



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

DIEGO DE PAIVA BEZERRA

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E TÉCNICA DE LAJES TRELIÇADAS QUANDO
APLICADO O POLI TEREFTALATO DE ETILENO (PET) COMO COMPONENTE
DE ENCHIMENTO**

**ARARUNA / PB
2018**

DIEGO DE PAIVA BEZERRA

**AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E TÉCNICA DE LAJES TRELIÇADAS QUANDO
APLICADO O POLI TEREFTALATO DE ETILENO (PET) COMO COMPONENTE
DE ENCHIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra.

**ARARUNA / PB
2018**

E expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

B365a Bezerra, Diego de Paiva.

Avaliação estrutural e técnica de lajes treliçadas quando aplicado o poli tereftalato de etileno (pet) como componente de enchimento [manuscrito] / Diego de Paiva Bezerra. – 2018.
35 p. : il. Colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2019.

“Orientação : Prof . Dr. Raimundo Leidimar Bezerra ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil – CCTS.”

1. Análise estrutural. 2. Laje. 3. Análise de custo. I. Título

21. ed.CDD 624.171

DIEGO DE PAIVA BEZERRA

AVALIAÇÃO MECÂNICA E TÉCNICA DE LAJES TRELIÇADAS QUANDO
APLICADO O POLI TEREFTALATO DE ETILENO (PET) COMO COMPONENTE
DE ENCHIMENTO

Artigo, apresentado ao Programa de
Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Estadual da Paraíba, como
requisito parcial à obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

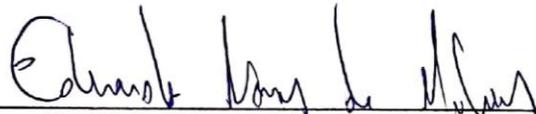
Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em: 28/11/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Eduardo Morais de Medeiros
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Leonardo Medeiros da Costa
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família, pela dedicação, companheirismo
e amizade, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, autor da minha vida e fonte de toda sabedoria adquirida durante esses cinco anos de curso que me fez tornar o que sou hoje.

À minha mãe, Maria Judite; ao meu pai, Marizo Bezerra e à minha irmã, Maysa Paiva por todo apoio, incentivo e companheirismo durante esses anos de graduação, além de acreditarem no meu potencial acadêmico.

À toda minha família: avós, tios, tias, primos e padrinhos, em especial ao meu padrinho Dr. Victor Hugo por toda ajuda e afeto no período mais turbulento do curso.

Aos Anjos Produções por terem compartilhado da minha batalha durante esses anos.

À Karina Fernandes, minha irmã do coração e companheira de estudos e projetos acadêmicos.

Ao meu amigo, Lucas Moura por todos ensinamentos passados e irmandade durante o percurso da graduação.

Aos meus irmãos do coração, presentes da graduação Daniel Filho, Jocival Leandro e Eryclapton Gomes os que sempre recorri nos momentos mais difíceis.

À Sala de Reboco pelos momentos de descontração e por estarmos juntos desde o primeiro período do curso.

Ao Laboratório de Ensaaios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (LABEME), em especial ao Professor Dr. Givanildo Azevedo, que me deu total apoio na etapa experimental desse trabalho.

Ao professor Dr. Raimundo Leidimar Bezerra, que além de orientador, foi um dos primeiros que me abriu as portas para participar dos trabalhos extraclasse, acreditando no meu desempenho e me ensinando muito do que sei hoje.

Ao professor Me. Eduardo Medeiros de Moraes, responsável por me auxiliar durante a escrita do mesmo.

A todos os funcionários da UEPB: Diretores de Centro, Coordenadores e secretários de curso, as tias do serviço e a todos que aqui não foram listados, que contribuíram para o meu bem-estar na Universidade.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram com minha formação acadêmica.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

(Marthin Luther King)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1. Objetivo Geral.....	9
2.2. Objetivos Específicos	9
3. MATERIAIS E MÉTODOS	10
3.1. Análise Teórica.....	11
3.2. Análise Experimental	11
3.2.1. <i>Montagem das lajotas de material PET</i>	14
3.3. Análise de Custo e Benefício	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1. Análise experimental	18
4.1.1. <i>Estudos preliminares</i>	18
4.1.2. <i>Dimensionamento das lajes treliçadas</i>	19
4.1.3. <i>Estimativa de ruptura</i>	21
4.1.4. <i>Ensaio de flexão simples</i>	24
4.1.5. <i>Controle de Fissuração</i>	26
4.2. Análise teórica dos Painéis PET com a NBR 14859-2 (ABNT, 2016).....	27
4.3. Análise de Custo e benefício.....	28
5. CONCLUSÃO.....	30
6. REFERÊNCIAS	32

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL E TÉCNICA DE LAJES TRELIÇADAS QUANDO APLICADO O POLI TEREFTALATO DE ETILENO (PET) COMO COMPONENTE DE ENCHIMENTO

Diego de Paiva Bezerra*

RESUMO

A Construção Civil vem aplicando nos últimos anos metodologias inovadoras e sustentáveis nos seus processos construtivos com intuito de aumentar a produtividade e diminuir os efeitos danosos que a mesma causa ao ambiente. Assim, o objetivo da pesquisa foi averiguar a viabilidade da introdução do material Poli Tereftalato de Etileno (PET) como componente de enchimento nas Lajes treliçadas em comparação com as lajotas de Poliestireno Expandido (EPS) a partir de uma análise comparativa das propriedades mecânica/estrutural, custo e benefício de ambos. A metodologia aplicada partiu de uma análise qualitativa e quantitativa, a partir do estudo experimental em lajes de dimensões reais, seguido de estudos teóricos aos quais foi verificado a aplicabilidade do material em termos de normas e em estudos de custo e benefício levando-se em consideração as atribuições positivas e negativas da utilização do método em termos de requisitos construtivos e de execução. Foi verificado experimentalmente, com base nos resultados, que a incorporação do PET como lajota é eficiente, obtendo cargas de ruptura de até 14% a mais e deformações de até 2,41 milímetros a menos do que as lajes fabricadas com lajotas convencionais, assim como na diminuição de cerca de 6,9% dos custos com as lajotas. No entanto a utilização não se torna eficaz quando a análise passa a ser a execução. Por fim, concluiu-se que a aplicação dos painéis PET em lajes treliçada embora possua atribuições positivas nos campos estruturais, sustentáveis, de custeio e renda não pode ser desenvolvida sem que seja introduzidos mecanismos e técnicas de melhoramento na etapa de execução.

Palavras-Chave: Lajotas. PET. EPS.

1. INTRODUÇÃO

A humanidade começou a se urbanizar há cerca de 5.500 anos, no entanto, é na passagem do século XVIII para o século XIX, com o apogeu das transformações econômicas, tecnológicas, políticas e culturais provindas da revolução industrial que o processo de cidade industrial moderna se intensifica, resultando num fenômeno que podemos denominar como sociedade urbano-industrial. A urbanização e industrialização formam processos praticamente

* Aluno de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.
E-mail: diegop.bezerra@hotmail.com

associados. As sociedades se urbanizaram na medida em que se industrializaram. No Brasil, o processo de urbanização é mais recente, foi apenas nas últimas seis décadas que a população das cidades multiplicou por mais de dez atingindo a marca de 81% da população brasileira no ano 2000 (BRAGA e CARVALHO, 2004).

A urbanização e industrialização de uma sociedade são eventos que refletem no crescimento dos danos ambientais. São exemplos dessas problemáticas: O crescimento do setor da construção civil apontada pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) como o setor de atividades humanas que mais consome recursos naturais e utiliza energia de forma intensiva, gerando consideráveis impactos ambientais e o aumento dos resíduos sólidos, que traz como consequência o descarte irregular desses materiais (OLIVEIRA, 2015).

Um dos resíduos sólidos mais descartados no Brasil é o Poli Tereftalato de Etileno – PET. Trata-se de um poliéster termoplástico, que possui como principais características a leveza, a resistência e a transparência. Sua utilização na maioria das vezes se dá para satisfazer os consumos domésticos na produção de artigos como garrafas de refrigerante, de água mineral, embalagens de limpezas e comestíveis em geral. No entanto, os avanços tecnológicos e a evolução do mercado têm impulsionado novas aplicações para o PET reutilizado e reciclado. Sua reciclagem, além de desviar lixo plástico dos aterros, utiliza apenas 0,3% da energia total necessária para a produção da resina virgem e tem a vantagem de poder ser reciclado várias vezes sem prejudicar a qualidade do produto final (CEMPRE, 2017).

