



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**ESTUDO DE PLACAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO DE  
ACETATO DE CELULOSE**

Lidiane Zardini Costa

**Uberlândia – MG**

**2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE PLACAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO DE  
ACETATO DE CELULOSE**

Lidiane Zardini Costa

Orientadora: Profa. Dra. Leila  
Aparecida de Castro Motta

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Engenharia  
Civil da Universidade Federal de  
Uberlândia como requisito parcial  
para obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil

**Uberlândia - MG**

**2021**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria de agradecer a Deus por me capacitar e me dar forças para vencer todos os desafios que tive para concluir não só este trabalho, mas também toda a minha graduação.

Também gostaria de agradecer aos meus pais, Marina e Wemerson, minha irmã, Livia, a minha cachorra, Belezinha, e meu namorado, Rodrigo, pois foram eles que sempre me incentivaram a sempre ir além do que eu me julgava capaz e me deram todo amor e apoio necessários para que eu conseguisse chegar até aqui.

À professora Leila, que tanto contribuiu na minha formação acadêmica, de forma paciente, me guiando por toda essa jornada, me instruindo e acreditando no meu potencial.

À todos os meus colegas e amigos, Isabella, Gustavo, Wirley e em especial a Maria Paula, que dividiu comigo todas as tristezas, alegrias e dificuldades ao longo da execução deste trabalho e também ao longo de toda a minha graduação, sendo de grande importância para a minha formação profissional e pessoal.

Também agradeço a todos aos técnicos e professores da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia que me instruíram de forma atenciosa, sendo meu alicerce durante todos esses anos.

Enfim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma me deram apoio e incentivo, para que eu conseguisse realizar este sonho e finalmente concluir esta etapa da minha vida.

## RESUMO

Os resíduos provenientes da fabricação do cigarro são em sua maioria prejudiciais ao meio ambiente, principalmente se descartados de forma inadequada ou quando incinerados. A maioria dos filtros de cigarro são produzidos utilizando o acetato de celulose, e esse material pode levar até 18 meses para ser decomposto em condições normais (MOHAJERANI; KADIR; LAROBINA, 2016). Com o objetivo de dar a esse resíduo uma aplicação, o presente trabalho o incorporou em uma matriz cimentícia, composta de cimento Portland e água, para avaliar a potencialidade do acetato como reforço da pasta, uma vez que o acetato de celulose apresenta-se com aspecto das fibras poliméricas usadas convencionalmente na construção civil. Sendo assim, variaram-se o teor e o comprimento das fibras (resíduo), de forma a analisar o impacto dessas variáveis no índice de vazios e absorção de água dos compósitos e também nas propriedades mecânicas quando ensaiados à flexão. Como resultado, ambas as variáveis se mostraram significativas para a tenacidade e apenas o teor de fibras se mostrou significativo para o módulo de elasticidade. Para as demais propriedades analisadas percebeu-se que nenhuma das variáveis influencia de forma significativa. A incorporação do resíduo em maior teor e comprimento, 10% e 12cm, respectivamente, resultou em aumento de 681% na tenacidade, comparada ao valor obtido para o menor teor e comprimento (3% e 3cm), comprovando que as fibras de acetato de celulose residuais reforçam eficazmente a matriz.

**Palavras-chave:** Matriz cimentícia. Acetato de celulose. Resíduo. Propriedades mecânicas. Fibras.

## ABSTRACT

Waste from cigarette making is mostly harmful to the environment, especially if disposed of improperly or incinerated. Most cigarette filters are produced using cellulose acetate, and this material can take up to 18 months to be decomposed under normal conditions (MOHAJERANI; KADIR; LAROBINA, 2016). To give this residue an application, the present work incorporated it into a cement matrix, composed of Portland cement and water, to evaluate the potentiality of acetate as reinforcement of the matrix, since cellulose acetate presents the appearance of polymer fibers conventionally used in civil construction. Thus, the content and length of the fibers (residue) were varied to analyze the impact of these variables on the void index and water absorption of the composites and also on the mechanical properties when tested at bending. As a result, both variables were significant for toughness and only the fiber content was significant for the modulus of elasticity. For the other properties analyzed, it was noticed that none of the variables significantly influences. The incorporation of the residue in higher content and length, 10% and 12cm, respectively, resulted in an increase of 681% in the tenacity, compared to the value obtained for the lowest content and length (3% and 3cm), proving that the residual cellulose acetate fibers effectively reinforce the matrix.

