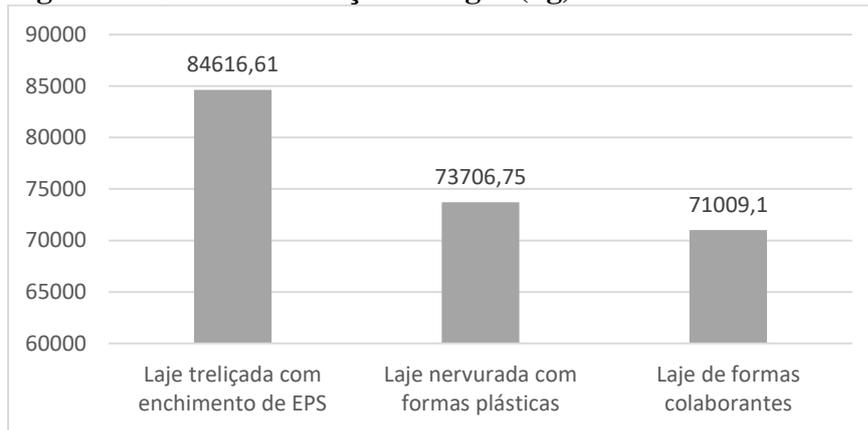
Figura 6 - Consumo de concreto nas vigas (m³)



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Com a necessidade de maior quantidade de vigas, devido às limitações de vãos na laje treliçada com enchimento de EPS, as mesmas tiveram maior consumo do que as lajes com formas plásticas e lajes de formas colaborantes. Analisando o consumo de aço nas vigas apresenta-se a Figura 7.

Figura 7 - Consumo de aço nas vigas (kg)

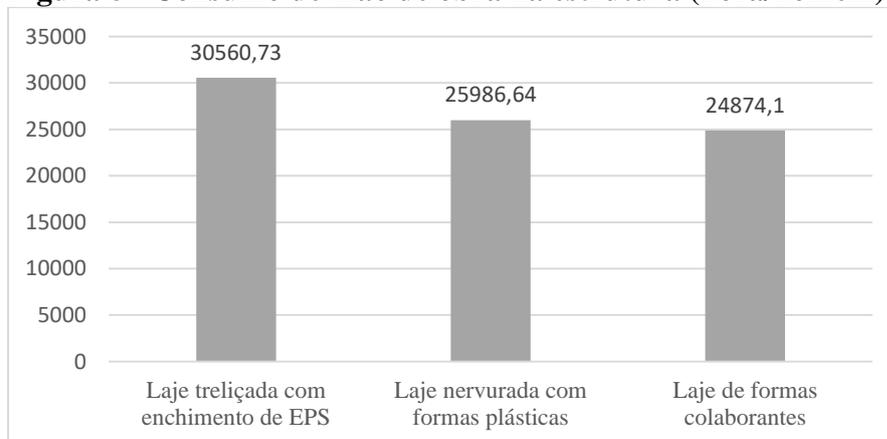


Fonte: Arquivo pessoal (2016).

O consumo de aço na estrutura com lajes treliçadas com enchimento de EPS foi 12,89 % maior que as lajes nervradas com formas plásticas, e 16,08 % acima das lajes de formas colaborantes, devido a quantidade de vigas necessárias e sua limitação de vãos e carregamentos.

Analisando a diferença entre as lajes nervradas com formas plásticas e lajes de formas colaborantes, as lajes nervradas com formas plásticas consumiram 3,66 % a mais de aço, em relação às lajes com formas colaborantes. A Figura 8 apresenta hora de funcionários na execução da estrutura.

Figura 8 - Consumo de mão de obra na estrutura (hora/homem)



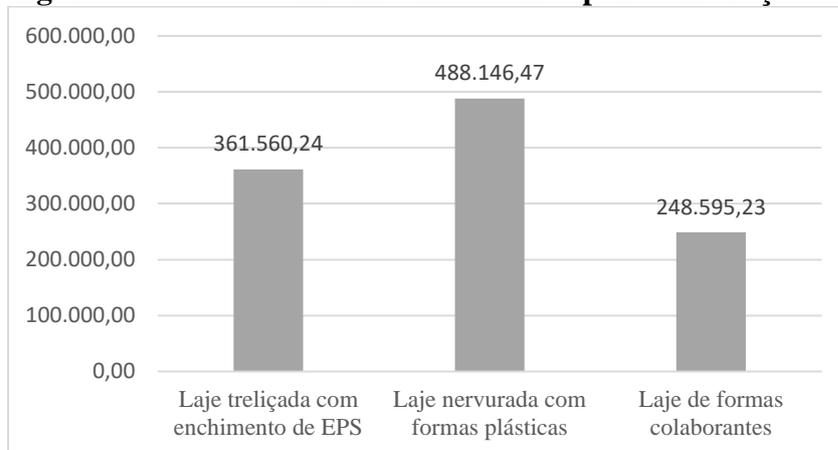
Fonte: Arquivo pessoal (2016).