Diante dos fatos expostos, é perceptível que o processo de urbanização e industrialização à medida que trouxe o desenvolvimento econômico e social, também derivou problemas ambientais no qual, fração desses problemas se originam do setor construtivo e outra do incorreto gerenciamento dos resíduos sólidos. Com proposta de amenizar os problemas supracitados o setor da Construção Civil vem incorporando em seus métodos construtivos materiais alternativos que visem amenizar os transtornos ambientais. Já quanto ao descarte irregular dos resíduos sólidos, em destaque o material PET, a política dos Três Rs (Reutilizar, Reciclar e Reduzir) se aplica como uma das propostas solucionadoras da problemática.

Assim, com sugestão de aliar ambas as propostas de elucidação dos problemas apresentados, novos sistemas construtivos, que fazem uso de materiais reutilizáveis ou recicláveis de outras indústrias, são analisados com intuito de verificar sua eficiência em nível técnico-econômico, já que alguns dos métodos construtivos tradicionais são questionados em função da baixa produtividade, desperdícios, retrabalhos e baixa padronização, dentre outros

aspectos. Os métodos alternativos têm como objetivo solucionar, a partir do gerenciamento sustentável, os problemas existentes nos métodos convencionais (FERNANDES, 2016).

Um método considerado alternativo no campo da Construção Civil foi a incorporação das lajes treliçadas em diversas estruturas. O mecanismo consta de um sistema inovador com capacidade de obter espessuras de concreto econômicas, quando comparado às lajes maciças. Como bem diz o nome, é formada por treliças e lajotas bidirecionais de cerâmicas ou de Poliestireno Expandido (EPS) (FRANCA, 1997 apud DORNELES, 2014). As lajotas de EPS contribuem para uma melhor funcionalidade estrutural, elaboração de construções mais leves, quando comparada com as lajes maciças e de lajotas de cerâmica, acabamentos que inferem em um melhor conforto acústico e fatores econômicos benéficos, além do mais trata-se de um material termoplástico de baixa densidade.

A partir da comunhão das características físicas entre o material EPS e o PET, além da concepção da quantidade de material PET produzido nacionalmente sujeito à reutilização e dos benefícios encontrados nas lajes treliçadas torna-se justificável a aplicação de uma pesquisa, que por meio de levantamentos de dados teóricos e experimentais leve a uma análise comparativa entre as lajes com os mencionados tipos de materiais de enchimento, e assim, avalie a viabilidade, ou seja, o custo e benefício da incorporação do PET como material alternativo para uso na Construção Civil com finalidade de amenizar os problemas questionados e adaptar as necessidades do homem à sustentabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo averiguar a viabilidade da introdução do material PET como componente de enchimento nas lajes treliçadas em comparação com as lajotas de EPS a partir de uma análise comparativa das propriedades mecânica/estrutural, custo e benefício de ambos.

2.2. Objetivos Específicos

- Realização de ensaios de caracterização dos agregados e tomada de decisão pelo traço com resistência proposta em projeto, comprovado pelo ensaio de compressão simples;

- Analisar experimentalmente os picos de ruptura e deformação das lajes com material PET e EPS, por meio do ensaio de flexão simples;
- Avaliar por meio do estudo das normas NBR 14859-2/2016 (Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma – Requisitos) as divergências entre as lajotas de materiais distintos aplicados às lajes treliçadas.
- Proceder uma avaliação teórica do custo e benefício da introdução do PET como lajotas em comparação com o EPS.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa trata-se de um estudo quantitativo, visto que teve uma amostragem comparativa de números, dados e valores, e qualitativo, pois foi realizada uma análise da qualidade e eficiência do método em estudo. Os materiais a serem utilizados para execução dos procedimentos experimentais foram os seguintes:

- Cimento do tipo Portland (CP – II F 32) a ser utilizado na dosagem do concreto;
- Água isenta de impurezas, adquirida no abastecimento do próprio Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME - UFPB), recurso esse a ser usado na dosagem do concreto;
- Agregados graúdos e miúdos adquiridos no comércio local.

Além disso, foram utilizados para a construção das lajes pré-moldadas:

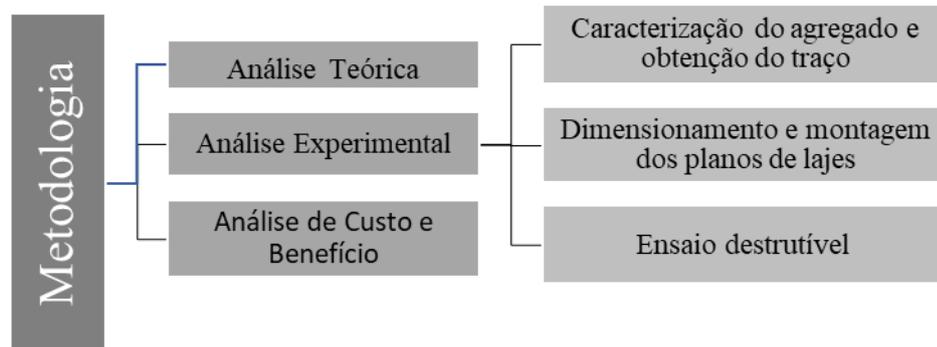
- Painéis PET produzidos a partir de garrafas PET fornecidas pela rede coletora de resíduos sólidos do município de Araruna-PB;
- Lajotas de EPS adquiridas no comércio local;
- Madeira do tipo tábuas de pinho utilizada como material das formas a serem usadas para montagem das lajes;
- Arames usados para dar a rigidez necessária aos painéis PET e treliças de aço CA-50, com duas barras de 5 milímetros com área da seção transversal igual a 0,40 cm².

O trabalho foi dividido em três etapas:

1. Análise Teórica;
2. Análise Experimental;
3. Análise de Custo e Benefício.

A primeira e terceira etapas foram executadas na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). A segunda etapa foi realizada no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (LABEME) da Universidade Federal da Paraíba. As três etapas realizadas são descritas a seguir e podem ser representadas também pelo fluxograma mostrado na **Figura 1**.

Figura 1 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.



Fonte: Autor, 2018.

3.1. Análise Teórica

A análise teórica parte da ideia de cruzar os dados obtidos experimentalmente com aqueles propostos teoricamente. Foi realizado o estudo comprobatório das tensões de ruptura estipulada para as lajes, assim como suas deformações comparando-as com os resultados gerados nos ensaios destrutíveis. Além do mais, realizou-se um estudo comparativo entre as características físicas das lajotas alternativas com as prescrições de normas, especificamente a NBR 14859-1 (ABNT, 2016) de Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, mini painéis e painéis - Requisitos. Além dessa norma foram analisadas a NBR 14859-2 (ABNT, 2016), que trata de Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma – Requisitos e a NBR 14859-3 (ABNT, 2016) referente a Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3: Armaduras treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos.

3.2. Análise Experimental

A análise experimental consta em entender o comportamento das lajes quando essas estiverem em condições reais de uso, ou seja, durante sua vida útil. Essa etapa da pesquisa é de suma importância, visto que a partir dessa análise, que consiste em submeter protótipos das lajes à ensaios destrutíveis será possível traçar os critérios de confiabilidade

da aplicação do sistema e concluir quais as alterações físicas e mecânicas que a introdução do material alternativo influenciará na utilização do sistema.

Inicialmente foi realizado a caracterização dos agregados para se chegar ao traço do concreto que conferisse uma resistência de 30 MPa, solicitada para o dimensionamento dos protótipos das lajes. O método utilizado para definição do traço foi o da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP.

Após a dosagem do concreto foram moldados quatro corpos de prova (CPs), que ao fim do sétimo dia foram submetidos ao ensaio de compressão simples para verificação da resistência estipulada para os 28 dias, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015).

