

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**BARBARA STEPHANY CUNHA
JOÃO VITOR PAPA FONSECA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TELHAS PRODUZIDAS POR MEIO DE
RECICLAGEM DE PAPEL E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

PUBLICAÇÃO Nº:

CERES / GO

2020

**BARBARA STEPHANY CUNHA
JOÃO VITOR PAPA FONSECA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TELHAS PRODUZIDAS POR MEIO DE
RECICLAGEM DE PAPEL E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: Ma. LUANA DE LIMA LOPES

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

CUNHA, BARBARA STEPHANY.

FONSECA, JOÃO VITOR PAPA.

Análise de viabilidade de telhas produzidas com reciclagem de papel e bagaço de cana-de-açúcar [Goiás] 2020.

20P, 297 mm, (ENC/Unievangélica, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - Unievangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Telhas ecológicas

2. Bagaço de cana-de-açúcar

3. Reciclagem

4. Sustentabilidade

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CUNHA, B. S. FONSECA, J. V. P. Análise de Viabilidade de Telhas Produzidas por meio de Reciclagem de Papel e Bagaço de cana-de-açúcar. TCC, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Ceres, GO, 20 p., 2020

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Bárbara Stéphaney Cunha, João Vitor Papa Fonseca.

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TELHAS PRODUZIDAS POR MEIO DE RECICLAGEM DE PAPEL E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2020

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Bárbara Stéphaney Cunha

Rua Julio Lorezetti, Nº 135, Setor

Santa Terezinha

76310000 – Rialma/GO - Brasil

João Vitor Papa Fonseca

Rua 41, Nº 316, Bairro Vila Nova

76300000 – Ceres/GO - Brasil

**BARBARA STEHANY CUNHA
JOÃO VITOR PAPA FONSECA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TELHAS PRODUZIDAS POR MEIO DE
RECICLAGEM DE PAPEL E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**LUANA DE LIMA LOPES, Mestre (FACEG e Unievangélica – Campus Ceres)
(ORIENTADOR)**

**JÉSSICA NAYARA DIAS, Mestre (FEJA e Unievangélica - Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (Centro Universitário Unievangélica -
Campus Ceres)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: CERES/GO, 07 de dezembro de 2020.

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE TELHAS PRODUZIDAS POR MEIO DE RECICLAGEM DE PAPEL E BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Barbara Stephany Cunha¹

João Vitor Papa Fonseca²

Luana de Lima Lopes³

RESUMO

O uso massivo de telhas de cerâmica em edificações, unido à necessidade de se empregar a reciclagem, como contribuição da redução dos descartes de resíduos, e conseqüentemente a redução de danos ambientais, aprova a busca por uma telha, que tanto no processo de produção, quanto na composição de matéria-prima contribua neste sentido. Diante disso, o trabalho teve como objetivo desenvolver três diferentes tipos de telhas ecológicas de produção laboratorial com adição de bagaço de cana-de-açúcar, com a intenção de melhorar a resistência da telha. A confecção das telhas obteve várias etapas, dando início na reciclagem do papel e bagaço, em seguida trituração do material, secagem da telha e impermeabilização da mesma. Após confecção, as telhas foram levadas a testes laboratoriais, onde a telha C com 75% de bagaço apresentou ser uma telha com maior resistência à flexão, 50% superior comparada com a convencional, suportando uma carga média de 500 kgf. Porém, no que diz respeito à absorção de água, nenhuma das telhas se adequaram a recomendação da normativa, absorvendo grande quantidade de água, além do máximo previsto. A implantação desta telha em residências fica comprometida, por não cumprir suas funções básicas, como obstruir a passagem da água da chuva, ocasionando transtornos a edificação.

Palavras-chave: Telhas ecológicas, Bagaço de cana-de-açúcar, Reciclagem, Sustentabilidade.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: barbara.scunha@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: jvpf@hotmail.com

³ Mestra, professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres e Faculdade Evangélica de Goianésia. E-mail: luanalopes100@yahoo.com.br

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3 MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1 Telhas ecológicas	10
3.2 Ensaio do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar	10
3.3 Processo de fabricação das telhas ecológicas	11
3.4 Ensaios laboratoriais com a telha ecológica	13
<i>3.4.1 Ensaio de absorção de água.....</i>	<i>13</i>
<i>3.4.2 Ensaio de resistência à flexão</i>	<i>14</i>
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Absorção de água.....	15
4.2 Ensaio de resistência à flexão	16
4.3 Teor de umidade do bagaço da cana-de-açúcar	17
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	17
REFERÊNCIAS	18

1 INTRODUÇÃO

A preocupação e a notoriedade do tema sustentabilidade são recorrentes já há algumas décadas. Nos diversos setores da sociedade são percebidos exemplos de soluções e práticas que contribuem para a preservação do meio ambiente, bem como para a redução do impacto social e ecológico que a sua exploração desenfreada e irresponsável pode causar. A reciclagem é aliada na busca pelo consumo consciente e sustentável, seja na mudança em processos de produção de materiais ou no incremento e substituição de insumos por matéria-prima que seria descartada como rejeito podendo até mesmo agregar novas qualidades ao produto final (OLIVEIRA, 2008).

O CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002), alerta que a gestão de resíduos da construção civil deve propiciar benefícios sociais, econômicos e ambientais. Tornando-se um dos principais setores da economia brasileira e também um dos maiores consumidores de matéria-prima, portanto, necessita desempenhar papel de destaque nos processos de produção na integração de novas tecnologias que contribuam para a diminuição da geração e do descarte de resíduos sólidos, para a reciclagem e o reuso de materiais, sejam eles da própria construção civil ou de outros setores.

Na construção civil existem diversos materiais produzidos pela reciclagem, por exemplo, tijolos, telhas e concreto. Um dos elementos que se destacam são as telhas, atualmente existem vários tipos, podendo destacar as mais utilizadas, como as telhas cerâmicas, metálicas, de cimento e as telhas ecológicas, as quais vêm ganhando espaço no mercado pelos benefícios trazidos, principalmente no que diz respeito ao meio ambiente (PERALTA, 2006).

Diversos tipos de telhas são produzidos com intuito de preservar os recursos naturais, utilizando em sua fabricação matéria-prima que não seja extraída, ou se for extraída que seja de fonte renovável, tais como a telha ecológica, obtida a partir da reciclagem de resíduos com o emprego de papel reciclado banhado por betume. E o maior desafio dessas telhas, perante o mercado consumidor, está em comprovar que ela terá bom desempenho e durabilidade (LESSA, 2009).

Yoshimura (2011), diz que as telhas ecológicas apresentam a mesma utilidade de telhas convencionais, de proteger os ambientes de intempéries, com o diferencial de ser produzida a partir da reciclagem do resíduo, proporcionando vários benefícios, como redução da quantidade de resíduos urbanos, evitando assim a queima e o acúmulo de lixo em aterros e favorecendo as cooperativas de catadores de papel. Sua vantagem comparada com as telhas comuns está na leveza e flexibilidade, além de fácil manuseio e instalação, baixa transmissão térmica e redução de ruídos, funcionando como isolante acústico. Outra vantagem é o baixo custo da telha por derivar de material reciclado.

Com intuito de garantir maior resistência as telhas ecológicas, têm sido testado a implementação de agregados em sua fabricação, como o bagaço de cana-de-açúcar, devido a sua alta estrutura fibrilar e módulo de elasticidade, agregando maior resistência quando adicionado à matéria prima de produtos como telhas, cimento e outros (LIGOWSKI, 2015).

Para saber se a telha é propícia para uso, ela deve passar por uma série de ensaios em laboratório para definir sua viabilidade. Dentre esses testes há o de resistência à flexão, que segundo a NBR 15310 (ABNT, 2005) é realizado para obter um valor de força (em Kgf), no qual a telha resiste quando é submetida a uma pressão de aumento constante, realizado por uma prensa até que chegue à ruptura. Na NBR 15310 (ABNT, 2005), há também o ensaio de absorção de água da telha, este é de extrema importância pois através de seus resultados se descobre o quanto de água a telha absorve depois de imersa por um período de tempo definindo se apta para utilização.

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo desenvolver diferentes tipos de telhas ecológicas de produção laboratorial adicionando bagaço de cana-de-açúcar, com intenção de melhorar a resistência da telha.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente existe uma preocupação com a alta quantidade de resíduos sólidos por conta dos crescentes impactos sanitários, causados através da vasta produção no país e no mundo. Muitos consideram os resíduos sólidos como lixo, por não apresentarem mais utilidade, originando assim uma urgência permanente em descartá-lo, sem obter relevância alguma de onde e como, será efetuado esse descarte (ARAÚJO, 2008).

Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2018), foram gerados 79 milhões de toneladas de lixo no Brasil no ano de 2018. Desse montante, apenas 92% foi coletado, equivalente a 72,7 milhões de toneladas, dessas 59,5% teve disposição final adequada em aterros sanitários, 23% foram encaminhados a aterros controlados e os 17,5% aos locais a céu aberto (lixões). É necessária a busca por métodos alternativos, que não incluam estocar lixos em aterros ou descartá-los de maneira incorreta, visto que a maioria do lixo demora um longo período para se desintegrar naturalmente. Surgindo assim a reciclagem, que contribui, tanto para preservação do meio ambiente como também gera riquezas ao reduzir os custos de produções de indústrias que utilizam materiais reciclados (MACHADO, 2018).

A reciclagem é necessária para produção de novos materiais substituindo assim as matérias primas que seriam retiradas do meio ambiente por resíduos sólidos, um dos setores que carece adotar essa prática é o da construção civil. Nos municípios brasileiros é notório o desperdício irracional de material no canteiro de obras desde a sua extração até a sua utilização na obra (OLIVEIRA, 2008).

A indústria da construção civil oferece diversos benefícios no âmbito social e econômico, essa indústria é responsável por fornecer empregos, possibilitar a construção de moradias e infraestrutura urbana. No entanto é uma grande causadora dos impactos ambientais por gerar resíduos na produção de materiais, nas atividades do canteiro de obras e também durante a manutenção, modernização e demolição (MAZUR, 2015).

O setor da construção civil é o que mais consome recursos naturais e utiliza a energia de forma intensiva, além da grande quantidade de resíduos proveniente do canteiro de obras. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), estima-se que, 50% dos resíduos sólidos produzidos pelo conjunto das atividades humanas no Brasil, sejam oriundos da construção civil.

Mediante essa situação, percebe-se ainda uma negligência tanto do setor público como do setor privado, no propósito de encontrar soluções, onde os resíduos possam ser utilizados como agregado para substituir recursos naturais nas linhas de produção (OLIVEIRA, 2008). Uma das alternativas para solucionar este problema consiste na elaboração de materiais construtivos agregando matéria-prima reciclada na sua fabricação.

Um dos materiais que pode ser fabricado com essa prática são as telhas ecológicas (Figura 1). Yoshimura (2011), diz que as telhas produzidas com resíduo de pós-consumo, como o papel, são chamadas de telhas ecológicas obtendo a mesma utilidade de telhas convencionais, de proteger os ambientes de intempéries. A telha ecológica é produzida a partir da reciclagem do resíduo e com isso proporciona vários benefícios, como redução da quantidade de resíduos urbanos, evitando assim a queima e o acúmulo de lixo em aterros e favorecendo as cooperativas de catadores de papel.

Figura 1 – Telha ecológica.



Fonte: JARDIM (2011)

Segundo Sepúlveda (2005), a vantagem das telhas ecológicas em relação às outras telhas está na leveza e flexibilidade. Além disso, a telha oferece facilidade no manuseio e instalação, baixa transmissão térmica e redução de ruídos, funcionando como isolante acústico. Além de oferecer todos esses benefícios, o produto é de baixo custo por derivar de material reciclado.

O bagaço de cana-de-açúcar vem sendo utilizado como agregado na confecção das telhas ecológicas devido a sua alta estrutura fibrilar e módulo de elasticidade, agregando maior resistência quando adicionado à matéria prima de produtos como telhas, cimento e outros. Sua estrutura, assim como a da palha da cana, é formada por lignina, celulose e hemicelulose (LIGOWSKI, 2015).

De acordo com Silva (2007), o bagaço da cana-de-açúcar (Figura 2) é o resíduo gerado após a moagem da cana, esse processo é realizado com a finalidade de extrair os líquidos internos do vegetal, os líquidos são parte da matéria-prima para derivados do açúcar e do álcool. Depois de moída, 30% da cana é transformada em bagaço, material composto por fibras vegetais, este pode ser empregado em diversas áreas, frequentemente utilizado como combustível para caldeiras nas usinas alcooleiras e amplamente aplicado na alimentação animal.

Figura 2 – Bagaço de cana-de-açúcar.



Fonte: BARBOSA (2013)

A produção de cana-de-açúcar é crescente a cada ano no Brasil, onde segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), gera mais de 615 milhões de toneladas de cana-de-açúcar anuais, como cerca de 30% é bagaço estima-se 184 milhões de toneladas de bagaço na safra 2019/2020. Com isso a quantidade de bagaço cresce proporcionalmente, assim novas tecnologias vêm surgindo em busca de implementar as

propriedades das fibras vegetais do bagaço em novos produtos, como papel, papelão e materiais de construção civil, tais como as telhas. Confirmando que o bagaço pode ser introduzido nas novas tecnologias de reciclagem e fazer a diferença no aproveitamento de resíduos, por se tratar de um material de tamanha abundância e de fácil extração (SILVA, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Telhas ecológicas