**Keywords:** Cementitious matrix. Cellulose acetate. Cigarette. Mechanical properties. Fibers.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	5
1.1 Justificativa .....	5
1.2 Objetivo .....	5
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	6
2.1 Matriz cimentícia de cimento Portland .....	6
2.2 Adição de acetato de celulose .....	6
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	9
3.1. Caracterização dos materiais .....	9
3.2. Planejamento experimental .....	10
3.3. Dosagem, preparo e moldagem dos corpos de prova .....	12
3.4. Ensaios .....	16
3.4.1 Flexão .....	16
3.4.2 Absorção de água .....	17
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	18
4.1 Módulo de Ruptura .....	19
4.2 Módulo de elasticidade .....	22
4.3 Tenacidade .....	25
4.4 Absorção de água .....	28
4.5 Índice de vazios .....	31
<b>CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36



## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Justificativa**

Segundo a Euromonitor Internacional, em 2013, foram produzidos aproximadamente 5,7 trilhões de cigarros no mundo e estima-se que este número aumente em mais de 50% até 2025, devido ao crescimento populacional (MOHAJERANI; KADIR; LAROBINA, 2016).

Os resíduos provenientes da fabricação do cigarro são em sua maioria prejudiciais ao meio ambiente, principalmente se descartados de forma inadequada. Na empresa Souza Cruz, fornecedora do acetato de celulose utilizado neste trabalho, parte dos filtros não aceitos pela qualidade já tem aplicações como nos produtos Fibromulch® e Terramulch®, produzidos e comercializados pela empresa Conspizza soluções ambientais (CONSPIZZA, 2021).

Uma outra aplicação sustentável deste material residuário de empresas produtoras de cigarro, seria a utilização das fibras de acetato de celulose para a produção de compósitos cimentícios, buscando reforço na frágil matriz cimentícia quando submetida a tensões de tração.

### **1.2 Objetivo**

O objetivo principal deste Trabalho de Conclusão de Curso foi analisar o desempenho os filtros de acetato de celulose descartados na produção de cigarros como reforço de pastas de cimento. Ademais, havendo um número reduzido de trabalhos que avaliem esta mistura, espera-se que o trabalho contribua para o avanço de estudos envolvendo a adição de acetato de celulose em matriz cimentícia e a outras matrizes na construção civil.



## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Matriz cimentícia de cimento Portland**

“Cimento, no sentido geral da palavra, pode ser descrito como um material com propriedades adesivas e coesivas que o fazem capaz de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta” (NEVILLE, 2016, p. 01).

A fabricação do cimento Portland é feita pela moagem e homogeneização dos materiais constituintes, seguido pela queima em fornos rotativos, formando o que é chamado de clínquer, que depois de resfriado adiciona-se sulfato de cálcio que é moído até se tornar um pó muito fino que então é ensacado para ser utilizado para a produção de pastas, concretos e argamassas. (NEVILLE, 2016).

Segundo Reganati (2020) a ideia de matriz cimentícia surgiu no império romano, por volta de 400 A.C e era constituído por cal hidratada e cinza vulcânica, que após o contato com a água resultava em um aglomerante endurecido, mas em 1824 Joseph Aspdin deu um grande salto para o desenvolvimento com a descoberta de um material que era composto de argila e calcário moído queimado em altas temperaturas, o que hoje é conhecido como cimento Portland, e com essas e muitas outras descobertas chegou-se às matrizes cimentícias como conhecidas hoje.

A matriz cimentícia escolhida foi a pasta (mistura de água e cimento Portland), pois para o processo de moldagem dos corpos de prova simulou-se o processo Hatschek para moldagem de fibrocimento, o qual necessita de misturas sem agregados e fluídas.