Com os respectivos dados foi realizado o dimensionamento, segundo o material encontrado em Carvalho (2003), de três lajes treliçadas sendo uma constituída de lajotas de material EPS e duas de lajotas de material PET. A necessidade da construção de mais de uma laje com material PET foi devido à necessidade de apurar conhecimentos sobre o sistema alternativo, além de possuir uma margem para o surgimento de eventuais erros experimentais no momento de manuseio do protótipo. As lajes foram concretadas e curadas por 28 dias.

O plano da laje submetido ao ensaio destrutível foi de 1,47 metros por 1,60 metros, ou seja, um tamanho proporcional ao real, para melhor amostragem dos resultados experimentais. É relevante destacar que o posicionamento das treliças se deram no maior vão, de 1,60 metros, isso devido as limitações experimentais, visto que o pórtico que serviu de suporte para a célula de carga possuía dimensões mínimas, assim como os apoios de concreto, que possuíam vãos limitantes, logo, visto que as treliças deveriam serem apoiadas ao longo do vão dos apoios e a laje está entre as extremidades do pórtico tornou-se necessário as citadas considerações no procedimento de dimensionamento e ensaio destrutível das lajes.

A laje escolhida foi do tipo H10, com altura igual a 10 centímetros. Pela NBR 14859-1 (ABNT, 2016), para uma altura total da laje igual a 10 centímetros a capa deve ser de 5 centímetros, a qual foi adotada neste trabalho.

Em seguida foram submetidas a ensaios de flexão simples, como mostrado na **Figura 2**, tornando-o possível obter resultados de tensões máximas de ruptura a serem comparadas com as cargas estimadas.

Figura 2 – Içamento de uma das lajes no pórtico para ser submetida ao ensaio de Flexão Simples.



Fonte: Autor, 2018.

A metodologia utilizada consistiu em instalar a laje em dois apoios que restringia o seu movimento em duas direções. Com intuito de tornar possível uma distribuição uniforme de carga foi necessária realizar a instalação de uma barra rígida no centro do vão da laje, tal que a deformação da barra rígida fosse mínima e com isso a prevalência da distribuição uniforme das cargas sobre todo o vão da laje (**Figura 3**). As lajes foram armadas no maior vão pois o pórtico possuía dimensões horizontais fixas, o que limitava as dimensões dos apoios, e assim a necessidade de armar no maior vão para obtenção de resultados de flexões.

Figura 3 - Laje sobre apoio e colocação da placa de uniformização do carregamento sobre a laje.



Fonte: Autor, 2018.

Além do mais, foram instalados dois transdutores do tipo ALMEMO 2890-9, da marca AHLBORN, e com o auxílio do programa ALMEMO V5 traçaram-se as variações do deslocamento vertical para as diferentes cargas atuante nos respectivos tempos (**Figura 4**).

Figura 4 - Transdutores responsáveis pela leitura do deslocamento vertical.



Fonte: Autor, 2018.

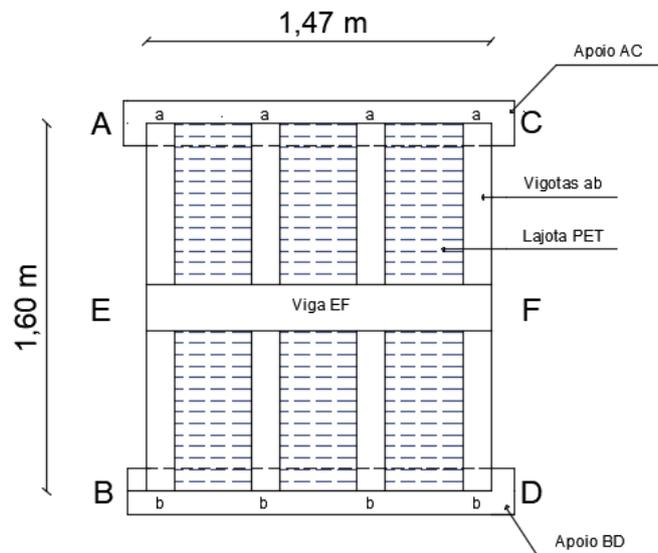
3.2.1. Montagem das lajotas de material PET

Ao contrário das lajotas de EPS, as de PET não são industrializadas. Assim foi necessário um trabalho manual para a montagem das mesmas. Inicialmente foi feito a coleta e padronização do material PET, sendo utilizado apenas garrafas de água mineral de 500 ml. Posteriormente foi realizada a montagem das colunas de garrafas PET, ao qual uma garrafa foi sobreposta a outra, ou seja, encaixadas entre si. Em seguida, as colunas foram envolvidas por arame, e encaixadas sobre dobras de armaduras sem fins estruturais formando um esquema de placas constituídas de material PET (**Figura 5**).

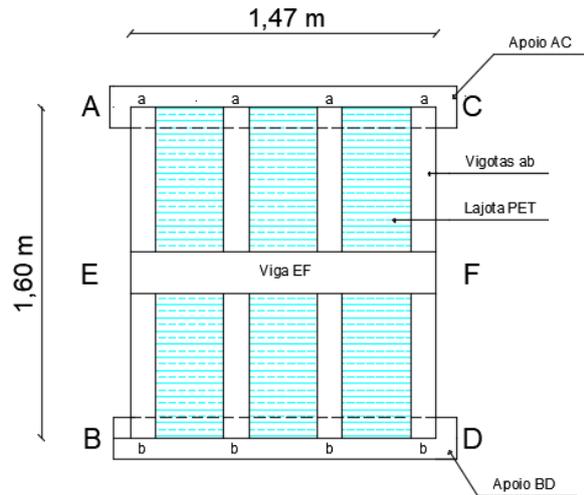
Figura 5 – Painel de lajota PET.

Fonte: Autor, 2018.

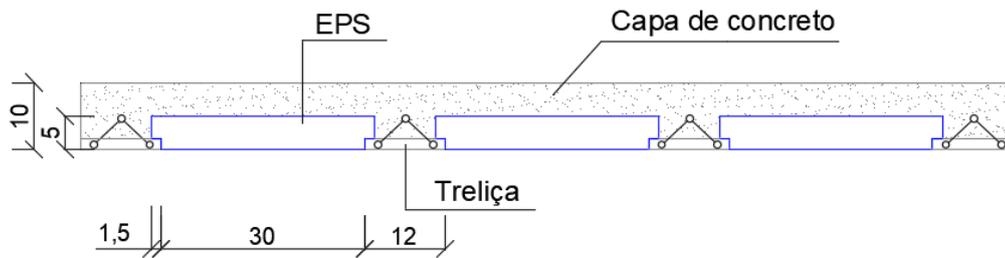
Foi perceptível que as alturas das lajotas de EPS e PET possuíam mesmos valores, assim, o único efeito a vir interferir estruturalmente deriva do formato transversal do material. As **Figuras 6 e 7** mostram um desenho esquemático em planta baixa, enquanto as **Figuras 8 e 9** mostram o esquema em um corte transversal das lajes com EPS e PET, respectivamente.

Figura 6 – Planta baixa da laje EPS.

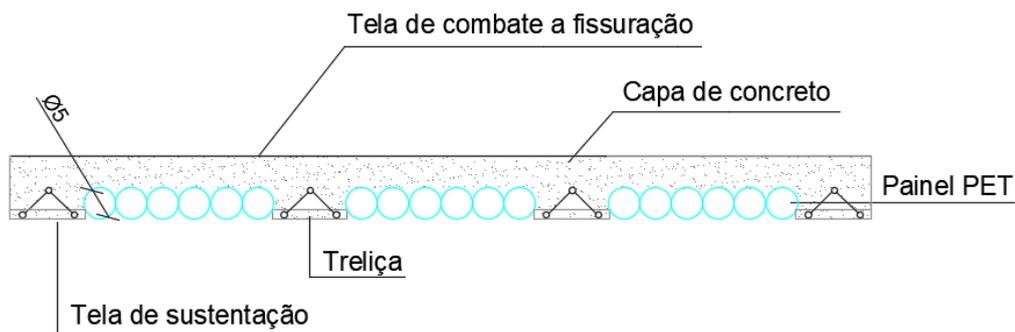
Fonte: Autor, 2018

Figura 7 – Planta baixa das lajes PET.

