



Telha de Concreto: Adição de fibra derivada de bagaço de cana-de-açúcar

Gabriela Coral Vilpert (1), Elaine Guglielmi Pavei Antunes (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) gabriela_coral@hotmail.com, (2) elainegpa@unesc.net.

Resumo: O desenvolvimento sustentável está em pauta em diversas áreas da indústria principalmente na construção civil. Desta forma a procura por materiais alternativos com intuito de aproveitar materiais que são descartados, como por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar está em crescimento. Esta pesquisa tem como objetivo a utilização da fibra derivada do bagaço de cana em telhas de concreto como reforço. Estas fibras foram tratadas com o método de deslignificação alcalina. Inicialmente foram utilizadas com comprimentos diferenciados, de 20, 25 e 30 mm com 2 percentuais de adição em corpos de prova prismáticos, a fim de analisar qual combinação se adaptaria melhor na massa da telha. Após análise, adotou-se o comprimento de 25 mm e o percentual de 800 g/m³ adição. Foram fabricadas 11 telhas com adição das fibras e realizados os ensaios de ruptura à flexão, permeabilidade e estanqueidade do sistema de cobertura. No ensaio de flexão as 6 telhas com adição de fibra apresentaram valores de carga na ruptura menores que os obtidos nas telhas sem adição, porém o valor médio encontrado de 3,70 kN atende as especificações da NBR 13858-2: 2009. No ensaio de permeabilidade, 2 peças apresentaram vazamentos e no ensaio de estanqueidade do sistema de cobertura baseado na NBR 15575-5: 2013 não ocorreu vazamento após uma aspersão de água por 6 h.

Palavras-chave: Sustentabilidade; fibra vegetal; sistema de cobertura; artefatos de concreto.

Concrete Tile: Addition of fiber derived from sugarcane bagasse

Abstract: Sustainable development is on the agenda in several areas of industry, mainly in construction. In this way the search for alternative materials in order to take advantage of materials that are discarded, such as sugarcane bagasse, is growing. This research has the objective of using the fiber derived from sugarcane bagasse in reinforced concrete tiles. These fibers were treated with the alkaline delignification method. Initially they were used with different lengths of 20, 25 and 30 mm with 2 percent of addition in prismatic specimens, in order to analyze which combination would best fit the tile mass. After analysis, the length of 25 mm and the percentage of 800 g / m³ addition were adopted. Eleven sheets with fiber addition were fabricated and the tests of flexural rupture, permeability and water tightness of the covering system were carried out. In the flexural test, the 6 tiles with fiber addition showed lower burst load values than those obtained in the tiles without addition, but the average value of 3.70 kN meets the specifications of NBR 13858-2: 2009. In the test of permeability, 2 parts presented leaks and in the leakproofness test of the cover system based on NBR 15575-5: 2013 no leakage occurred after a sprinkling of water for 6 h.

Key-words: sustainability; vegetable fiber; coverage system; concrete artifacts.

Introdução

O desenvolvimento sustentável é definido como um modelo econômico, social, cultural e ambiental que visa satisfazer as necessidades das gerações atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras e é discutido por todas as áreas da indústria, sobretudo pela construção civil, já que é responsável por utilizar entre 14 a 50 % dos recursos extraídos no planeta (FIORITI, 2002). Para Izquierdo (2011) existe uma mudança de mentalidade da sociedade ou a necessidade de desenvolver materiais alternativos como caminho para sustentabilidade.

De acordo com Callister (2011), os materiais compósitos são formados pela mistura de dois ou mais materiais, sendo que suas características associadas são melhores que a dos materiais quando avaliados isoladamente. A incorporação de fibras no concreto é utilizada há décadas, com intuito de dificultar a propagação de fissuras o que pode ocasionar aumento de resistência mecânica nos materiais compósitos (BRIGIDO, 2016).

De acordo com Gram (1983) a investigação sobre as possibilidades do uso de fibras naturais orgânicas como reforço em placas finas de concreto iniciou no final da década de 60. Agopyan (1991) relacionou 19 fibras vegetais potencialmente úteis para a construção civil a partir das propriedades mecânicas, físicas e do tamanho do seu cultivo no Brasil.

Cresce o interesse em substituir as fibras sintéticas pelas de origem vegetal, principalmente às derivadas de vegetais que possuem abundância no país como, por exemplo, a fibra derivada do bagaço de cana-de-açúcar. Segundo dados do Conselho Nacional de Abastecimento (2017) a safra 2017/18 de cana-de-açúcar está estimada em 646,34 milhões de toneladas, e, por conseguinte torna esta fibra muito promissora por sua grande disponibilidade.

O sistema de cobertura tem papel fundamental nas edificações e possui função de assegurar a estanqueidade às águas pluviais, proteger os demais sistemas e contribuir no conforto térmico e acústico da habitação (NBR 15575-5, 2013). Estas funções, no entanto, dependem das propriedades dos elementos da cobertura. A partir disso o mercado oferece maior variedade de telhas compostas por diferentes materiais (PERALTA, 2006).

Segundo a NBR 13858-2: 2009 a telha de concreto é um componente para cobertura com forma essencialmente retangular, perfil geralmente ondulado composto de cimento, agregado, água, aditivos ou adições, fornecido na cor natural ou colorido pela adição de pigmento. Atualmente, a qualidade das telhas que são fabricadas no país e certificadas seguem

os padrões internacionais, e em algumas fábricas o processo é bastante rigoroso, tendo o controle de toda matéria-prima e do pós-produção (FERNANDES, 2017).

Dentro desta contextualização, a presente pesquisa propõe a análise da influência da adição de fibra derivada do bagaço de cana-de-açúcar em telhas de concreto. Para tal realizou-se ensaio de permeabilidade e de resistência à flexão de acordo com a NBR 13858-2: 2009 e verificação da estanqueidade do sistema de cobertura baseado na NBR 15575-5: 2013.

Materiais e métodos

A metodologia adotada nesta pesquisa é ilustrada a partir do fluxograma apresentado na Figura 1.