### **2.2 Adição de acetato de celulose**

Em estruturas que não apresentam esforços concentrados, o reforço com fibras se torna mais vantajoso do que a utilização da armadura convencional, uma vez que as fibras se distribuem aleatoriamente por todo material, reforçando toda a peça e não apenas uma região específica, permitindo melhor ponte de transferência de tensões nas fissuras (FIGUEIREDO, 2011).

A adição de fibras nos concretos e argamassas é muito utilizada pois tem como função principal reduzir o aparecimento de fissuras originadas pela retração plástica de misturas cimentícias. A necessidade de aplicação depende do tipo de obra, normalmente as fibras

são utilizadas quando pode ocorrer fissuração acima dos limites normativos ou ainda quando a fissuração do material é muito prejudicial à durabilidade, como por exemplo na construção de reservatórios.

É notório, no contexto atual, que a construção civil também é responsável por parte dos problemas ambientais enfrentados no mundo, com isso o presente trabalho estuda a possibilidade da substituição das fibras convencionais por acetato de celulose, sendo este um resíduo da fabricação de cigarros.

O acetato de celulose é produzido pela substituição dos grupos hidroxila das unidades de glicose por grupos acetila, sendo um polímero neutro, com capacidade de formação de filmes transparente, de baixo custo sendo o derivado da celulose com maior importância comercial (CERQUEIRA, 2010).

Durante o período de decomposição do acetato de celulose ele pode lixiviar metais pesados e produtos químicos tóxicos para o meio ambiente. Embora os possíveis métodos de eliminação de resíduos de cigarro coletados incluem incineração e aterro sanitário, ambos podem resultar na liberação de vapores perigosos e possuem custos elevados (KURMUS; MOHAJERANI, 2020). Então a introdução deste material na pasta cimentícia seria uma solução para reutilização deste material.

Em estudos, Kadir e Mohajerani (2010) introduziram bitucas de cigarros em tijolos de argila, variando a quantidade entre 0 e 10%, com objetivo de ser uma solução sustentável, por meio da redução da quantidade de bitucas que seriam descartadas no meio ambiente e essa adição ainda gerou tijolos até 30% mais leve e com redução da condutividade térmica de até 58%. Apesar da resistência a compressão ter sido reduzida de 25,65 MPa para até 3,00 MPa e a absorção de água máxima medida ser de 18 %, ainda sim ambos os parâmetros permaneceram dentro dos limites normativos, sendo assim, a produção deste tipo de tijolo se torna viável para aplicações sem suporte de carga.

A pesquisa feita por Wadalkar (2018) também buscou a redução da poluição ambiental por descarte de bitucas de cigarro, e para tanto, fizeram a adição de até 0,25% deste material em blocos de concreto pré-fabricados para pavimentação. Notou-se que, para blocos padrão, ou seja, sem nenhuma adição, a absorção de água era de 5,25%, a resistência a compressão era de 30,1MPa e a resistência a flexão era de 11,23MPa. Com a adição máxima do estudo, que era de 0,25%, obteve-se aumento na porcentagem de absorção de água para 6,73% e redução na resistência à compressão e à flexão para 26,60

MPa e 9,90 MPa, respectivamente. Apesar de nenhum parâmetro ter sido melhorado, os valores ainda permaneceram acima dos limites estabelecidos por normas, e estes ainda podem ser melhorados com o uso de aditivos adequados, fazendo com que está seja uma solução exequível.

Não foi encontrado na literatura estudos das fibras de acetato em matriz de cimento Portland. Os estudo proposto não será com bitucas de cigarro, mas com o resíduo do filtro de cigarro gerado na fabricação, buscando avaliar a possibilidade de uma alternativa para utilização do resíduo.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho fez um estudo da pasta cimentícia, constituída de cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) e água, com adição das fibras de acetato de celulose, oriundas dos resíduos gerados na fabricação de cigarro. Analisou-se a influência das fibras do resíduo na resistência a flexão, módulo de elasticidade, tenacidade, índice de vazios e absorção de água dos compósitos produzidos. Para tanto, variaram-se o teor em volume e o comprimento médio das fibras.