Fonte: Autor, 2018

Figura 8 – Detalhe em corte da laje com EPS. Medidas em centímetros.

Fonte: Autor, 2018.

Figura 9 – Detalhe em corte das lajes com PET. Medidas em centímetros.

Fonte: Autor, 2018.

3.3. Análise de Custo e Benefício

Essa etapa foi dividida em dois estudos, o estudo de custo e o estudo de benefício para implantação do sistema. A análise de custo para aplicação do PET como material de

enchimento em substituição ao EPS se deu por meio de um comparativo do custo real estipulado para uma casa unifamiliar que utilizaria o método de lajes treliçadas.

A investigação do custo e benefício da implantação do material alternativo foi feita seguindo quatro análises:

- Os construtores ou clientes que na execução terá redução de custos realizando a substituição do EPS pelo PET, obtendo ao fim um mesmo resultado mecânico e estrutural;
- Os agentes de serviços de coleta e separação de resíduos sólidos que terá o aumento de sua renda;
- O meio ambiente que contará com uma contribuição quando analisado a quantidade de descarte irregular de garrafas PET;
- O processo de execução, visto que as lajotas alternativas são feitas manualmente e exigem de métodos toscos para cumprimento normativo.

Para a realização das estimativas de valores foi feita uma simulação de preços com referência a uma casa unifamiliar. Como a lajota de PET não é um material industrializado, incorporou-se em seu valor real as atividades para a produção de uma placa com dimensões iguais a de EPS, no qual foi considerado o preço de mercado. O valor das armaduras foi considerado fixo, já que se trata de planos de lajes com mesmo dimensionamento. Os demais materiais componentes como: arames de sustentação, concreto e serviços também foi considerado no estudo, mas com fator de variação existente, visto que devido o formato distinto entre as lajotas a quantidade desses materiais sofre mudança.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados a serem expostos contêm a análise experimental, que consta dos dados alcançados nos estudos preliminares, dimensionamento das lajes treliçadas, estimativa de ruptura, ensaio de flexão simples e controle de fissuração. Além dos critérios exigidos para as características físicas das lajotas alternativas, do material PET, por meio de uma comparação com a norma NBR 14859-2 (ABNT, 2016). E, por fim, a análise de custo e benefício da implementação da garrafa PET como material de enchimento de lajes treliçadas em casas unifamiliares.

4.1. Análise experimental

4.1.1. Estudos preliminares

Para dimensionamento das lajes treliçadas adotou-se um concreto com resistência à compressão de 30 MPa, visto que segundo a NBR 6118 (ABNT, 2003) para elementos estruturais como lajes, vigas e pilares o projetista deve adotar valores de resistências iguais ou superiores a 20 MPa. O estudo característico dos agregados e aglomerantes usados no concreto foi necessário para encontrar um traço que conferisse o valor da resistência estimada ao projeto. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização para cada material, a respectiva norma regente para o ensaio e o traço final após aplicação do método da ABCP.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado.

Ensaio experimental	Resultados	NBR
Massa específica do cimento Portland (Classe do cimento)	3,1 g/ cm ³	NBR - 6474 NM 23
Massa específica da areia	2,50 g/cm ³	ABNT - NBR 9776
Massa específica da brita	2,54 g/cm ³	ABNT - NBR 9776
Massa unitária da areia grossa	1,4544 Kg/dcm ³	ABNT- NBR NM 45
Massa unitária da brita	1,3674 Kg/dcm ³	ABNT- NBR NM 45
Traço obtido em massa	1:1,42:1,702:0,433	ABCP

Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos da resistência à compressão aos sete dias de cura, correspondente a valores em torno de 90% dos valores que deveria ser obtido aos 28 dias. Assim, pode-se confirmar o traço encontrado, visto que segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015) no sétimo dia os valores de resistência à compressão devem ser maiores ou iguais ao valor encontrado para a fórmula condizente ao aglomerante utilizado na dosagem (CP II), que no caso em experimento devia ultrapassar os 56,2% o que pode ser confirmado pela Tabela 2.

Tabela 2 – Resistências do concreto ao 7º dia.

Corpo de prova	Resistência ao 7º dia (kgf)	Resistência ao 7º dia (MPa)	Porcentagem em relação aos 28 dias
CP1	19,394	24,705	82,35%
CP2	26,467	33,716	112,38%
CP3	22,791	29,020	96,73%
CP4	24,307	30,964	103,21%

Fonte: Autor, 2018.

4.1.2. Dimensionamento das lajes treliçadas

Foi considerado o mesmo dimensionamento para as três lajes submetidas os ensaios, já que todas possuem mesmas alturas e os diferentes materiais de enchimento não apresentam nenhuma influência estrutural. É relevante destacar que no caso das lajes PET foi desconsiderado o volume de concreto que preenche as meias circunferências criadas pelo formato circular das garrafas na capa de concreto da laje. Também foi descartado nas lajes PET o volume de concreto que preenche 1,50 centímetros de cada lado da vigota treliçada, que no caso das lajes com EPS possuem serventia de apoio para o EPS.

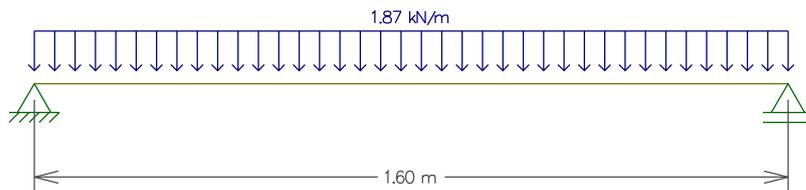
Para efeito de dimensionamento, baseado na NBR 6120 (ABNT, 1980), foi considerada a influência das cargas aplicadas na laje expostas na Tabela 4. A carga total, soma das cargas contribuintes, foi de 4,35 kN/m² multiplicando essa por 42 centímetros, que corresponde em termos de comprimento linear a influência das cargas sobre cada treliça (10 cm de uma lajota + 12 cm da vigota + 10 cm da outra lajota), tem-se a distribuição de carga linear contribuinte, logo um valor de 1,875 kN/m (**Figura 10**).

Tabela 4 – Cargas de influência nas lajes.

Tipo de carga aplicada na laje	Valor da carga aplicada na laje (kN/m²)
Carga de revestimento	1,00
Carga de peso próprio	1,35
Sobre carga	2,00
Carga Total	4,35

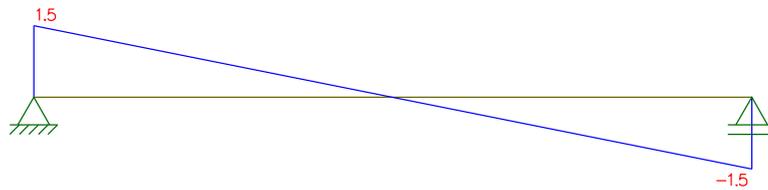
Fonte: Autor, 2018.

Figura 10 – Distribuição de carga no vão a ser dimensionado.

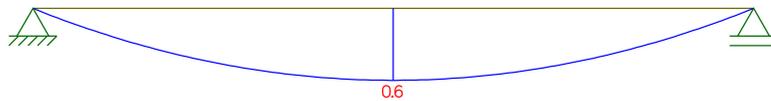


Fonte: Autor, 2018.

Com auxílio da ferramenta Ftool, obteve-se os valores máximos de esforços cortantes e momentos fletores para o vão (a ser dimensionado) que sofre influência da carga total sugerida em projeto (**Figura 11** e **Figura 12**).

Figura 11 – Valor máximo do esforço cortante.

Fonte: Autor, 2018.

Figura 12 – Valor máximo do momento fletor.

Fonte: Autor, 2018.

Os valores encontrados do cortante e momento fletor máximo foram respectivamente iguais a 1,5 kN e 0,6 kN.m, valores esses a serem usados nas sequências de equações.