A pesquisa foi realizada em caráter experimental, a fim de propiciar a comparação entre diferentes tipos de telha. Os processos de fabricação das amostras de telha seguiram conforme as especificações dadas por Lessa (2009) em sua dissertação. Foram produzidas seis amostras para cada modelo de acordo, conforme pode ser apresentado na Tabela 1. Dentre elas, um modelo teve como matéria-prima apenas o papel reciclado, e os outros dois contiveram como matéria-prima, o papel reciclado e adição de 50 e 75% do agregado (bagaço de cana-de-açúcar). E como os ensaios são destrutivos, foram fabricadas 3 telhas de cada modelo para cada um dos ensaios. Para elaboração dessas telhas foi realizado antes o ensaio de teor de umidade com o bagaço e em seguida os ensaios com a telha pronta.

Tabela 1 – Tipos de telhas utilizadas no experimento.

Tipo de telha	Bagaço de cana-de-açúcar (%)	Papel reciclado (%)	Número de telhas
Telha A	0	100	6
Telha B	50	50	6
Telha C	75	25	6
Convencional	-	-	6

Fonte: Próprios autores (2020)

3.2 Ensaio do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção e de química da UniEVANGÉLICA Campus-Ceres. Para o ensaio de teor de umidade utilizou-se 3 cadinhos de porcelana levados a mufla, a uma temperatura constante de 550 °C por meia hora para remover toda a umidade presente nos recipientes. Depois, foram retirados e levados ao dessecador para que resfriassem até atingirem a temperatura ambiente. Resfriado, os recipientes foram pesados em uma balança digital de precisão e anotado sua massa, em gramas. Ainda com o cadinho na balança, após a mesma ser tarada, foi adicionado 2 gramas de bagaço de cana-de-açúcar, processo também feito em triplicata. As amostras foram levadas a estufa de secagem com circulação de ar forçado (Figura 9), já aquecida a temperatura de 100 °C, onde permaneceram por 5 horas.

Figura 9 – Estufa de secagem com circulação de ar forçado.



Fonte: Próprios autores (2020)

Após as amostras serem retiradas e resfriadas em dessecador, até que atingissem a temperatura ambiente, foram novamente pesadas na balança, e os valores anotados para realizar o cálculo. O cálculo do teor de umidade é feito pela massa úmida subtraído pela massa seca, e o resultado é dividido pela massa seca. Para o resultado em porcentagem, o resultado é multiplicado por 100, conforme Equação 1.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

Mu = massa úmida, em g;

Ms = massa seca, em g.

3.3 Processo de fabricação das telhas ecológicas

Todo o processo de fabricação das telhas seguiu orientação de LESSA (2009), substituindo os métodos industriais por métodos laboratoriais, foram produzidas assim 18 amostras de telhas com dimensões de 50 x 30 cm. O processo consistiu em diversas etapas, desde a extração da cana-de-açúcar, a reciclagem do papel, até a impermeabilização das telhas. Iniciando o processo com a coleta da cana-de-açúcar, adquirida de uma propriedade particular, no município de Ceres, GO, localizada na Chácara Córrego do Teles S/N zona rural próxima as margens da GO-154, km 2.

A cana de açúcar foi colocada em um moedor, para retirar o excesso de caldo. Depois de moído, obteve-se o bagaço, que passou por um triturador, transformando o mesmo em pedaços com granulometria aproximadamente de 0,3 mm a 1 cm, conforme (Figura 3a) após a extração e preparação da cana-de-açúcar em bagaço, avançou-se para a reciclagem do papel que se deu a partir da separação do papel. Nessa etapa utilizou-se folhas de jornais cortados em pequenos pedaços (Figura 3b), em seguida os mesmos foram submersos em água com intuito de amolecer suas fibras, facilitando na etapa de formação da “pasta”.

Figura 3 – (a) Bagaço de cana-de-açúcar (b) Papel picado.



(a)



(b)

Fonte: Próprios autores (2020)

Pós reciclagem, partiu-se para a etapa de formação da “pasta”, produzida a partir de papel, a água e o bagaço utilizando um triturador. Para cada telha destinou-se uma quantidade

de 120 gramas de papel cortado e 4 litros de água. E nas telhas com adição de bagaço foi adicionado a porcentagem de fibra para cada telha como visto anteriormente na Tabela 1.