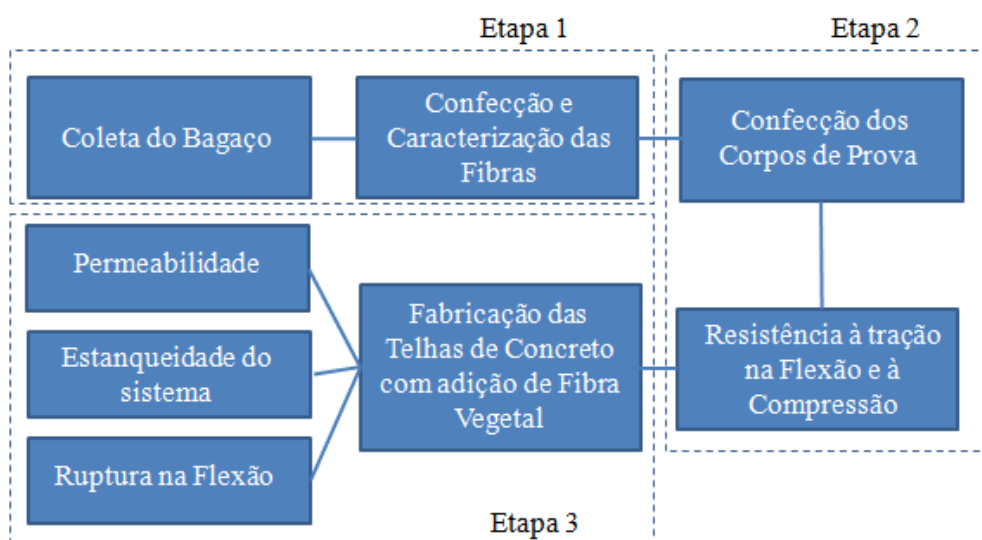


Figura 1. Fluxograma das etapas e subetapas.

A primeira etapa desta pesquisa refere-se à obtenção do bagaço de cana-de-açúcar, confecção das fibras vegetais e caracterização física das mesmas. A segunda etapa consiste na definição do comprimento e do teor de fibras a ser adicionada nas telhas de concreto. Para tal, realizou-se um estudo prévio através da produção de alguns traços que variavam entre si o comprimento das fibras e os teores de incorporação, a fim de verificar as diferentes propriedades mecânicas e facilidade da mistura no estado fresco.

Para isto foram confeccionados corpos de prova prismáticos com dimensões de 4x4x16 cm, baseados na NBR 13279: 2005, e realização de ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão. Baseado nos melhores resultados de resistência mecânica e facilidade

homogeneização definiu-se a quantidade de adição e o comprimento das fibras para incorporação na produção de telhas. Posteriormente, na terceira etapa, fez-se a inserção das fibras vegetais no processo industrial de fabricação da telha, para, por fim serem analisadas de acordo com a NBR 13858-2: 2009 e verificadas quanto a estanqueidade do sistema de cobertura baseado na NBR 15575-5: 2013.

A cana-de-açúcar é rica em celulose, hemicelulose e lignina. Estes três componentes representam a maior parte da sua massa vegetal, tendo ainda em sua composição proteínas, óleos vegetais e minerais. Esta composição de matérias faz com que ela possa ser utilizada como fibra de reforço (LOH et al, 2013).

Entre as vantagens da utilização deste material pode-se citar sua grande disponibilidade e o baixo consumo de energia em sua produção quando comparado a fibras sintéticas. No entanto, o bagaço de cana tem sua durabilidade comprometida por ser de origem vegetal, principalmente quando exploradas em matrizes cimentícias pelo seu caráter alcalino. Outro ponto a ser mencionado, é sua grande absorção de água que pode comprometer sua resistência, porém ambas características podem ser neutralizadas com tratamentos superficiais (IZQUIERDO, 2011).

Existe uma variedade de tratamentos que separam os constituintes do bagaço. O método a ser utilizado nesta pesquisa é baseado na deslignificação alcalina, baseado em Moubarick, Grimi e Bousseta (2013), e já utilizado por outros autores como De Pellegrin (2017), Tita, Paiva e Frollini (2002) e Gurgel (2007).

Este processo tem como objetivo o tratamento das fibras de celulose com solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), que remove um percentual de lignina, ceras e óleos que cobrem a superfície externa da fibra, assim aumenta-se a rugosidade e proporciona melhor aderência entre os materiais.

O bagaço utilizado na pesquisa tem como origem a região sul de Santa Catarina. O processo de obtenção das fibras vegetais se iniciou pela secagem do material a temperatura ambiente por 10 dias e posterior secagem na estufa com temperatura de 110°C durante 48 horas, na sequência foi cortado manualmente conforme medidas previstas. Após, deu-se início ao processo que tem como função a solubilização da hemicelulose e da lignina. O procedimento esta representado na Figura 2.

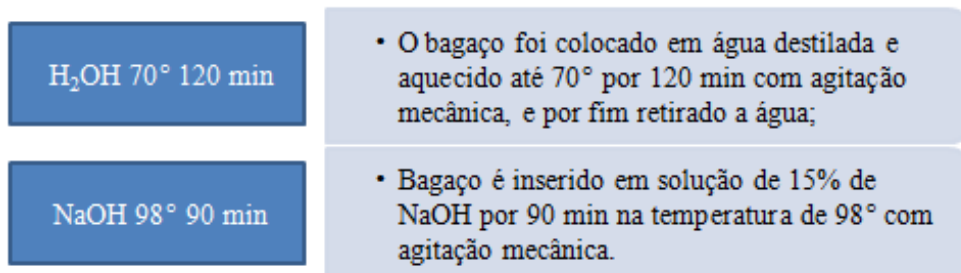


Figura 2. Fluxograma das etapas do processo de obtenção da fibra.

Depois de concluído este processo, as fibras obtidas foram lavadas com água em abundância e colocadas imersas em água à temperatura ambiente por 24 horas, e, por fim, mantidas em estufa por 48 horas a 30°C. A Figura 3 ilustra os processos realizados para obtenção das fibras.



Figura 3. Processos para obtenção da fibra: (a) bagaço seco, (b) bagaço cortado, (c) bagaço antes da inserção em ácido, (d) e fibras vegetais após secas em estufa.

Visando observar e analisar as fibras obtidas, foi realizado o ensaio de área superficial específica, conhecido por B.E.T., que foi obtido pela Quantachrome, modelo Nova 1200e. Neste ensaio, a amostra de fibra passou por um processo de desgaseificação com intuito de eliminar possíveis obstruções ou umidade adsorvida na superfície da partícula e posteriormente conduzida à temperatura constante em banho com nitrogênio líquido e submetido à pressão com nitrogênio gasoso. Além do B.E.T., foi realizada a microscopia óptica, utilizando o microscópio Olympus BX41M-LED, com ampliação de 50 vezes.