O dimensionamento foi feito de forma a situar a linha neutra nos intervalos de alturas que delimita a mesa de compressão. Foi realizado uma sequência de procedimentos de cálculo para encontrar a área de armadura necessária que resistisse aos esforços solicitados. Inicialmente foi encontrado o valor de K_c pela Equação 1.

$$K_c = \frac{b_w \times d^2}{\gamma_f \times M_k} \quad (1)$$

Onde:

$b_w = 9$ cm, que equivale a base da vigota menos 3 cm de apoios para lajotas;

$d = 8,5$ cm, equivalente à altura da vigota menos a consideração de 1,5 cm de cobrimento;

$\gamma_f =$ Coeficiente de ponderação do cimento, igual a 1,4

$M_k =$ Momento em kN.m = 60 kN.cm

Logo, têm-se que:

$$K_c = 7,74 \text{ cm}^2/\text{KN}$$

Com o valor da constante K_c , o valor da resistência do concreto sugerida em projeto, que foi de $f_{ck} = 30$ MPa e o tipo de aço escolhido em projeto que foi o CA-50, é possível encontrar um valor tabelado de duas constantes que são respectivamente $\beta_x = 0,09$ e $K_s = 0,024$. A partir desta constante é possível encontrar o valor de X (Equação 2) que corresponde, em centímetros, a localização da linha neutra.

$$\beta_x = \frac{X}{d} \quad (2)$$

Com isso, obteve-se um valor de X igual a 0,68 centímetros. Foi possível encontrar o valor da distância d subtraindo a altura total pelo X .

Em seguida, com os valores da constante K_s , momento de cálculo M_d e d , foi possível realizar o cálculo da armadura pela Equação 3.

$$A_s = K_s \times \frac{M_d}{d} \quad (3)$$

$$A_s = 0,024 \times \frac{1,4 \times 60}{8,5}$$

$$A_s = 0,23 \text{ cm}^2$$

Considerou-se a treliça de aço CA-50, exigido pela NBR 7480 (ABNT, 2007), com duas barras de 5 milímetros com área da seção transversal igual a $0,40 \text{ cm}^2$ para cada barra de ferro, que corresponde ao valor obtido em cálculo pela Fórmula 3.

Para combater a fissuração por efeitos de tração do concreto foi realizado a colocação de uma tela de 20 cm por 20 cm, com diâmetro de 4,2 mm exigido pela NBR 14859-3 (ABNT, 2017). É importante destacar que essa não tem finalidade estrutural, apenas as treliças possuem essa função. Quanto às vigotas utilizadas as mesmas possuíam as dimensões mínimas exigidas pela NBR 14859-3 (ABNT, 2017), com concreto que atendem às especificações da NBR 6118 (ABNT, 2003), NBR 8953 (ABNT, 2015) e NBR 12655 (ABNT, 2015) com aço na parte inferior que possuem serventia de armadura passiva inferior de tração.

4.1.3. Estimativa de ruptura

Antes da execução do ensaio destrutivo foi necessário estimar uma carga de ruptura para que durante o procedimento não se alcançasse problemas experimentais ligados à

necessidade de uma carga maior que a suportada pela prensa. Ademais, a análise contribuirá com as discussões comparativas entre os registros de ruptura alcançados durante o ensaio destrutivo e o estipulado teoricamente.

Foi analisada a disposição dos elementos da estrutura, notou-se que as vigotas colocadas longitudinalmente, de a para b, estavam apoiadas sobre os corpos rígidos AC e BD e a laje sofria a influência da viga EF que possuía características de corpo rígido e indeformado a ponto de transmitir um carregamento uniforme em toda a laje a partir do recebimento de uma carga pontual **P** no centro dessa mesma viga.

Inicialmente foi determinado o carregamento **Q** (Equação 4) atuante em todo comprimento da viga EF.

$$Q = \frac{P}{X} \quad (4)$$

Onde:

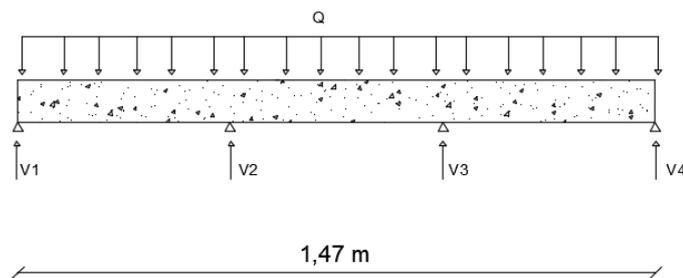
Q é o carregamento em todo comprimento da viga;

P é a carga pontual;

X é o comprimento da viga, correspondente a 1,60 metros.

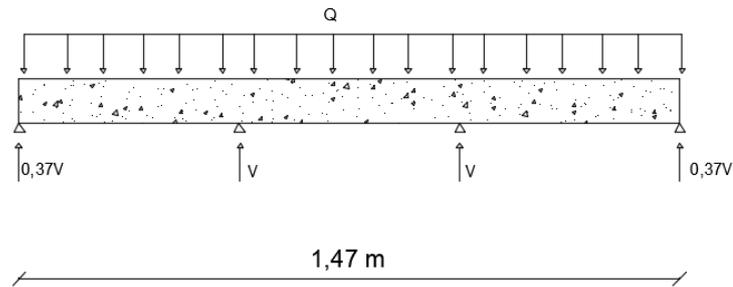
Com isso, tem-se o seguinte esquema estático de forças da viga EF (**Figura 13**).

Figura 13 - Esquema Estático de Forças.



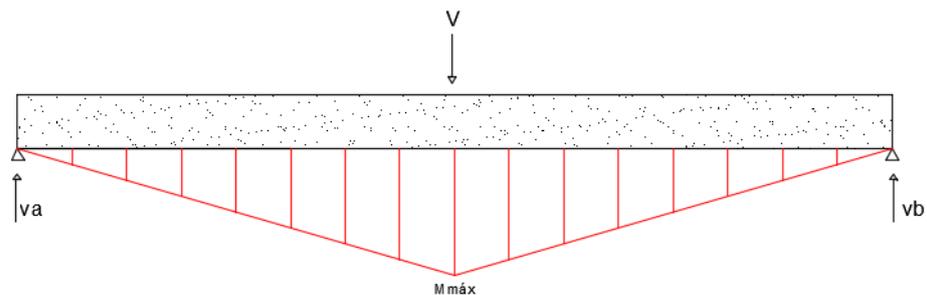
Fonte: Autor, 2018

Por análise computacional, utilizando-se da ferramenta Ftool, foi percebido que as respectivas reações tinham um comportamento proporcional, no qual os esforços seguiam um valor percentual esquematizado na **Figura 14**.

Figura 14 - Esquema Estático de Forças com proporções das reações.

Fonte: Autor, 2018

A partir disso, pode ser analisado cada vigota que possui o seguinte sistema estático de força, apresentado na **Figura 15**.

Figura 15 - Esquema Estático de Forças atuante nas Vigotas.

Fonte: Autor, 2018

Onde V representa as reações V_1, V_2, V_3 e V_4 que proporcionalmente obteve-se que as reações em 1 e 4 possuíam um percentual equivalente a 37% quando comparada com as outras reações, as reações 2 e 3. Assim, foi expresso em valor de V .

Por meio do momento máximo atuante já encontrado, que equivale a 0,6 kN.m pode-se encontrar o momento de cálculo a partir da multiplicação do fator de ponderação 1,4, que corresponde a um momento máximo atuante de 0,84 kN.m. A partir da resolução das equações de equilíbrio encontra-se o valor de V igual a 2 kN. No entanto, com a existência da proporcionalidade entre as reações é perceptível que a maior contribuição será da reação com 37% de influência no valor. Logo realizando o produto entre V e 0,37 encontra-se um valor que corresponde a 0,74 kN. Em sequência, pelo equilíbrio entre as reações verticais e o carregamento Q , já que a viga está em equilíbrio estático (Equação 5)

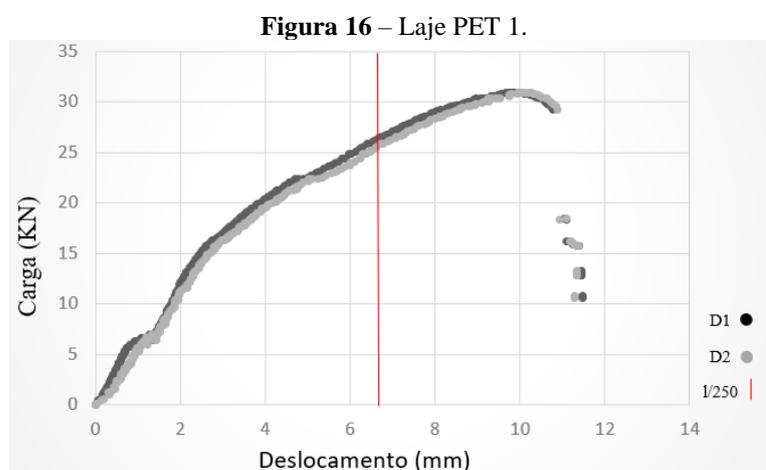
$$Q = \sum V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (5)$$

O valor encontrado é igual a $Q = 5,48$ kN. m e em seguida o valor de P igual a 8,76 kN. O valor de P será comparado com o valor da força de ruptura, que deu bem menor, logo isso significa que a laje suportou uma carga maior que a estimada.