Para triturar essa quantidade de material dividiu-se em quatro partes processando em um triturador para transformar em uma pasta consistente, ao termino de cada parte reservou-se a mesma em um recipiente. Quando completa, foi coada para retirada do excesso de água e então colocada no molde. Para elaboração dos moldes utilizou-se uma telha de fibrocimento 4 mm, marca Eternit e um pedaço de tela de nylon cortada poucos centímetros maior que o molde, para facilitar a retirada da telha após finalizada.

Colocado a tela em uma superfície plana foi despejada a pasta (Figura 4), para que a quantidade fosse igualitária em toda superfície da telha foi utilizado um cano de PVC como auxílio para uniformização da pasta. Após nivelada transferiu-se essa tela para o molde da telha e a mesma foi compactada com auxílio de outra telha de mesmas dimensões. A importância da utilização da tela, é para que a telha ecológica não grude no molde após a secagem. E ainda facilitar o processo de desenformar.

Figura 4 – Pasta sobre a tela.



Fonte: Próprios autores (2020)

Com a colocação da massa no molde, as telhas foram levadas ao sol para secagem (Figura 5a). O tempo de secagem depende das condições climáticas, no experimento depois de 5 dias, as telhas estavam completamente secas. Após seca (Figura 5b), efetuou-se a impermeabilização, nessa fase da produção utilizou-se o betume asfáltico CM30 que é uma espécie de asfalto diluído de petróleo, utilizado nas etapas de imprimação dos asfaltos. Foi utilizado esse impermeabilizante devido à realização de outras amostras com outros formatos, onde o CM30 apresentou um bom desempenho.

Figura 5 – (a) Secagem das telhas (b) Telhas pós-secagem.



(a)



(b)

Fonte: Próprios autores (2020)

Para impermeabilização com o betume, aqueceu-se o mesmo em um recipiente até a apresentação de fervura, após retirado do fogo foi aplicado diretamente sobre a telha com o auxílio de um pincel. O produto foi aplicado na telha em ambos os lados até preencher totalmente a mesma, todas as telhas confeccionadas foram impermeabilizadas com betume. Concluído a etapa de impermeabilização, as telhas foram levadas novamente ao sol para secagem, ao termino dessa etapa as telhas estavam finalizadas (Figura 6).

Figura 6 – Telha impermeabilizada.



Fonte: Próprios autores (2020)

Posteriormente, as telhas foram analisadas em laboratório para verificar se as diferentes porcentagens do bagaço de cana-de-açúcar trariam influência na resistência e na absorção de água. Para possível comparação entre as telhas ecológicas e convencional, foi analisado telhas do tipo telha de fibrocimento 4mm marca Eternit (testemunha), na Tabela 1 foi chamada de convencional.

Para a produção das amostras com e sem o agregado de bagaço de cana-de-açúcar, foi utilizado como etapa essencial à reciclagem do papel, e então na etapa de trituração foi adicionado o bagaço. Todas as amostras foram realizadas simultaneamente, assim todas tiveram o mesmo tempo de secagem e impermeabilização.

3.4 Ensaios laboratoriais com a telha ecológica

3.4.1 Ensaio de absorção de água

Este ensaio foi realizado conforme a NBR-15310 (ABNT, 2005). Para sua realização foi necessário especificar a massa da amostra de duas maneiras, úmida e seca, ambas expressas em gramas. Para obtenção da massa seca realizou-se a pesagem de todas as telhas em uma balança de precisão seca e livre de qualquer sujeira, e anotado seu peso com a precisão de quatro casas decimais.

Em seguida a telha foi colocada em uma fôrma de alumínio retangular com aproximadamente 7 centímetros de altura. Em um fogão do tipo industrial aqueceu-se a água em dois recipientes de alumínio até a fervura para imersão da telha, em temperatura de ebulição da água, cerca de 100°C, seguindo as recomendações da norma. A amostra permaneceu por 2 horas imersa (Figura 7), após esse período, passou pela pesagem para obter a massa úmida.

Figura 7 – Telha submersa.



Fonte: Próprios autores (2020)

O cálculo realizado para definir a porcentagem de absorção de água da telha se dá pela subtração da massa úmida pela massa seca, o resultado da subtração é dividido pelo valor da massa seca, e multiplicado por 100, conforme Equação 2. Assim tem-se a porcentagem de água absorvida pela telha, que não deve ser superior a 20%, segundo a NBR 15310 (ABNT, 2005):

$$AA = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (2)$$

Em que:

AA = água absorvida, em %;

Mu = massa úmida, em g;

Ms = massa seca, em g.