O possível aumento das propriedades mecânicas dos compósitos com adição de fibras depende do comprimento das mesmas e do seu percentual de adição. Colombo (2017) utilizou fibras de polipropileno e nylon, com adição de 500 a 1300 g/m³, em argamassa de revestimento com comprimentos de 12 e 11 mm, Tiscoski et al (2017) utilizou fibras de polipropileno em argamassa com 10mm de comprimento e adição de 500 a 1500g/m³, já De

Pellegrin (2017) utilizou fibra derivada de bagaço de cana de açúcar com tamanhos de 20 a 30mm em massa de telha de fibrocimento.

Com base nestas pesquisas, definiram-se os percentuais de adição e os comprimentos das fibras a serem inseridas no estudo prévio, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Características das amostras para fabricação dos corpos de prova.

Comprimento de fibra (mm)	Teor de incorporação (g/m ³ de concreto)
0	0
20	800
20	1000
25	800
25	1000
30	800
30	1000

O cimento utilizado é o Cimento Portland de alta resistência inicial, o CPV-ARI, que possui alta reatividade devido a sua formulação diferenciada de calcário e argila. Este tipo de cimento é recomendado para indústrias de artefatos de cimento, por auxiliar na rápida desforma e manuseio das peças (MURTA, 2016). Este segue os padrões da NBR 5733: 1991, e possui massa específica de 3,12 g/cm³ conforme especificações do fabricante.

O agregado miúdo empregado possui módulo de finura de 1,8, conforme a NBR NM 248: 2003, sendo classificado como areia fina. Esta possui massa unitária de 1615,70 kg/m³, NBR NM 45: 2009 e massa específica de 2,52 g/cm³, NBR NM 52: 2009.

Na mistura também foi utilizado o aditivo plastificante e impermeabilizante próprio para artefatos de concreto, que garante melhor acabamento, reduz eflorescência e auxilia no desmolde das peças, este segue especificações da NBR 11768: 2011. A água empregada em todas as etapas da pesquisa foi obtida diretamente da rede de abastecimento de água da concessionária local, de acordo com NBR 15900-1: 2009.

O traço utilizado, para a telha e para os corpos de prova prismáticos, trata-se de um traço comercialmente empregado na fabricação de telhas de concreto do modelo Coppo Venetto por empresa do ramo, localizada na região sul de Santa Catarina, sendo ele 1: 4,93: 0,48 (cimento, areia e água) e ainda uma adição de 0,04% de ativo plastificante e impermeabilizante.

A confecção dos corpos de prova prismáticos com dimensões 4x4x16 cm, foi realizada conforme especifica a NBR 13279: 2005. Para moldagem destes, houve a necessidade da retirada da massa do misturador a fim de que as fibras fossem adicionadas aos poucos,

facilitando assim a homogeneização manual. Após esta mistura, seguiu-se a compactação manual em três camadas.

Com o objetivo de se assemelhar com o tempo de cura adotado pela indústria, após nove dias, todos os corpos de prova foram rompidos. Para a realização do ensaio de tração na flexão, utilizou-se uma prensa hidráulica EMIC DL10000, e para o ensaio de tração à compressão axial a prensa hidráulica EMIC SSH200.

O processo industrial para fabricação de telhas é realizado em três etapas: a mistura dos materiais, a extrusão e a cura das peças em estufa. O equipamento utilizado para a extrusão contínua da telha é o modelo CARPER 20560 que produz até 50 telhas por minuto, com capacidade de 40 kg de massa na caixa de extrusão e pressão de 20 t em cada telha extrusada conforme informações do fabricante.

Como todo o processo visa alcançar alta produtividade, para inserir as fibras no misturador da fábrica teria que ser produzida uma quantidade superior a 100 telhas, por esta razão para viabilidade desta pesquisa, alguns processos foram adaptados. Como a homogeneização das fibras, que após retirada da massa do misturador padrão da fábrica, foi realizada manualmente e apenas na quantidade necessária para a produção de 11 telhas.

Após a pré mistura manual e espalhamento das fibras na massa, o compósito foi inserido na máquina de extrusão manualmente. Nesta etapa o equipamento mistura a massa que é extrusada na forma com desmoldante, e por fim cortada pneumaticamente no tamanho especificado pela norma, estes processos podem ser visualizados na Figura 4.

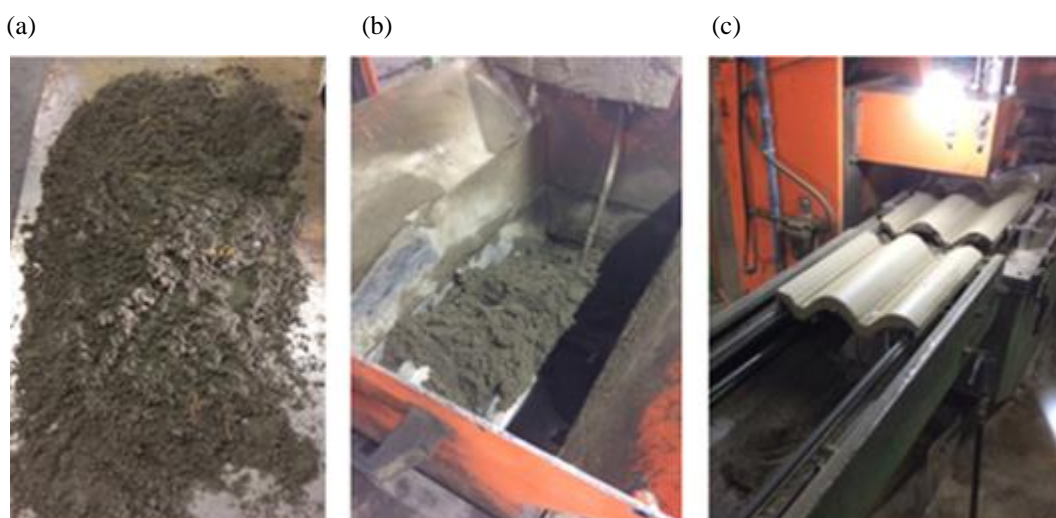


Figura 4. Processos de fabricação das telhas: (a) fibra sendo misturada a massa, (b) massa antes de ser prensada, (c) e telhas ao fim do processo.