O consumo de hora homem nas estrutura com lajes treliçadas com enchimento de EPS ficou 18,61 % acima das lajes de formas colaborantes, e 14,97 % acima das lajes nervuradas com formas plásticas.

4.1.3 Custo de todos os insumos da laje

Conforme a Figura 9 analisa-se o custo de todos os insumos necessários para construção das lajes nos três sistemas analisados.

Figura 9 – Custo dos insumos necessários para construção das lajes (R\$)



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Conforme verificado as lajes nervuradas com formas plásticas apresentaram um custo acima dos sistemas concorrentes possuindo uma variação de 25,93 % (lajes treliçadas de eps) e até 49,07 % (lajes de formas colaborantes) acima dos outros sistemas estudados.

Isso ocorre devido às lajes treliçadas com enchimento de EPS, possuir variação de altura, menor consumo de concreto e escoramento, não possui o custo de retirada e limpeza de formas menor quantidade de formas, já as lajes nervuradas com formas plásticas possam ser reaproveitadas ainda assim apresentam um custo maior, e a necessidade de serem armadas em duas direções.

Comparando a laje treliçada com enchimento de EPS com as lajes de formas colaborantes, a laje treliçada de eps ficou 31,24 % mais cara.

As lajes de formas colaborantes possuem peso próprio reduzido, pois nas análises realizadas, todos os materiais possuem menores quantidades que os demais sistemas, diminuindo significativamente os valores totais de materiais e mão de obra, assim como redução

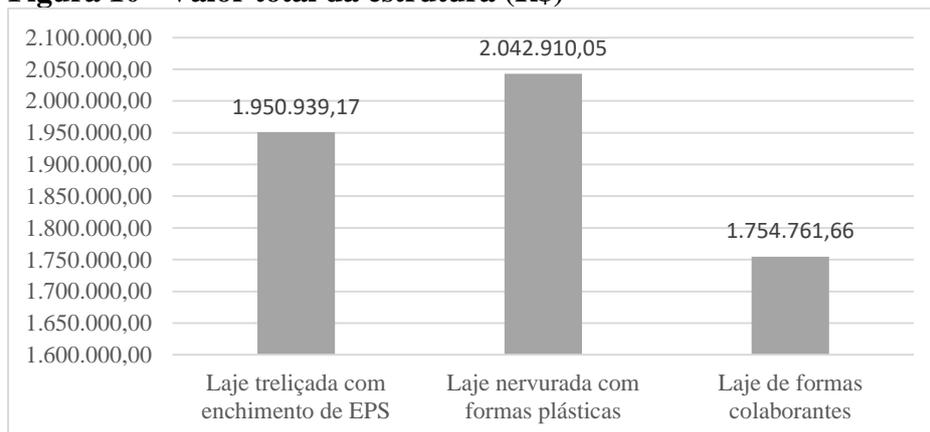
no escoramento, e não possuem a necessidade de adicionar aços negativos, somente à malha de distribuição. As lajes de formas colaborantes ficaram 50,93 % menores que a laje nervurada com forma plástica.

As lajes nervuradas com formas plásticas possuem menor peso das formas, facilitando a montagem. Porém, exigem cuidados no seu manuseio para que não tenha quebra das formas, as linhas de escoramento devem ser montadas em dois sentidos espaçadas a cada 60 cm, onde as formas são encaixadas uma a uma sobre o cimbramento, devendo aplicar desmoldante sobre cada forma, para facilitar sua desmontagem. Após a desforma devem ser limpas e armazenadas em local adequado, onde não tenha queda de materiais sobre elas. Isso aumenta a movimentação deste material na obra, e, desta forma aumenta o custo de mão de obra.

4.1.4 Comparação do custo total da obra

Para a análise comparativa de custos entre os sistemas construtivos, foi levado em conta todos os insumos, necessários para execução da estrutura para os três sistemas construtivos. Com base na TCPO, utilizou-se as composições necessárias para levantamento de custos, dispensando margem de lucro sobre os sistemas construtivos. A Figura 10 apresenta os valores totais de cada estrutura.

Figura 10 - Valor total da estrutura (R\$)



Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Observa-se na Figura 10, que a estrutura com laje nervurada com formas plásticas fica mais cara que as demais estruturas.

O custo global da estrutura com lajes de formas colaborantes em relação à laje treliçada com enchimento de EPS apresentou um custo 10,05 % menor.

A diferença entre a laje de formas colaborantes com laje nervurada de formas plásticas ficou 14,10 % mais barata, devido à redução de vigas e a variação de alturas totais das lajes, seu peso próprio reduzido. Comparando o custo global da estrutura de laje treliçada com enchimento de EPS, com a laje nervurada de formas plásticas, a primeira ficou 4,5 % mais barata.

Comparando o custo global da estrutura onde foi analisado as lajes treliçadas com enchimento de EPS, esta ficou 4,5 % mais barata em relação a estrutura das lajes nervuradas com formas plásticas, devido a redução das alturas das lajes, mesmo possuindo maior número de vigas.