3.4.2 Ensaio de resistência à flexão

Este ensaio foi realizado conforme as recomendações da NBR-15310 (ABNT, 2005). Esse ensaio tem por objetivo definir o valor máximo de resistência à flexão da telha antes de sua ruptura. Para sua realização foi utilizado a prensa hidráulica digital modelo 100T (I-3001-C) da marca Contenco (Figura 8). A força atribuída à amostra foi elevada gradativamente até ser constatada a ruptura da amostra seja por trincas ou se rompendo completamente. Neste momento é definido o valor da carga em toneladas força que a telha suporta de flexão.

Figura 8 – Prensa hidráulica digital.



Fonte: Próprios autores (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Absorção de água

Os resultados de absorção de água obtidos são visualizados na Tabela 2, houve grande absorção de água, ultrapassando 30% além do permitido, para todas as telhas confeccionadas. O limite máximo de absorção de água, segundo a NBR-15310 (ABNT, 2005), é de 20%, não satisfazendo os limites recomendados pela norma. Já a telha convencional se adequa a norma, onde apresentou absorção 18,03% de água, vale ressaltar que a telha de fibrocimento não possui impermeabilização.

Tabela 2 – Resultados da Absorção de Água.

Tipo de telha	Média massa seca (g)	Média massa úmida (g)	Absorção de água (%)
Telha A	0,2850	0,4295	50,70
Telha B	0,3100	0,4780	54,19
Telha C	0,3678	0,5530	50,30
Convencional	0,6957	0,8212	18,03

Fonte: próprios autores (2020)

Um dos fatores que pode ter influenciado o desempenho da telha, neste ensaio, foi o processo de fabricação desta telha ser de forma manual. Alguns pontos da superfície não obtiveram a mesma quantidade de impermeabilizante, resultando na passagem de água. A telha absorveu água na forma capilar quando entrou em contato com a umidade, o chamado de infiltração por capilaridade. Ocorre quando o local não há ou obteve uma má impermeabilização, assim a água é conduzida, através de canais capilares presentes no material, pela tensão superficial (LAGE, 2012).

O CM30 é um material perigoso para ser manuseado em altas temperaturas, dificultando a etapa de impermeabilização, que foi realizada com auxílio de um pincel. A maneira que poderia melhorar a impermeabilização em toda a área da telha, seria emergir a mesma em um recipiente com o CM30, obtendo uma impermeabilização uniforme em toda telha, evitando

pontos sem preenchimento. Ou mesmo, o impermeabilizante pode não ter desempenhado o seu papel.

4.2 Ensaio de resistência à flexão

A Tabela 3 apresenta as cargas de rupturas mínimas de acordo com as indicadas na NBR-15310 (ABNT, 2005).

Tabela 3 – Tipos de telhas e cargas de ruptura.

Tipos de telhas	Exemplos	Cargas (kgf)
Planas de encaixe	Telhas francesas	100
Compostas de encaixe	Telhas romanas	130
Simplex de sobreposição	Telhas capa e canal colonial Telhas plan Telhas paulista Telhas Piauí	100
Planas de sobreposição	Telhas alemã e outras	

Fonte: ABNT (2005)

E como pode ser visto na Tabela 4, os resultados obtidos no ensaio, se enquadram aos valores mínimos de carga de ruptura, conforme normativa. A Telha A suporta uma carga de ruptura pouco inferior a Telha Convencional de fibrocimento, os resultados das duas telhas foram semelhantes, sendo assim a Telha A apresentou bons resultados considerando que é uma telha produzida utilizando como matéria prima apenas o papel reciclado, o que a torna uma telha mais leve, flexível e barata.

Com propósito de melhoria dessa Telha A, foi adicionado bagaço de cana-de-açúcar nas Telhas B e C, para alcançarem resultados superiores que a Telha A e Telha Convencional. A partir de 50 % de adição de bagaço a telha já apresentou avanços satisfatórios e a Telha C apresentou o melhor desempenho comparada aos outros três tipos de telha, suportando uma carga média de 503 kgf.

Tabela 4 – Resultados da carga de ruptura.

Tipo de telha	Repetição 1 (Kgf)	Repetição 2 (Kgf)	Repetição 3 (Kgf)	Média (Kgf)
Telha A	220	260	210	230
Telha B	370	420	350	380
Telha C	510	500	500	503
Convencional	250	240	250	246

Fonte: próprios autores (2020)

A determinação deste ensaio tem a finalidade de prever situações genéricas no transporte, construção, uso e na manutenção das telhas. E para isso é definido os valores de resistência à flexão das telhas apresentados na Tabela 5. Baseado nos resultados dos valores de resistência apresentados na tabela obtemos a telha com maior resistência dentre os quatro tipos de telhas analisados, a resistência de flexão está ligada ao valor de carga de ruptura que cada telha apresenta. Com isso a adição do bagaço favoreceu no aumento de resistência das telhas, e a Telha C, que possui a maior porcentagem do bagaço apontou a melhor resistência a flexão com valor de 0986 MPa e o menor valor de resistência foi da telha A com 0,0451 Mpa, que mesmo obtendo bons resultados ainda não ultrapassa a resistência de uma telha convencional.