Todos os ensaios foram feitos no estado endurecido, desta forma, foram moldadas placas dos compósitos, simulando o processo Hatscheck, nas dimensões de 20cm x 20cm x 0,6cm. A partir destas amostras foram preparados corpos de provas para realização dos ensaios, de modo a comparar os resultados em busca do teor e comprimento de fibras que resultassem nas melhores propriedades dos compósitos.

#### 3.1. Caracterização dos materiais

O cimento utilizado foi o cimento Portland de alta resistência inicial, CP V-ARI, que possui esse nome por atingir alta resistência já nos primeiros dias de aplicação. Foi utilizado o CPV por ser o cimento usado nas fábricas de fibrocimento e também considerando o tempo exíguo para executar o trabalho experimental do TCC (Figura 1).

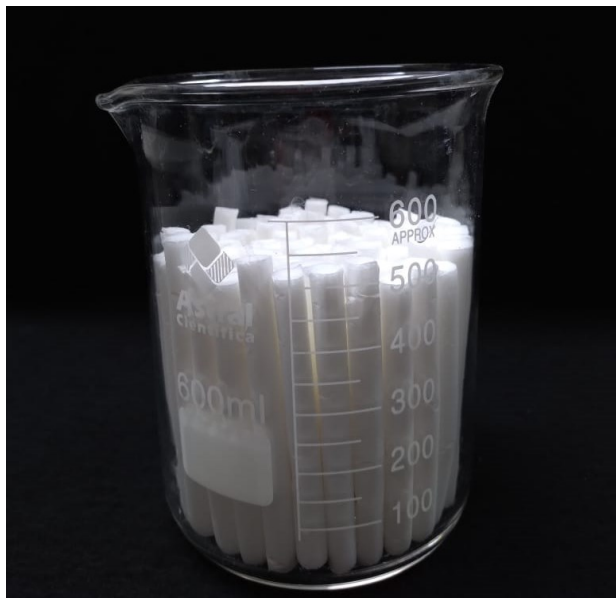
FIGURA 1: Cimento Portland de alta resistência inicial



FONTE: Autora

O resíduo de acetato de celulose utilizado foi doado pela Souza Cruz de Uberlândia. O acetato de celulose tem massa específica de  $1,3 \text{ g/cm}^3$  e é utilizado como filtro do cigarro, envolto em uma folha de celulose (papel), como pode se observar na Figura 2 e Figura 3.

FIGURA 2: Resíduo como recebido da empresa: acetato de celulose envolto em papel



FONTE: Autora

FIGURA 3: Vista da seção transversal do resíduo utilizado.



FONTE: Autora

### 3.2. Planejamento experimental

Com o objetivo de entender como cada uma das variáveis influenciam o desempenho do compósito, definiram-se os experimentos com delineamento fatorial de  $2^k$  e ponto central, com duas variáveis independentes.

Segundo Bortolini (2012), o experimento fatorial  $2^k$  tem por vantagens a análise tanto dos efeitos principais como dos efeitos de interação dos fatores. Além disso, ele se mostra útil à medida que permite analisar de forma simples o nível de influência que cada variável exerce no resultado do experimento, bem como seu nível de significância.

Desta forma, consideraram-se dois níveis, ou seja,  $k$  é igual a dois, que representa as variáveis independentes, definidas como teor e comprimento das fibras de acetato de celulose e optou-se por três pontos centrais. Optou-se por variar o teor de fibras em 1%, 5,5% e 10% e o comprimento das fibras variou em 3 cm, 7,5 cm e 12 cm, sendo 12 cm a dimensão média da fibra como recebida.