Analisando somente o custo das lajes, a variação foi significativa. A laje treliçada com enchimento de EPS ficou 25,93 % mais barata, que a laje nervurada com forma plástica conforme apresentado, pois a laje nervurada com formas plásticas possui altura maior, e sua altura não altera em vãos menores. Diferente da laje treliçada com enchimento de EPS, que permite ter variação na taxa de aço e de altura, porém possui a necessidade de maior quantidade de vigas comparado aos outros sistemas, trazendo limitação de layout e de paredes, em função da sua limitação de carregamentos.

Analisando o custo total da estrutura com as lajes de forma colaborante, a mesma ficou 10,05 % menor, que a estrutura das lajes treliçadas com enchimento de EPS.

Com seu peso reduzido, de acordo com o fabricante Tuper Sistemas Construtivos, a laje de formas colaborantes, as seções das vigas são parecidas com as lajes nervuradas, a maior variação é no custo total das lajes ocasionando tal diferença.

Apesar de seus vãos serem parecidos, mas tendo uma variação no consumo de concreto e aço nas vigas, observa-se que o custo total da estrutura com a laje nervurada com formas plásticas é 14,10 % superior ao custo da estrutura com lajes de formas colaborantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se na cidade de Chapecó - SC, que entre os sistemas construtivos mais utilizados nas obras estão: as lajes treliçadas com enchimento de EPS, em seguida as nervuradas com forma plástica tipo cubeta, e por fim as lajes de formas colaborantes nervuradas (mistas nervuradas). Com isso, foi analisado qual apresenta o menor custo. A laje de formas colaborantes nervuradas é a que possuiu maior economia na obra, apresentando seu custo inicial alto, porém reduzindo todos os insumos.

Por meio dos procedimentos e cálculos realizados atendendo a ABNT/ NBR 6118 (2014) para o dimensionamento da estrutura, vale a pena ressaltar as considerações relacionadas à construção de lajes nervuradas, através de catálogos de fabricantes, pesquisa bibliográfica, sites especializados, entre outros, os quais contribuíram para o dimensionamento. Com isso, a estrutura não apresentou mudanças significativas no comportamento, pois todos os sistemas estudados apresentaram deslocamentos muito próximos um do outro, não impactando no custo total da estrutura.

Neste sentido a falta de informações e estudos detalhados sobre lajes, faz com que muitos profissionais da área acabem optando por um sistema construtivo tradicional, até mesmo por acreditar que seja o mais econômico. Sendo que, ao analisar o custo final global da obra, pode ser que o mesmo apresente valor expressivo, fazendo com que o empreendedor não tenha o lucro desejado, ou até mesmo o cliente não receba o produto com melhor qualidade. Os valores apresentados são da cidade de Chapecó – SC, podendo em outras localidades serem encontrados valores diferentes.

A construção civil está em constante evolução, surgindo no mercado novos sistemas construtivos a serem analisados em função de sua viabilidade e custo. Isso auxiliará na apresentação de um produto com melhor qualidade ao final de cada obra, gerando um menor custo global, permitindo que os clientes e empreendedores fiquem mais satisfeitos.

Como sugestões para futuras pesquisas seria interessante a análise de estabilidade de obra, bem como a substituição de concreto armado por estrutura metálica, e verificar a utilização de proteção na laje.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

ARAÚJO, A. da R. **Estudo técnico comparativo entre pavimentos executados com lajes nervuradas e lajes convencionais**. 2008. 150 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto Armado eu te amo**, Volume 2, 7º Edição – São Paulo, 2013.

CARVALHO, Roberto Chust. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118:2014**. Editora EDUFSCAR, São Carlos 2014.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- MARCONI, Marina de Andrade, LAKATOS, Eva Maria, **Fundamentos de Metodologia Científica**, 7ª ed., Ed. Atlas, São Paulo SP, 2010.
- MARCONI, Marina de Andrade, LAKATOS, Eva Maria, **Técnicas de Pesquisa**, 7ª ed., Ed. Atlas, São Paulo SP, 2012.
- PINHEIRO, L.M. e RAZENTE, J.A, Apostila: **Estrutura de Concreto**. Cap17, São Paulo: USP, 2003.
- REVISTA EQUIPE E OBRA, 2008. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/118/artigo286373-2.aspx>. 2008. Acessado em abril de 2016.
- REVISTA TÉCNICA 2007. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/118/artigo286373-2.aspx>. Moldura Leve. Juliana Nakamura, Janeiro de 2007. Acessado em abril de 2016.
- TUPER SA. **Fábrica de Lajes mistas nervuradas**. Catalogo de fabricantes. Disponível em: <http://www.tuper.com.br/>. Acessado abril de 2016.
- VASCONCELOS, Augusto Carlos de. **Concreto no Brasil**: Recordes, Realizações, História, Copiare, São Paulo: Stúdio Nobel, 1985.