Tabela 5 – Resultados da resistência à flexão.

Tipo de telha	Repetição 1 (MPa)	Repetição 2 (MPa)	Repetição 3 (MPa)	Média (MPa)
Telha A	0,0431	0,0509	0,0411	0,0451
Telha B	0,0725	0,0823	0,0686	0,0745
Telha C	0,1000	0,0980	0,0980	0,0986
Convencional	0,4900	0,0470	0,4900	0,0482

Fonte: próprios autores (2020)

O autor Izquierdo (2011), trabalhando com telhas com adição de fibras vegetais e também observou que o aumento da proporção de fibras vegetais contribui para o aumento da resistência da telha. As fibras operam como reforços criando dificuldades para formação de fissuras, absorvendo parte das solicitações garantindo uma capacidade resistente superior, as telhas com adição de fibras apresentam comportamento mais rígido à ruptura do que ocorreria sem a presença das fibras.

4.3 Teor de umidade do bagaço da cana-de-açúcar

A Tabela 6 mostra os resultados do teor de umidade para as três repetições realizadas, conforme esses resultados a média do teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar foram de 3,31%. Este valor segundo Feltes (2016), representa o teor de umidade, ou seja, a quantidade de água presente na amostra. De acordo com Dias (2004), a realização do ensaio de teor de umidade é necessária para que possa obter melhores resultados das amostras e definir quanto da umidade do bagaço interferir na umidade da telha. Para este experimento, o bagaço não interferiu nos resultados de absorção da telha independentemente da quantidade de agregado adicionado.

Tabela 6 – Teor de umidade do bagaço da cana-de-açúcar.

Teor de umidade (%)	
Repetição 1	2,71
Repetição 2	3,59
Repetição 3	3,63
Média	3,31

Fonte: próprios autores (2020)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de 75% do bagaço de cana-de-açúcar (Telha C) teve como consequência o aumento da resistência à flexão com um resultado de 0,0986 Mpa, apresentando o dobro de resistência comparada com as telhas fabricada apenas com papel e a convencional, a partir desses resultados comprovou-se como o bagaço foi fundamental para modificar a telha, proporcionando uma maior rigidez a telha de maior porcentagem. As telhas demonstraram um rendimento satisfatório em sua resistência mesmo não sendo fabricada industrialmente, porém não manteve o desempenho no ensaio de absorção de água.

Para trabalhos futuros sugere-se que o processo de compactação e impermeabilização da telha seja realizado utilizando outros métodos e materiais. Como impermeabilizantes de fácil manuseio e menores riscos, substituindo a pintura da telha pela imersão da mesma em um recipiente com o impermeabilizante assim todos os pontos conterá o impermeabilizante.

Com isso a mesma pode ser aplicada em locais que abrigam animais como por exemplo casas de cachorros, galinheiros e currais, sendo uma opção financeiramente melhor. A

implantação desta telha em residências fica comprometida, por não cumprir com as suas funções básicas, como reter a água da chuva, ocasionando transtornos a edificação. Com a utilização de outros impermeabilizantes que ofereçam bons resultados e evita a passagem de água, o uso da telha ecológica se torna viável em residências.

Trata-se, portanto, de um produto inovador e ecologicamente correto, que necessita de estudos para melhorias de alguns itens. A fabricação da telha de forma industrial trará grandes benefícios a mesma, pois assim será possível realizar de maneira precisa e uniforme tanto sua compactação quanto sua impermeabilização, possibilitando o desempenho exigido por norma no ensaio de absorção de água. A implementação da telha ecológica produzida com papel e bagaço de cana-de-açúcar irá gerar um destino apropriado para toneladas de rejeitos, reduzindo a poluição e contaminação do meio ambiente, promovendo o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. Disponível em: abrelpe.org.br/panorama. Acesso em: 03 maio 2020.

ARAUJO, D. C.; MORAIS, C. R. S.; ALTIDES, M. E. D. **Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares**. Campina Grande. (PB). 2008. Universidade Federal de Campina Grande. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br>. Acesso em 15 maio 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310: Componentes cerâmicos – Telhas – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

BARBOSA, P. **Potencial produtivo dos resíduos da cana-de-açúcar incentiva crescimento de biorrefinarias no setor subalcooleiro**. 2013. Disponível em: https://www.infobibos.com/Artigos/2013_2/sucroalcooleiro/index.htm. Acesso em 17 maio 2020.