Sendo assim, o planejamento experimental foi executado conforme mostrado na Tabela 1, a qual descreve a matriz de planejamento fatorial. O primeiro ponto analisado foi o teor de fibras, que teve como valor mínimo 1% e como valor máximo 10%, desta forma, tem-se como ponto central o valor de 5,5%. O segundo fator analisado foi o comprimento das fibras, o valor máximo foi de 12 cm, que corresponde ao comprimento médio do resíduo tal como recebido, e mínimo igual 3 cm, de modo que o ponto central foi 7,5 cm.

Para o ponto central (teor de fibras de 5,5% e comprimento das fibras de 7,5 cm) foram feitas três repetições, a fim de aumentar a confiabilidade no resultado. Foram preparadas duas placas para cada formulação, obtendo-se assim oito amostras por experimento.

TABELA 1: Matriz fatorial do planejamento experimental

Experimento	Codificação		Descodificação	
	A	B	Fibras (%)	Comprimento das fibras (cm)
EXP.1%03	-1	-1	0,01	3
EXP.1%12	1	-1	0,1	3
EXP.10%03	-1	1	0,01	12
EXP.10%12	1	1	0,1	12
EXP.5,5%7,5	0	0	0,055	7,5
EXP.5,5%7,5	0	0	0,055	7,5
EXP.5,5%7,5	0	0	0,055	7,5

FONTE: Autora

A análise os dados experimentais foi realizada por meio da análise fatorial  $2^k$ , com o uso do *software* Statistica 7.0, em que foi possível analisar a influência de cada variável, bem como o efeito da interação entre variáveis, para posterior ajuste de modelo.

### 3.3. Dosagem, preparo e moldagem dos corpos de prova

Para preparo dos compósitos utilizaram-se 3 (três) formulações, sendo que o teor de fibras foi fixado em relação ao volume total do compósito. Na Tabela 2 estão descritas as quantidades utilizadas para a moldagem de uma placa.

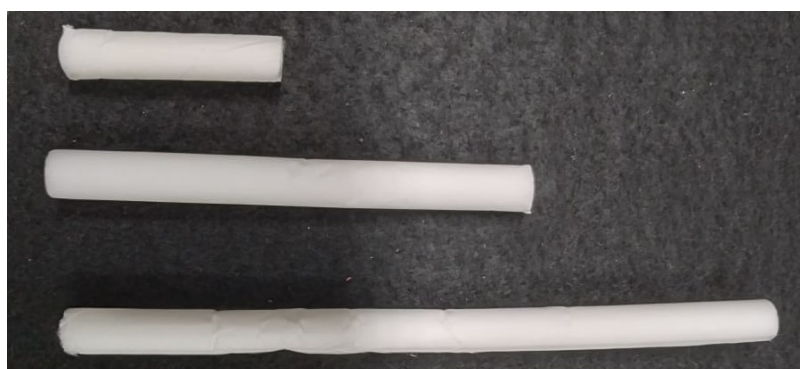
TABELA 2: Quantidade em massa dos materiais utilizados para preparo de cada formulação

% Fibra	Fibra (g)	Cimento (g)	Água (g)
10% de fibra	31,20	432,00	694,80
5,5% de fibra	17,16	464,40	722,34
1% de fibra	3,12	496,80	749,88

FONTE: Autora

As fibras utilizadas não receberam nenhum tipo de tratamento, uma vez que era de interesse estudar o material com o menor número de alterações possíveis. Dessa forma, o preparo da fibra consistiu apenas no corte da mesma de acordo com o comprimento definido no planejamento experimental (3cm, 5,5 cm e 12 cm), como pode ser observado na Figura 4.

FIGURA 4: Comprimento das fibras de acetato de celulose (de cima para baixo 3 cm, 5,5 cm e 12 cm)



FONTE: Autora

Em seguida, o acetato de celulose (como ilustrado na Figura 4) foi batido no liquidificador juntamente com toda a água da mistura por aproximadamente 40 segundos, para dispersar a fibra sem destruí-la. A Figura 5 mostra a fibra dispersa na água. Após a dispersão das fibras, foi adicionado cimento e misturou-se por mais 5 minutos, obtendo-se uma mistura bastante fluida como apresentado na Figura 6.