Após as telhas saírem do equipamento, foram retiradas das formas e colocadas para cura em temperatura ambiente. O teste de permeabilidade realizado nesta pesquisa ocorreu de acordo com as diretrizes da NBR 13858-2: 2009, que utiliza como princípio o exame visual da passagem de água através da telha, a partir da face superior submetida a uma lâmina de água. Este ensaio foi realizado em 6 telhas com adição de fibra vegetal.

Para o requerido ensaio utilizou-se de caixa horizontal impermeável, com dimensões adequadas para comportar a telha e a lâmina de água com vedação das laterais. A lâmina de água foi mantida por 24 horas a temperatura ambiente, com intuito de observar vazamentos e/ou formação de gotas aderentes na face inferior das telhas. O ensaio pode ser visualizado na Figura 5.

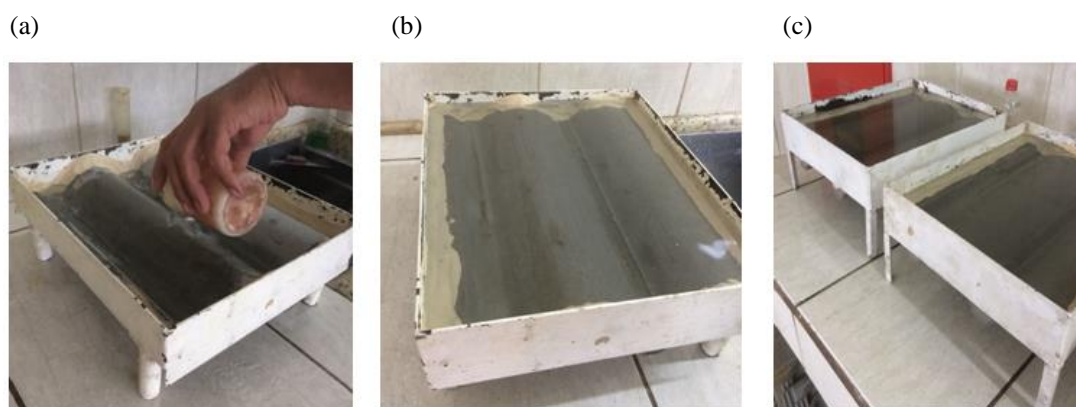


Figura 5. Verificação da permeabilidade: (a) telha posicionada recebendo água, (b) telha com 20 mm de água em sua superfície, (c) telhas após 12 h de ensaio.

Após o teste de permeabilidade, as telhas foram submetidas ao ensaio de estanqueidade do sistema. As mesmas foram introduzidas em um protótipo de telhado com a inclinação de 30° ao ar livre para que pudesse sofrer com as ações das intempéries locais, além disto, houve uma aspersão de água em diferentes direções pelo período de 6 horas.

Esse procedimento é baseado no ensaio de estanqueidade da NBR 15575-5: 2013, anexo D, e tem como objetivo observar o aparecimento de vazamentos, escorrimentos ou manchas de umidade na face inferior da cobertura e escorregamento das telhas após a aspersão da água. O protótipo do telhado pode ser visualizado na Figura 6 (a) e as telhas posicionadas com aspersão de água na Figura 6 (b).

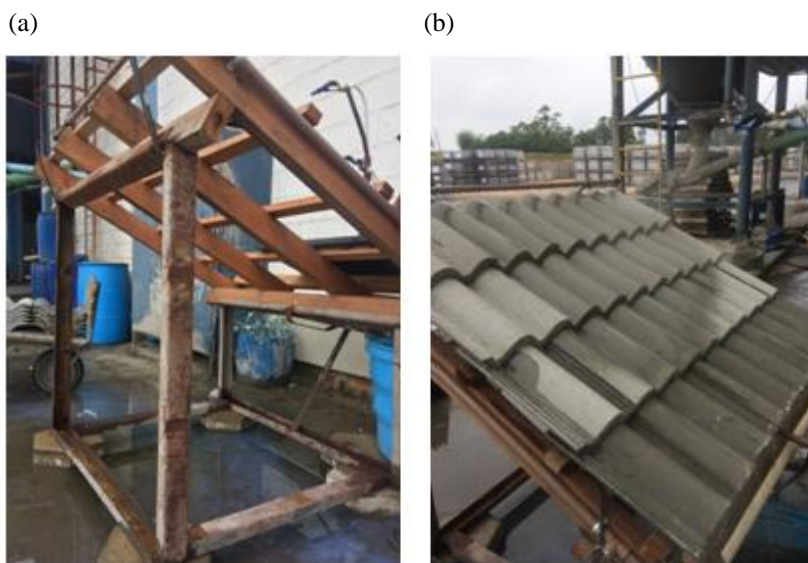


Figura 6. Ensaio de estanqueidade do sistema de cobertura: (a) estrutura semelhante à estrutura de um sistema de cobertura, (b) telhas posicionadas e recebendo água.

E, por fim, o ensaio de ruptura à flexão das telhas ocorreu 28 dias após a confecção das peças, conforme as especificações da NBR 13858-2: 2009, utilizando-se 6 telhas para este ensaio. As peças ficaram imersas em água a temperatura ambiente por 24 horas antes do ensaio para simular a pior situação de exposição das peças. Foram ensaiadas também 6 telhas comercializadas pela empresa com o mesmo tempo de cura, a fim de realizar análise comparativa entre os resultados. Para o ensaio as telhas foram bi-apoiadas e receberam a carga através de uma barra de aço articulada posicionada transversalmente na peça.

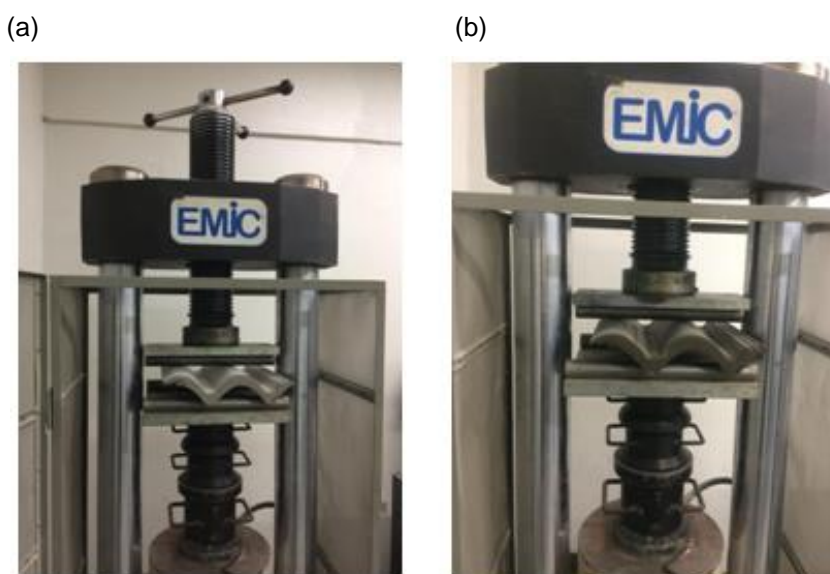


Figura 7. Ensaio de ruptura à flexão: (a) ensaio da telha referência; (b) ensaio da telha com adição de fibras.