4.1.4. Ensaio de flexão simples

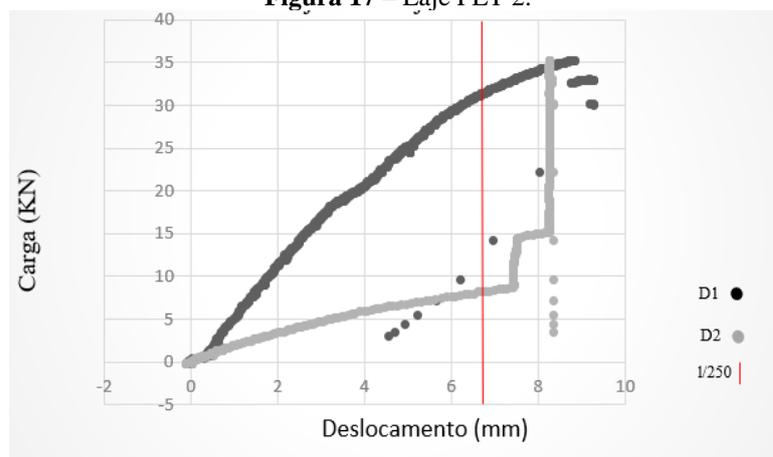
Foram instalados dois transdutores, equipamento de medição dos deslocamentos verticais, em cada laje ensaiada ambos nos pontos médios, entre a extremidade esquerda e o ponto central da laje e extremidade direita e o centro do plano de laje, sendo os mesmos representados pelas curvas D1 e D2 nos gráficos de carga (kN) pelo deslocamento (mm), expostos nas Figuras 15, 16 e 17.

Na laje PET 1 (**Figura 16**), percebe-se que ambas as curvas se assemelham, apresentando um valor de ruptura máxima igual a 30,90 kN e um deslocamento vertical médio igual a 10,15 milímetros. A curva aumenta gradativamente com o passar do tempo e não possui características de ruptura frágil. Além disso, é perceptível que existe uma zona de escoamento aparentemente curta, ou seja, em um pequeno espaço de deslocamento vertical.



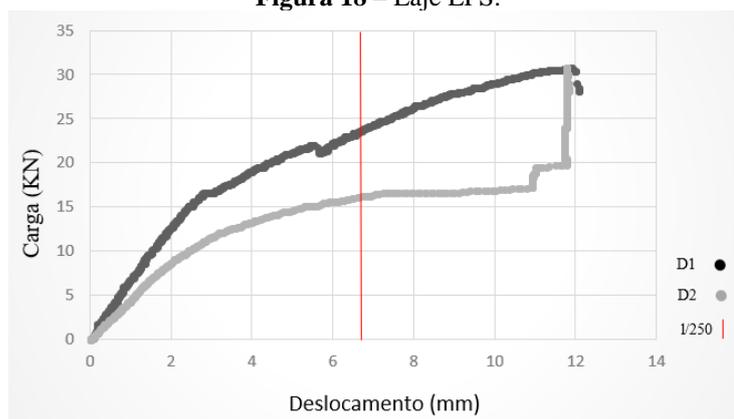
Fonte: Autor, 2018.

Diferente da laje 1, mas se tratando também do PET como material de enchimento, na laje 2 (**Figura 17**) há uma distância relevante entre ambas as curvas, percebe-se que na curva D1 houve deslocamentos menores para cargas maiores, se comportando como uma curva crescente e não linear, enquanto que para D2 o deslocamento foi elevado para cargas menores ocorrendo um salto grotesco da curva no momento da ruptura atribuindo a essa característica de um gráfico correspondente a um material frágil. A ruptura ocorreu para mesma carga de 35,30 kN e deslocamento de 8,82 milímetros.

Figura 17 – Laje PET 2.

Fonte: Autor, 2018.

Para o caso da laje 3 (**Figura 18**), constituída de material de enchimento EPS, pode-se constatar que as curvas obtiveram acentuados distanciamentos, se assemelhando ao evento que ocorreu no ensaio da laje 2, constituída de lajota tipo PET, com ocorrência de uma descontinuidade no ponto de ruptura, diferente de D1, no qual a ruptura chegou de forma gradual e não-linear. Logo, foi apenas considerado o valor de deslocamento vertical referente ao transdutor 1. Para a laje 3 a ruptura ocorreu para um valor de 30,8 kN e deslocamento vertical máximo de 11,9 milímetros. Diferente da laje 1, nas lajes 2 e 3 a zona de escoamento não é tão vigorosamente existente quanto aquela.

Figura 18 – Laje EPS.

Fonte: Autor, 2018.

O traço vertical em vermelho representa o limite para funcionalidade da laje no estado limite de serviço, equivalente ao valor do vão dividido por 250, segundo a norma ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), que informa a verificação discutida para os casos de estruturas biapoiadas. Pode-se prever que as três lajes ensaiadas romperam após seu estado limite de serviço.

Os picos existentes no comportamento das curvas geradas pelo transdutor 2, curva D2, para as lajes 2 e laje 3 têm causa regente pelo motivo de ocorrência de descalibragem no transdutor 2 no momento do ensaio da segunda e terceira laje.

A Tabela 5 apresenta os valores das rupturas e deslocamentos máximos para cada laje. Percebe-se que a carga de ruptura foi próxima entre as três lajes, com variação aproximada de 5,00 kN devido a mudança ter ocorrido apenas no tipo de material de enchimento, o que já era confirmado teoricamente, e após ensaio, experimentalmente.

Tabela 5 – Cargas de ruptura e deflexões.

	Carga de ruptura	Deformação	
		Transdutor 1	Transdutor 2
LAJE 1 (PET)	30,9 kN	10,06	10,25
LAJE 2 (PET)	35,3 kN	8,82	8,23
LAJE 3 (EPS)	30,8 kN	11,9	11,78

Fonte: Autor, 2018.

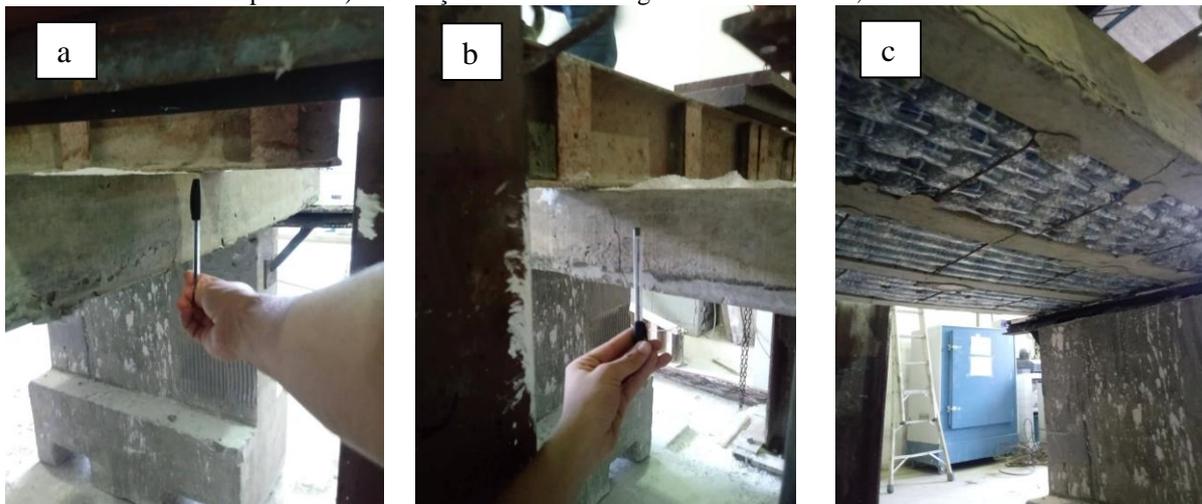
Foram descartados os valores correspondentes aos deslocamentos registrados pelo transdutor 2, D2, nas lajes 2 e 3, devido a existência da possível descalibragem, para que assim os resultados apurados fossem os mais confiáveis. Na laje 1 foi realizado uma média entre os valores dos deslocamentos medidos pelos transdutores 1 e 2. Assim, para a laje 1 teve-se um deslocamento máximo igual a 10,15 milímetros, para a laje 2 um deslocamento de 8,82 milímetros e para a laje 3 um valor correspondente a 11,90 milímetros.