FIGURA 5: Fibra de acetato de celulose dispersa na água da mistura



FONTE: Autora

FIGURA 6: Misturada fluida de cimento, água e fibra de acetato de celulose



FONTE: Autora

Para a moldagem das placas dos compósitos, a mistura foi vertida no molde, removendo-se a água excedente por sucção a vácuo, como apresentado na Figura 7. Utilizou-se um filtro de papel que não permitia a passagem de finos, fazendo com que saísse da mistura apenas a água de amassamento excedente. A amostra foi adensada manualmente durante



a sucção com um soquete metálico. Após este processo o compósito era moldado em uma placa quadrada, de 20 cm de largura e espessura aproximada de 0,6 cm, como mostra a Figura 8.

FIGURA 7: Dispositivo utilizado para a moldagem das placas dos compósitos



FONTE: Autora

FIGURA 8: Placa moldada pela simulação do processo Hatschek



FONTE: Autora

Posteriormente, as placas eram colocadas uma sobre a outra e posicionadas no equipamento para prensagem com tensão de aproximadamente 3,2 MPa, como apresentado na Figura 9. Após serem retiradas da prensa, já no estado endurecido, as placas tinham aspecto semelhante ao mostrado na Figura 10.

FIGURA 9: Dispositivo utilizado para prensagem das placas



FONTE: Autora

FIGURA 10: Placa moldada após prensagem



FONTE: Autora

Em seguida, as placas foram envoltas em papel filme durante 7 dias, para evitar perda de água por evaporação. Após esse tempo, as placas foram cortadas em 5 corpos de provas menores com uso de uma maquina, ficando com dimensões aproximadas de 20 cm x 4 cm cada um, como mostra a Figura 11.

FIGURA 11: Corpo de prova de dimensões 20cm x 4 cm e espessura de 0,6 cm.



FONTE: Autora

### 3.4. Ensaaios

#### 3.4.1 Flexão

Os corpos de provas foram ensaiados à flexão, com 7 dias de idade. O ensaio foi realizado em condições ambientes do laboratório (temperatura:  $18 \pm 5$  °C; umidade:  $50 \pm 10$  %), utilizando a Máquina Universal de Ensaios da marca Instron, modelo 5982, com célula de carga de 5kN, com distância interna entre os apoios de 150 mm e velocidade de aplicação da carga de 2mm/min, como mostrado na Figura 12.

FIGURA 12: Ensaio de flexão



FONTE: Autora

Os corpos de prova foram ensaiados até a ruptura, como mostra a Figura 13 e Figura 14.

FIGURA 13: Seção longitudinal do corpo de prova após a ruptura



FONTE: Autora

FIGURA 14: Seção transversal do corpo de prova após a ruptura



FONTE: Autora

### 3.4.2 Absorção de água

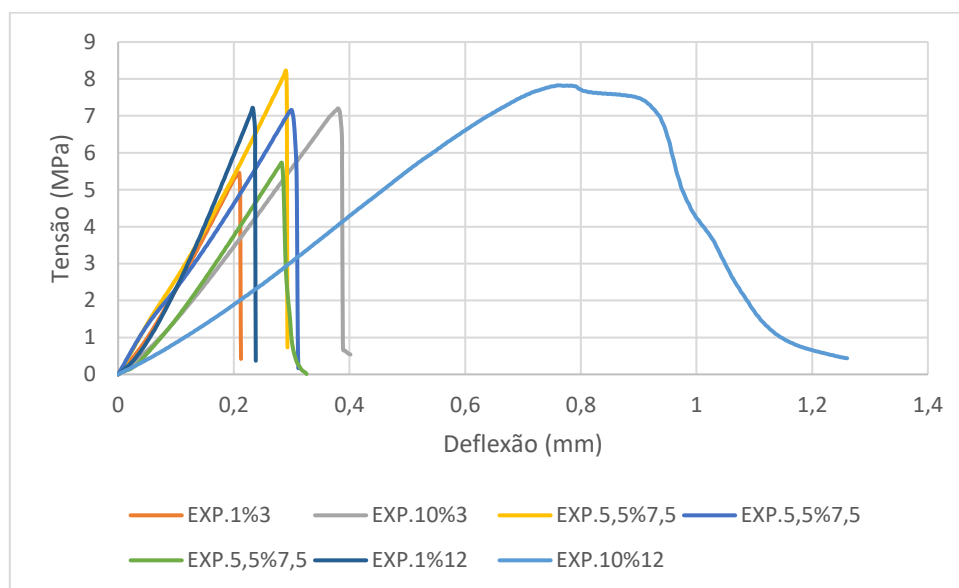
O ensaio de absorção de água foi realizado conforme a NBR 9778:2005. Sendo assim, primeiramente os corpos de prova foram pesados e depois colocados na estufa a  $105 \pm 5$  °C por 72 horas (3 dias), após esse tempo os corpos de prova foram pesados novamente. Depois os corpos de prova foram submersos em água por 72 horas (3 dias), e então foram pesados submersos em água e também com a superfície seca.