BRASIL. MMA – Ministério do meio ambiente. **Construção Sustentável**. Disponível em: <http://mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/construcao-sustentavel.html>. Acesso em: 20 abr. 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Volume 6. Safra2019/2020. Brasil, 2019. Disponível em https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/26522_a59699997ccd7d2a58a5c9a29371b267. Acesso em 29 de out. 2020.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307/2002**. Disponível em https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf. Acesso em 12 mar. 2020.

DIAS, J F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo**. São Paulo. 2004. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-16122004130717/publico/JoaoFDias.pdf>. Acesso em 05 de novembro de 2020.

FELTES, M M C; ROSA A D; DORS G C; GONÇALVES L; GONZALEZ S L. **Procedimentos operacionais padronizados de bromatologia de alimentos**. Instituto Federal Catarinense – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Blumenau (SC). 2016. Disponível em <http://editora.ifc.edu.br/wp-content/uploads/33/2017/03/Livro-Bromatologia-Online-2016.pdf>. Acesso em 27 de out 2020.

IZQUIERDO, I S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós graduação em Engenharia de Estruturas, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-05042011-164738/pt-br.php>. Acesso em: 15 de nov. 2020.

JARDIM, P. R. S. A. **Desempenho térmico de coberturas: Um estudo comparativo entre as telhas de material reciclado, de fibra e betume, fibrocimento e cerâmica**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal (RN). 2011. Disponível em <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/12363>. Acesso em 16 de maio de 2020.

LAJE, A. D. B. **Patologias associadas a umidade soluções ao caso concreto**. Belo Horizonte.2012.Escola de Engenharia da UFMG. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/32442/1/Patologia%20Associadas%20a%20Umidade%20Corrigido.pdf>. Acesso em 15 dez. 2020.

LESSA, M. L. S. **Critérios de sustentabilidade para elementos construtivos – um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil**. Salvador. 2009. Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp123822.pdf>. Acesso em 29 abr. 2020.

LIGOWSKI, E; SANTOS, B. C; FUJIWARA, S. T. **Materiais compósitos a base de fibra de cana de açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão**. Universidade estadual do Centro Oeste – Unicentro – Guarapuava (PR). 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282015000100009&lng=pt&tlng=pt. Acesso em 08 de abril de 2020.

MAZUR, J. **Resíduos sólidos da construção civil e a logística reversa no canteiro de obras vinculados á saúde e segurança do trabalhador**. Curitiba. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: https://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3840/1/CT_CEEEST_XXIX_2015_17.pdf. Acesso em : 16 maio 2020.

NETO, L. C. X; MACHADO, V. E. M; MACHADO, V. E. M. **Alternativas sustentáveis com os resíduos**. São Paulo. 2018. Pontifca Universidade Católica de São Paulo. Disponível em: <https://pucsp.br/sites/default/files/download/bisus2018-vol2-alternativas-sustentaveis-com-os-residuos.pdf>. Acesso em 03 maio 2020.

OLIVEIRA, E. G; MENDES, O. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da resolução 307 do CONAMA**. Goiânia. 2008. Universidade Católica de Goiás. Disponível em: <https://mac.arq.br/wp-content/uploads/2016/03/estudo-de-caso-construtora-consciente.pdf>. Acesso em 16 maio 2020.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. São Carlos. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de

Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde16042007154420/publico/dissertacao.pdf>. Acesso em 19 mar de 2020.

SEPULVEDA, B; BARBOSA A. **Estudo da telha fibroasfáltica – papel reciclado com betume**. Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais – Curso de Engenharia Civil. Belo Horizonte (MG). 2005. Disponível em http://www.sbpcnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_2505.html. Acesso em 17 de mar de 2020.

SILVA, V. L. M. M; GOMES, W. C; ALSINA, O. L. S. **Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa absorvente na absorção de poluentes orgânicos**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande (PB). 2007. Disponível em <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/review/28/64>. Acesso em 10 de maio de 2020.

YOSHIMURA, K. S. O.; YOSHIMURA, H. N.; WIEBECK, H. **Avaliação do ciclo de vida de telha ecológica a base de papel reciclado**. Revista Eletrônica de Materiais e processos. 2011. Disponível em <http://www2.ufcg.edu.br/revistaremap/index.php/REMAP/article/viewArticle/308>. Acesso em 17 mar. 2020.