Para determinação da carga de ruptura foi utilizada a prensa hidráulica modelo EMIC PC200 I com aplicação de carga centralizada, progressiva e sem golpes. Para que as telhas estejam de acordo com a norma, não se deve encontrar valores menores que 2400N para carga de ruptura à flexão.

Os resultados dos ensaios das propriedades mecânicas realizados nesta pesquisa passaram por análise estatística de variância (ANOVA), a fim de analisar se estes resultados possuem diferenças significativas com confiabilidade de 95%.

Resultado e discussões

Com o ensaio de área superficial específica – B.E.T. obteve-se o resultado de 0,223 m² por grama de fibra, e através do ensaio de V.T.P. (Porosimetria), observou-se um volume total de poros de 4,17e-4 cc por grama e P/Po de 0,9817. As imagens obtidas pela microscopia óptica podem ser observadas com um aumento de 50 vezes na Figura 8.

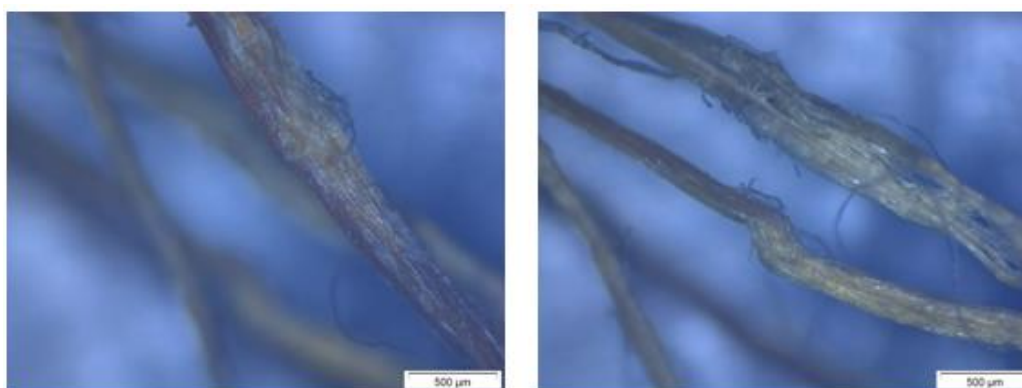


Figura 8. Microscopia óptica da fibra vegetal.

As imagens microscópicas das fibras apresentaram multifilamentos de fibras em sua formação, alguns destes apresentam descontinuidade e formação de poros, as imagens obtidas se assemelham as encontradas por De Pellegrin (2017) que utilizou o mesmo processo para o tratamento de fibras derivadas do bagaço de cana-de-açúcar.

A natureza da fibra e o comprimento irregular dos multifilamentos e o comprimento da fibra irregular, por ter sido cortada manualmente, podem ser fatores que dificultaram a boa distribuição das fibras e a homogeneidade do material dentro do compósito, além de absorção de água pela fibra devido aos poros presentes em sua estrutura, como pode ser visualizado na Figura 8.

Na moldagem dos corpos de prova houve dificuldade de homogeneização destas fibras e compactação da massa, e pode ter sido resultado da baixa relação de água/cimento utilizada na massa das telhas, já que no processo industrial a compactação ocorre mecanicamente e este baixo índice não influencia diretamente no resultado.

Os dados obtidos no ensaio de tração na flexão são demonstrados no gráfico de barras da Figura 9.

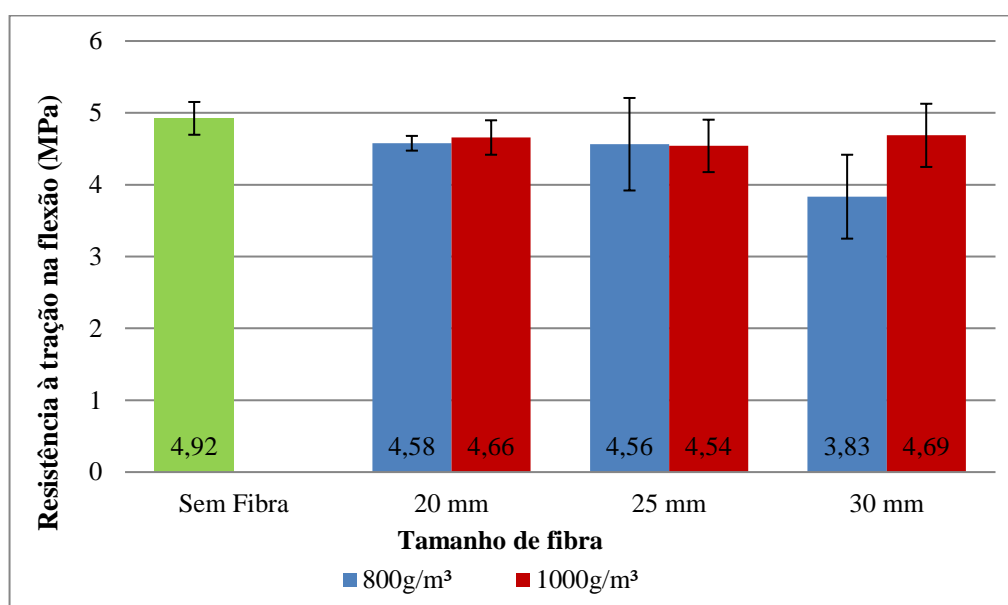


Figura 9. Resultados da resistência à tração na flexão.

A partir da realização da ANOVA, pode-se concluir que não há diferença significativa entre as amostras, seja relacionando os percentuais de adição, quanto para o comprimento das fibras. No entanto, percebe-se pelo gráfico, uma redução da média de resistência de tração na flexão nos corpos de prova com adição de fibras em relação ao corpo de prova sem adição, conforme Carvalho et al (2016) este resultado pode estar associado a maior absorção de água e problemas na compactação da massa durante a confecção dos elementos.