Por fim, os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água fervendo por mais 5 horas e então aguardou-se 14 horas para pesá-los em temperatura ambiente com a superfície seca.

#### 4. RESULTADOS E ANÁLISES

Utilizando as cargas obtidas pelo ensaio de flexão e a deflexão correspondente, calculou-se a tensão correspondente a cada carga e construiu-se um gráfico de Tensão (MPa) x Deflexão (mm) para cada um dos traços ensaiados. A Figura 15 apresenta as curvas típicas obtidas para cada compósito com diferente quantidade e comprimento das fibras de acetato de celulose.

FIGURA 15: Gráfico de Tensão x Deflexão de todos as formulações



FONTE: Autora

Tendo por base esses gráficos observa-se que quando se aumenta o comprimento das fibras, principalmente se tratando do teor e comprimento máximos utilizados (10% e 12 cm), nota-se na curva o comportamento típico de matrizes com adição de fibras, ou seja, após o pico da curva o compósito mantém a resistência a flexão, mesmo após a ruptura da matriz, aumentando a capacidade de deformação do compósito.

Observando-se a Figura 15 consegue-se inferir que a área do gráfico de Tensão x Deflexão é aumentada de acordo com o aumento do comprimento e quantidade de fibras na matriz cimentícia, ou seja, atinge-se maiores deflexões com o aumento do comprimento e quantidade de fibras na matriz.

#### 4.1 Módulo de Ruptura

Módulo de ruptura ou resistência a flexão se relaciona ao valor de tensão máxima de flexão que o corpo de prova apresenta antes de sua ruptura, por conseguinte, quanto maiores os valores observados maior a resistência do compósito à flexão.

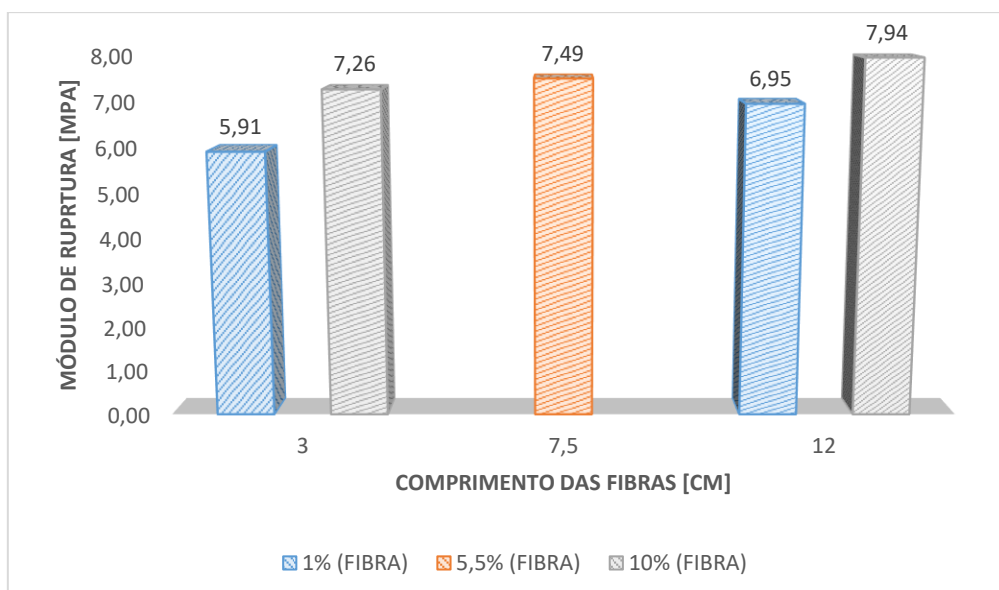
A Tabela 3 apresenta a média dos valores para cada experimento, bem como o desvio padrão de cada amostra.