De modo geral a laje PET obteve deslocamento médio de 9,48 milímetro e a laje de EPS um deslocamento de 11,90 milímetros. Nota-se que ocorreu uma distância entre os resultados de 2,41 milímetros o que é um valor de deformação considerável, assim, a laje PET teve um comportamento quanto à resistência ao deslocamento vertical melhor que a laje constituída de EPS. Além disso, a carga de ruptura foi maior que a estimada, ou seja, a laje teve maior resistência do que o esperado, o que deixa a aplicabilidade do novo método construtivo viável em termos de deformações e resistências quando comparado aos métodos existentes.

4.1.5. Controle de Fissuração

Foi perceptível que as fissuras aparecem primeiramente nas partes medianas, entre os apoios, isso demonstra que a laje por flexão. A sequência de imagens da **Figura 19** apresentam os padrões de fissuração encontrados nas vigotas externas, região de maior grau de fissuras.

Figura 19 – a) e b) Fissuras nas extremidades dos planos de laje, o modelo de fissuração se repetiu para todos os três planos. c) Fissuração em torno da vigota de extremidade, de formato L.



Fonte: Autor, 2018.

O modelo de fissuração encontrado no momento de ruptura das lajes foi o mesmo em todos os protótipos ensaiados, com indícios de fissuração inicial nas regiões das nervuras, evoluindo posteriormente para fissuração de flexão com sucedida inclinação dessas fissuras próximas aos apoios, o que foi iminente a configuração de uma ruptura por cisalhamento. Além do mais, pode-se revelar que a fissuração iniciou nas nervuras mais externas, seguida das nervuras localizadas na região central do plano de laje, conseqüentemente ocorreu microfissuras na capa de concreto, o motivo de não ter ocorrido o destacamento dessa placa foi devido a presença de armadura de controle de fissuração na mesma.

A forma de ruptura prescrita anteriormente ocorre, em sua maioria, devido às vigotas centrais possuírem seção transversal T, diferente das vigotas laterais, ou seja, das extremidades, que configuram um formato L, resultando assim em uma maior rigidez na parte central das lajes. Assim, pode-se dizer, em outras palavras, que as nervuras centrais se mantiveram mais íntegras quando comparadas com as nervuras em formato L.

4.2. Análise teórica dos Painéis PET com a NBR 14859-2 (ABNT, 2016)

Após a verificação em termos de resistência e deformação da aplicabilidade do material PET como material das lajotas das lajes treliçadas, tornou-se necessário averiguar a serventia do painel em termos exigidos pela NBR 14859-2 (ABNT, 2016). É notório que, devido a fabricação artesanal, sem ter ocorrida manufatura com a matéria bruta (garrafas PET), os painéis pré-moldados com PET possuíam altura igual a 50 milímetros, valor esse menor do que o mínimo apresentado na norma quando a referência é o EPS, cuja altura do mesmo é de 60 milímetros. Essa altura de 10 milímetros foi desconsiderada no projeto

estrutural, visto que no comércio local a altura do EPS era de 50 milímetros além de toda a resistência ser suportada pelas treliças e capa de concreto, no entanto, o uso do novo material refletiu diretamente no volume de concreto consumido que aumentou para ambas lajes de material de enchimento distintos.

A largura dos painéis PET conferiam um padrão da largura dos painéis EPS de altura 60 milímetros com variação de 3 milímetros para mais ou para menos. Diferente da largura o comprimento não possuía a mesma configuração, atingindo um valor de 1600 milímetros, sendo o exigido, 100 milímetros quando comparado às lajotas de EPS segundo a NBR 14859-2 (ABNT, 2016). No entanto, é considerada essa dimensão por norma devido ser mantida uma rigidez tal que não ocorra uma deformação excessiva na lajota. Essas dimensões de comprimento variam no comércio. Embora a diferença de comprimento daquela normatizada, a configuração na rigidez das lajotas PET, se firmou com a colocação de armaduras de suporte abaixo do painel PET essas também possuíam função de encaixe entre as vigotas treliçadas já que, diferente do EPS, que possui um encaixe de 15 milímetros para a altura da lajota vigente, as lajotas PET não possuíam o mesmo. Todas as dimensões analisadas variam conforme a altura do material de enchimento e suas características físicas.

4.3. Análise de Custo e benefício

Os resultados obtidos do ensaio destrutível dizem que a resistência das lajes PET, quando comparada a do sistema convencional (Laje EPS), solicita esforços parecidos para atingir o ponto de destruição, com uma deformação menor. Desse modo, é acessível a realização de uma análise de custo e benefício para que se obtenha a confirmação da viabilidade da introdução do novo material como recurso de lajotas nas lajes treliçadas.

Foi realizado um levantamento quanto ao gasto de concreto a mais a ser utilizado nas lajes com lajotas PET, visto que como os painéis PET possuíam como encaixe nas vigotas armaduras de sustentação todo espaço antes ocupado pelo EPS foi preenchido por concreto o que aumentou em um valor de 0,15 mm²/ m de concreto, valor esse que pode ser desprezado, além do mais a falta de uniformidade e irregularidade nos encaixe fez passar entre os vazios o concreto, o que em termos de execução não é viável.

Foi considerado o preço médio do EPS do mercado local, no qual uma placa com dimensões de 30 cm por 100 cm custa em média nove reais (R\$ 9,00), logo o metro quadrado custa 30,00 reais.

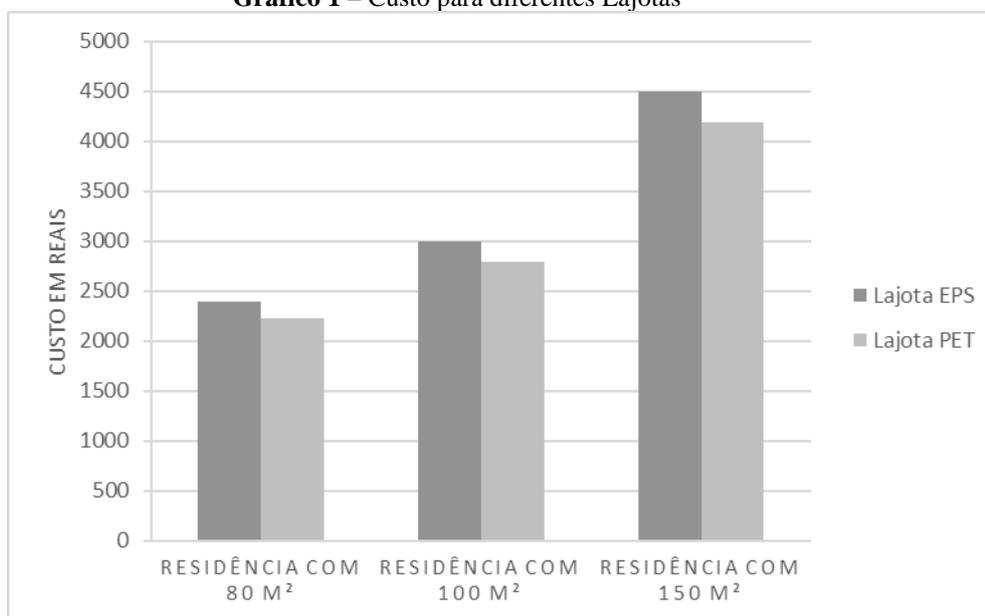
Para as placas PET foi avaliado o custo de produção para uma placa de mesmas dimensões da lajota de EPS, com apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Custo para produção de uma placa com material PET.