Em comparação com os resultados obtidos com De Pellegrin (2017), Carvalho et al (2016), Izquierdo (2011) que também utilizaram fibras vegetais em elementos cimentícios, os resultados com redução de resistência a flexão foram muito semelhantes. Cabe salientar que nesta pesquisa de acordo com a ANOVA não houve diferença entre as amostras.

Além da verificação dos resultados obtidos no ensaio, foi analisado o módulo de ruptura dos corpos de prova. Pode-se observar uma grande diferença entre os corpos de prova com adição de fibras e os corpos de prova sem as fibras. Na amostra sem adição após a

ruptura uma trinca com abertura superior a 15 mm pode ser observada, enquanto nas outras amostras se pode visualizar apenas pequenas fissuras após sua ruptura.

Ainda em relação aos corpos de prova, após o ensaio tração na flexão foi realizado o ensaio de resistência à compressão, os resultados podem ser observados no gráfico da Figura 10.

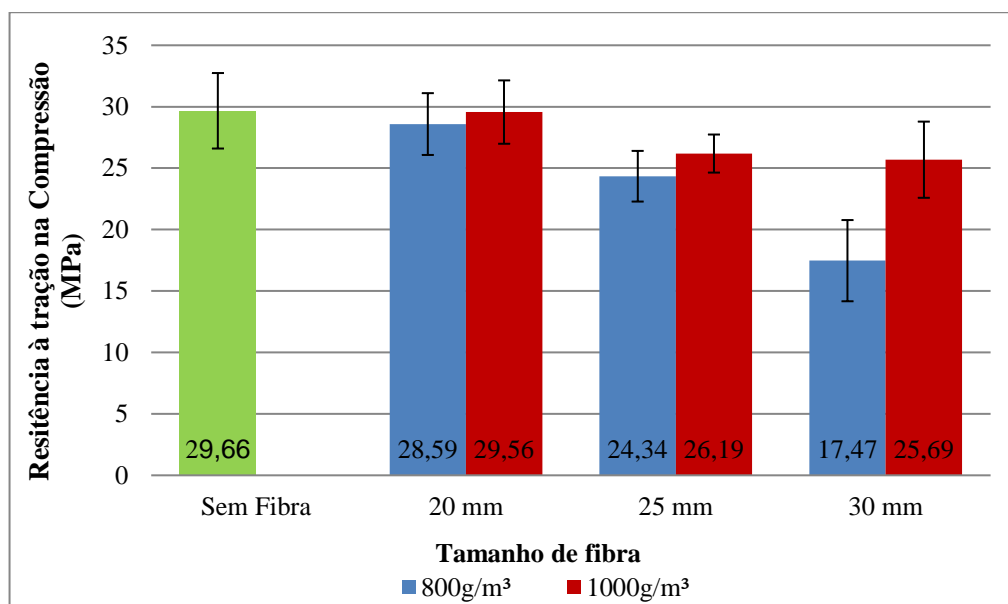


Figura 10. Resultados da resistência à tração na compressão.

Em relação aos comprimentos de fibra e os percentuais de adição, conclui-se através da ANOVA que existe diferença significativa entre as médias, o que indica que as duas variáveis influenciam diretamente no resultado do ensaio. Ainda de acordo com análise estatística, pode-se concluir que em relação à média encontrada para os corpos de prova sem adição de fibras, as duas adições com tamanho de 20 mm não possuem diferença desta, já as adições com outros tamanhos de fibra, possuem diferença significativa da média das amostras sem adição de fibra.

Tal diferença pode ser explicada pela dificuldade de compactação da massa. A redução de resistência à compressão acompanhou o comprimento das fibras, comparando com os resultados obtidos de Borges (2017) e Silva (2009), a redução observada nesta pesquisa se assemelha com os resultados encontrados por estes dois autores. A dificuldade encontrada na moldagem, compactação e as características físicas da própria fibra são alguns dos fatores que podem ter auxiliado na redução de resistência à compressão (BORGES, 2017).

Com base nos resultados do ensaio de tração por flexão e compressão realizado nos corpos de prova prismáticos, de acordo com a NBR 13279: 2005 e também pela maior facilidade da homogeneização da mistura, adotou-se o tamanho de fibra de 25 mm para fabricação das telhas e o percentual de adição, de 800g/m³ que por ser o menor percentual apresenta maior facilidade de incorporação.

As telhas obtidas nesta pesquisa apresentaram diferenças estéticas das comercializadas na empresa. A diferença de coloração pode ser um item a ser mencionado, sendo que, a comercializada tem uma tonalidade mais clara. Esta diferença pode ser explicada pela homogeneização da massa, como pode ser visualizado na Figura 11 (a).

O acabamento da telha ocorre quando a telha passa pelo processo de extrusão, através do alisamento da superfície da peça. Nesta etapa algumas fibras se prenderam no orifício do equipamento fator que ocasionou linhas de falhas no acabamento conforme pode ser visualizado na Figura 11 (b).

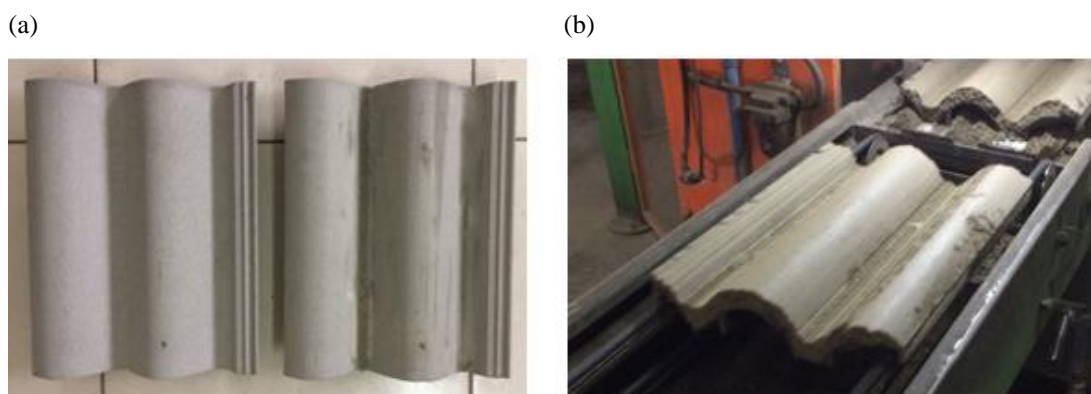


Figura 11. Resultado estético: (a) comparação tonalidade, telha esquerda comum e da direita com inserção de fibras, (b) defeito no perfil acarretado pelas fibras.

Para os ensaios de permeabilidade e ruptura a NBR 13858-2: 2009 exige que em todos os testes realizados nas telhas, para a primeira amostragem ser aprovada, de 6 telhas ensaiadas e apenas uma unidade pode apresentar resultados incompatíveis com a norma.

No ensaio de permeabilidade, após as 24 h de exposição da peça a lâmina de água, pode-se observar que 2 delas apresentaram vazamentos em sua face inferior após um período de 3 horas. Habitualmente, na empresa as telhas ensaiadas costumam apresentar defeitos em até 15 minutos após este tempo sem apresentar vazamentos e/ou manchas considera-se atendido tal critério.

O gotejamento na superfície inferior das telhas aconteceu nos locais onde haviam as falhas derivadas da adição de fibras no processo de fabricação, locais estes, onde houve acúmulo de fibras, e portanto, uma compactação inadequada. De acordo Henriques et al (2014) os acúmulos e a natureza hidrofílica da fibra de celulose facilitam a passagem de água durante a realização do ensaio. Para que se pudesse chegar a um resultado confiável seria necessário a realização do ensaio em outras 6 peças com adição de fibra.

No ensaio de estanqueidade do Sistema de Cobertura, após um período de 10 horas (6 horas de aspersão e 4 horas sem aspersão), nenhum gotejamento ou mancha foi observado na superfície inferior dos artefatos de concreto.

Por fim, foram realizados os ensaios de resistência à flexão, de acordo com as especificações na norma regulamentadora de telhas de concreto. Os valores de carga de ruptura estão expressos da Tabela 2 conforme requisito de apresentação dos resultados da NBR 13858-2: 2009.

Tabela 2. Resultado do ensaio de ruptura à flexão.

Cargas de ruptura obtidas no ensaio (Newton)						
	1° telha	2° telha	3° telha	4° telha	5° telha	6° telha
Referência	3400	4500	4300	4700	3500	3600
Com fibra	3600	4100	3600	3400	3900	3600

E os resultados das médias e dos desvios padrão de cada amostra para a carga de ruptura à flexão podem ser observados na Figura 12.

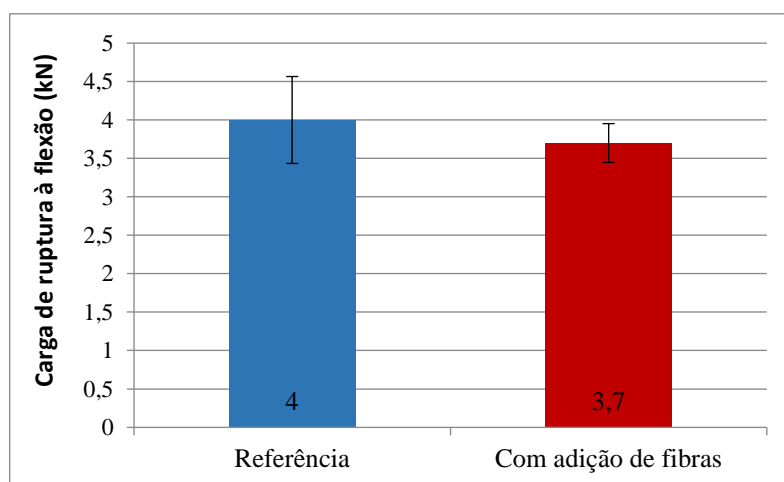


Figura 12. Resultados da carga de ruptura à flexão.

A partir dos valores encontrados verificou-se que em ambas as telhas superaram o valor mínimo exigido pela NBR 13858-2: 2009 para carga de ruptura à flexão de 2400 N. Porém nota-se no gráfico da Figura 12, que a média encontrada nas telhas com fibra é inferior à média do traço de referência mesmo estatisticamente serem consideradas iguais. A redução da carga de ruptura seguiu a tendência observada nos corpos de prova e se assemelha a pesquisa de Savastano (2000) que utilizou diferentes fibras vegetais em telhas de concreto.

Henriques (2014) que utilizou fibras vegetais em telhas de fibrocimento e Carvalho et al (2016) que utilizou fibra de sisal em blocos de concreto também chegaram a valores de carga de ruptura à flexão menores que os dos traços de referência. Os resultados apresentados seguem uma tendência de resultado nas propriedades mecânicas do concreto com adição de fibras, principalmente em relação às fibras vegetais que apresentam grandes variações em suas propriedades (BORGES, 2017).

Além da análise dos resultados do ensaio de flexão, foi verificado o modo de ruptura das duas telhas que pode ser observado na Figura 13.

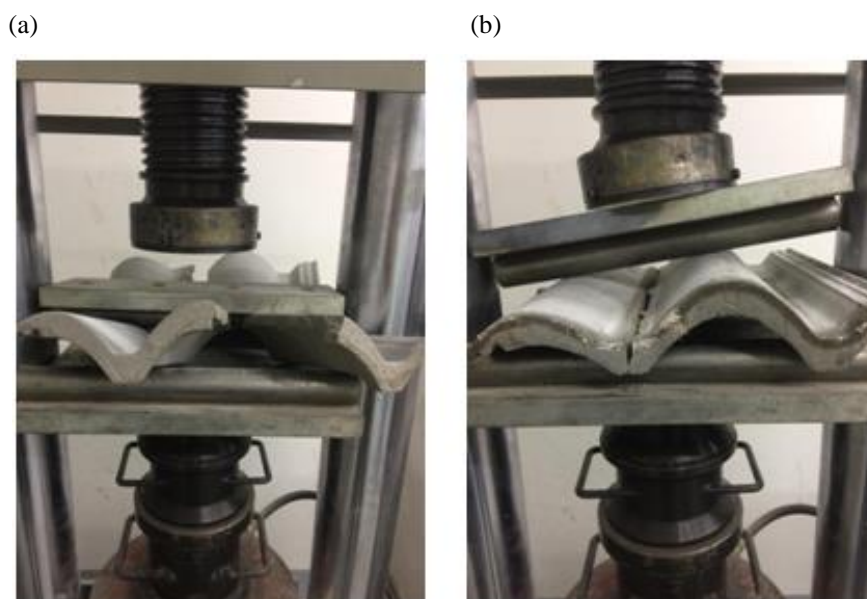


Figura 13. Modo de ruptura das telhas: (a) telha referência, (b) telha com adição de fibras.