Materiais e Serviços	Custo Unitário	Quantidade para produção de uma placa	Custo para a produção de uma placa (0,30 cm X 100 cm)
Garrafa PET	R\$ 0,10/ um	48 um	R\$ 4,80
Arame	R\$ 10,00/ Kg	0,125 Kg	R\$ 1,25
Fita adesiva	R\$ 2,00/ um	0,5 um	R\$ 1,00
Serviço	R\$ 8,00/ hora	0,166 h	R\$ 1,33
Custo final para produção da placa PET			R\$ 8,38
Custo por metro quadrado da placa			R\$ 27,93

Fonte: Autor, 2018.

Para averiguar o benefício para os construtores foi realizado um comparativo gráfico do custo da construção de uma casa unifamiliar de baixo, médio e alto padrão utilizando o EPS e o PET. Foi considerado um custo fixo para o gasto com armaduras visto que as diferenças entre o quantitativo desses componentes são mínimas para cada tipo de lajota analisada, sendo possível desconsiderá-la. A simulação do Gráfico 1 apresenta apenas o gasto com as diferentes lajotas. O eixo vertical representa o custo em reais e o eixo horizontal o padrão de casas.

Gráfico 1 – Custo para diferentes Lajotas

Fonte: Autor, 2018.

Ocorreu uma redução de 6,90 % no custo das lajotas, quando essas forem substituídas de EPS para PET, independentemente da área a ser construída.

A segunda vertente de destaque na análise do custo benefício na implantação do novo material é a rentabilidade para as pessoas que trabalham no setor de reciclagem e

reaproveitamento de resíduos sólidos, visto que a implantação do método trará renda para o setor, no processo de fabricação das colunas PET e das placas PET. Pode ser destacado que todo material coletado não é pago pelos prestadores de serviço, ou seja, o custo de investimento seria apenas com materiais adicionais para a fabricação das lajotas, que são custos com arames e fitas adesivas, valor esse mínimo.

Como terceira vertente a ser analisada, pode-se destacar a redução de um percentual considerável no número de garrafas a serem descartadas ao ambiente, reduzindo, assim, os efeitos danosos como poluição ambiental que prejudicam o desenvolvimento regular da fauna e flora, e os entupimentos de bueiros, esse último causador de inundações nos grandes centros urbanos. Em termos estatísticos, estima-se uma média de 160 garrafas por metro quadrado de lajota necessária. Em outra análise, para a construção da casa popular em estudo seriam reutilizadas aproximadamente 5900 garrafas PET.

Por fim, deve ser discutido o processo de execução das lajotas PET que não é eficiente. Apesar da existência de armaduras construtivas na parte inferior da lajota para sustentar as PET e a presença de arames e fita adesiva em volta das garrafas esses elementos não são suficientes para suportar o peso do concreto, com necessidade de aumentar o número de escoras, e proporcionalmente o custos com projetos de escoramento. Isso foi analisado no processo de concretagem das lajes ensaiadas que foram moldadas sobre uma superfície, o piso, e já apresentaram a respectiva característica construtiva. Com isso, irá aumentar a quantidade de concreto desperdiçado, além de contribuir com a insalubridade do ambiente, visto que o concreto que passa pelos vazios irá sujar a região que está sob a laje pré-moldada.

Além do mais, os painéis de garrafas PET não possuíam facilidade para corte o que deixa difícil o preenchimento de pequenos vãos, diferente dos painéis com EPS que tem corte facilitado visto que é um material industrializado, uniforme e homogêneo, diferente das lajotas PET que se formam a partir do encaixe de garrafas PET.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que, em termos de análise experimental, o comparativo entre as lajes que possuíam lajotas de PET e lajotas de EPS foram compatíveis, visto que a ruptura correu como estimada teoricamente para ambas as lajes, assim como esperado, a troca de material não influenciou na resistência das lajes, já que toda a carga é suportada pelas vigotas treliçadas o que se comprovou pelo ensaio destrutível.

Notou-se que as deformações nas lajes PET foram bem menores que nas lajes constituídas de EPS, o que em termos estruturais é muito relevante. Uma laje com menores deformações resulta em melhor conforto e segurança aos usuários e atende ao Estado Limite de Serviço (ELS).

Em termos de custo e benefício as lajotas com PET têm menores custos para serem fabricadas do que as lajotas com material EPS, porém em termos construtivos não é eficiente causando gastos excessivos com concreto e ferramentas que facilitem o processo de corte das lajotas.

Apesar de contribuírem com o aumento na renda dos trabalhadores e a redução de resíduos PETs a serem descartados irregularmente, a introdução do material alternativo não são validados em termos de execução atraindo um preconceito para sua utilidade, mas partindo da conclusão que o material PET teve resultados aceitáveis em termos estruturais, pode-se averiguar o desenvolvimento de métodos que auxiliem na execução e assim beneficiem todas as partes envolvidas.

STRUCTURAL AND TECHNICAL EVALUATION OF TRIPLE LAJES WHEN APPLIED POLY ETHYLENE (PET) TEREFTALATE AS A FILLING COMPONENT

ABSTRACT

Civil Construction has been applying in recent years innovative and sustainable methodologies in its construction processes in order to increase productivity and reduce the harmful effects that the same cause to the environment. The aim of the research was to investigate the feasibility of introducing the Polyethylene Terephthalate (PET) material as a filler in the Trellised Slabs in comparison to Expanded Polystyrene (EPS) slabs from a comparative mechanical / structural analysis , cost and benefit of both. The applied methodology was based on a qualitative and quantitative analysis, based on the experimental study in slabs of real dimensions, followed by theoretical studies to which the applicability of the material in terms of standards and cost and benefit studies was verified taking into account the positive and negative attributions of the use of the method in terms of constructive and implementation requirements. It was verified experimentally, based on the results, that the incorporation of the PET as a lajota is efficient, obtaining burst loads of up to 14% more and deformations of up to 2.41 mm less than the slabs manufactured with conventional tiles, as well as in the reduction of about 6.9% of the costs with the tiles. However the usage does not become effective when the analysis becomes execution. Finally, it was concluded that the application of PET panels to lattice slabs, although having positive attributions in the structural, sustainable, cost and income fields, can not be developed without introducing improvement mechanisms and techniques in the execution stage.

Keywords: Lajotas. PET. EPS.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1:** Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 1: Vigotas, minipaineis e paineis - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-2:** Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 2: Elementos inertes para enchimento e fôrma - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-3:** Lajes pré-fabricadas de concreto. Parte 3: Armaduras treliçadas eletrossoldadas para lajes pré-fabricadas - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:2006:** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474**: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1987. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais — Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. Cidade Nova: Editora Dunas, 2014.

BRAGA, Roberto; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. "**CIDADE: ESPAÇO DA CIDADANIA.**" **PEDAGOGIA CIDADÃ: CADERNOS DE FORMAÇÃO**. UNESP-PROPP, São Paulo, 2004.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3. ed. Edufscar, 2003.

CIDADANIA." **PEDAGOGIA CIDADÃ: CADERNOS DE FORMAÇÃO**. UNESP-PROPP, São Paulo, 2004.

CEMPRE. **Pet**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>>. Acesso em: 26 abr. 2017.

DORNELES, Douglas Medeiros. **LAJES NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA: ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM SANTA MARIA-RS**. 2014. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FERNANDES, Georgeo Dias. **DESENVOLVIMENTO TÉCNICO E AVALIAÇÃO DE CUSTO E BENEFÍCIO DO SISTEMA CONSTRUTIVO DE PAINÉIS SANDUÍCHE, COM NÚCLEO DE GARRAFAS PET, MOLDADOS NO LOCAL**. 2016. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Goiás, 2016.

FRANCA, A.B.M.; FUSCO, P.B. As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios. AFALA & ABRAPEX, São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, Talita Yasmin Mesquita de. **ESTUDO SOBRE O USO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO ALTERNATIVOS QUE OTIMIZAM A SUSTENTABILIDADE EM EDIFICAÇÕES**. 2015. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Cap. 1.