Pode se notar uma diferença expressiva no modo de ruptura das telhas. Na telha sem adição pode-se perceber a ruptura em vários sentidos da peça enquanto na telha confeccionada com fibras a ruptura nas peças se deu no ponto onde havia a falha derivada do processo de fabricação.

Esta mudança no modo de ruptura pode ser explicada pela adição das fibras, uma vez que o material passa a ter um comportamento menos frágil que as peças de referência, isso ocorre pelo fato das fibras servirem como ponte de transferência de tensões, pois ocorre uma redução da velocidade de propagação das fissuras que passa a ter um comportamento pseudodúctil (MEDEIROS, 2012).

Conclusões

Por meio de análise comparativa entre os resultados obtidos foi possível verificar que:

- ✓ No processo de escolha do tamanho e percentual de adição das fibras através dos ensaios em corpos de prova, pode-se concluir que ambas variáveis impactam na homogeneização e compactação da mistura, porém entre as duas variáveis o tamanho de 25 mm e adição de 800 g/m³ de concreto, foram as que apresentaram melhores resultados para resistência à tração na flexão e compressão e facilidade de mistura na massa;
- ✓ As dificuldades encontradas para inserção da fibra nas telhas e os defeitos apresentados pelas mesmas demonstram que o processo produtivo precisaria de alterações para receber a inserção de fibras;
- ✓ No teste de permeabilidade, como houve o gotejamento na parte inferior de 2 peças não se pode concluir sua impermeabilização, somente se pode obter resultados confiáveis com a análise de uma segunda amostragem de mais 6 peças com adição de fibra vegetal;
- ✓ Os resultados encontrados no ensaio de estanqueidade do sistema de cobertura demonstram que se utilizada, as telhas com adição de fibras vegetais possivelmente não apresentariam vazamentos, manchas ou deslocamentos;
- ✓ No teste de flexão os valores encontrados se assemelham com diversas pesquisas com fibras vegetais, que por serem irregulares acarretam a diminuição do valor de resistência a flexão, porém mesmo com esta redução todas as peças tiveram valores superiores para a carga de ruptura exigida pela norma;
- ✓ Pode-se concluir com os corpos de prova e com as telhas fabricadas nesta pesquisa, que as fibras influenciaram no modo de ruptura nos elementos cimentícios, podendo se

observar a diminuição da velocidade de propagação das fissuras e um comportamento pseudocúctil;

- ✓ Apesar das dificuldades encontradas para homogeneização das fibras vegetais em meio cimentício, a tendência de utilização de matéria prima vegetal é uma necessidade no mundo atual;
- ✓ Como sugestão para pesquisas futuras, se indica a utilização de fibras em comprimentos menores com diferentes percentuais de adição, em outros meios cimentícios, como elementos estruturais e argamassa de assentamento.

Referências Bibliográficas

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais.** 1991, 204 f. Tese (Livre-Docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45:** Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52:** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217/87 NM 248:** Determinação da composição granulométrica de agregados. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733:** Cimento Portland com alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768:** Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de parede e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858-2:** Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5:** Edificações habitacionais – desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto – Parte 1: Requisitos.** Rio de Janeiro, 2009.

BORGES, A. P. S. N. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso e paredes estruturais.** 2017, 90f. Dissertação (Mestrado) Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BRIGIDO, J. S. **Estudo do efeito da macrofibra de polietileno e microfibra de polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto geopolimérico.** 2016, 15 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

CALLISTER, J.; WILLIAN, D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 7ª edição. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2011. 724 p.

CARVALHO, R. R. C., NETO, G. C., CANDIDO, V.S. Utilização de fibra de sisal com agente de reforço em matriz cimentícia para fabricação de blocos de concreto. In: 60º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA. 2016, Águas de Lindoia, **Anais...** São Paulo, 2016.

COLOMBO, F. S. **Análise das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimento com a incorporação de fibras de polipropileno e nylon.** 2017. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção brasileira de cana-de-açúcar pode chegar a 646 milhões de toneladas.** Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/imprensa-noticia.php?id=45073>>. Acesso em: 26 de agosto de 2017.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria.** 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado) Curso de pós-graduação de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

GRAM, H. E. **Durability of natural fibres in concrete.** Relatório da Swedish Cement ad Concrete Research Institute, 225 p, 1983.

HENRIQUES, J. D. de O.; RAMBALDUCCI, T. C. PIN. V. V.; FRECHIANI, F. P. P. Avaliação da viabilidade técnica de produção de telha de fibrocimento usando fibras alternativas. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2014, Florianópolis. **Anais...** Santa Catarina, 2014.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** 201. 128 f. Dissertação (Mestrado) Curso de pós-graduação de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

LOH, Y., et al. **Sugarcane bagasse – The future composite material: a literature review.** Resources, Conservation and Recycling, (2013).

MEDEIROS, A. **Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras.** 2012, 201f. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MURTA, D. T. S. **Telhas de concreto: Uma análise da fabricação com adição de EPS.** 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado) Curso de pós-graduação em processos construtivos, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Belo Horizonte, 2016.

MOUBARIK A., GRIMI N., BOUSETTA N. **Structural and thermal characterization of Moroccan sugar cane bagasse cellulose fibers and their applications as a reinforcing agent in low density polyethylene.** Composites: Part B (2013).

PELLEGRIN, M. Z. **Desenvolvimento de um compósito argamassa/celulose de cana-de-açúcar.** 2017. 93 f. Dissertação (Mestrado) Curso de pós-graduação de engenharia de materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017.

PERALTA, G. **Desempenho térmico em telhas: análise de monitoramento e normalização específica.** 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) Programa de pós-graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006.

SILVA, F. A. **Durabilidade e propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal.** 2009, 243 f. Tese (Doutorado) Curso de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

TISCOSKI, B. L.; ANTUNES, E. G. P.; VITO, M.; GODINHO, D. S. S.; CEMIN, G. Efeito da adição de fibras de polipropileno na resistência de aderência à tração em argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo: GT Argamassas, 2017.

TITA, S., DE PAIVA, J., FROLLINI, E. **Resistência ao impacto e outras propriedades de compósitos lignocelulósicos:** Matrizes termoficas fenólicas reforçadas com fibras de bagaço de cana-de-açúcar. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol 12, nº 4, p. 228-239, 2002.