TABELA 3: Média e desvio padrão do módulo de ruptura

Experimento	Teor de fibras (%)	Comprimento (cm)	Módulo de Ruptura (MPa)	Desvio Padrão
EXP.1%03	1,0	3	5,91	1,73
EXP.1%12	1,0	12	6,95	1,29
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	7,73	0,48
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	7,92	1,81
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	6,83	0,86
EXP.10%03	10,0	3	7,26	1,43
EXP.10%12	10,0	12	7,94	1,81

FONTE: Autora

FIGURA 16: Gráfico de barras com os valores médios de módulo de ruptura dos compósitos



FONTE: Autora

Tendo como base a Tabela 3 e a Figura 16, percebe-se que o módulo de ruptura cresce com o aumento do teor de fibra, a variável comprimento também influencia para o aumento desta propriedade mecânica, mas de forma mais amena quando comparada à porcentagem de fibras.

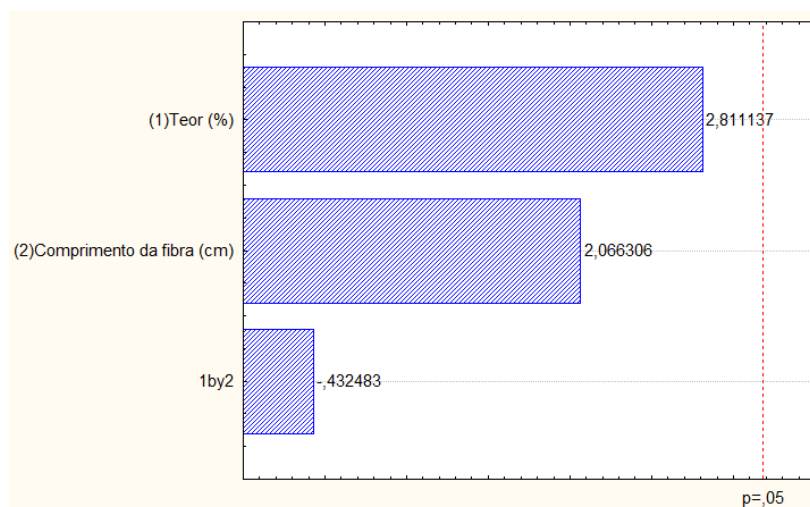
Para uma melhor análise dos resultados, utilizou-se o *Software* Statistica 7.0, e por meio deste, obtiveram-se duas ferramentas de grande importância para o entendimento dos resultados.

A primeira delas foi o gráfico de Pareto, o qual apresenta se a variável independente é ou não significativa por meio da posição da barra do gráfico em relação a linha tracejada vermelha, quando a barra tem seu topo à direita da linha é considerada significativa e quando está a esquerda é considerada não significativa, além disso, os valores negativos representam uma relação inversa entre a variável dependente (módulo de ruptura, módulo de elasticidade, tenacidade, absorção de água e índice de vazios) e independente (teor e comprimento das fibras), e o sinal positivo representa uma proporcionalidade entre as mesmas.

Outra ferramenta fornecida pelo programa é a superfície de resposta, que em seu eixo vertical representa uma variável dependente e os eixos horizontais representam as variáveis independentes, apresentando em vermelho os valores mais elevados da variável dependente analisada e em regiões em verde representa os valores mais baixos.

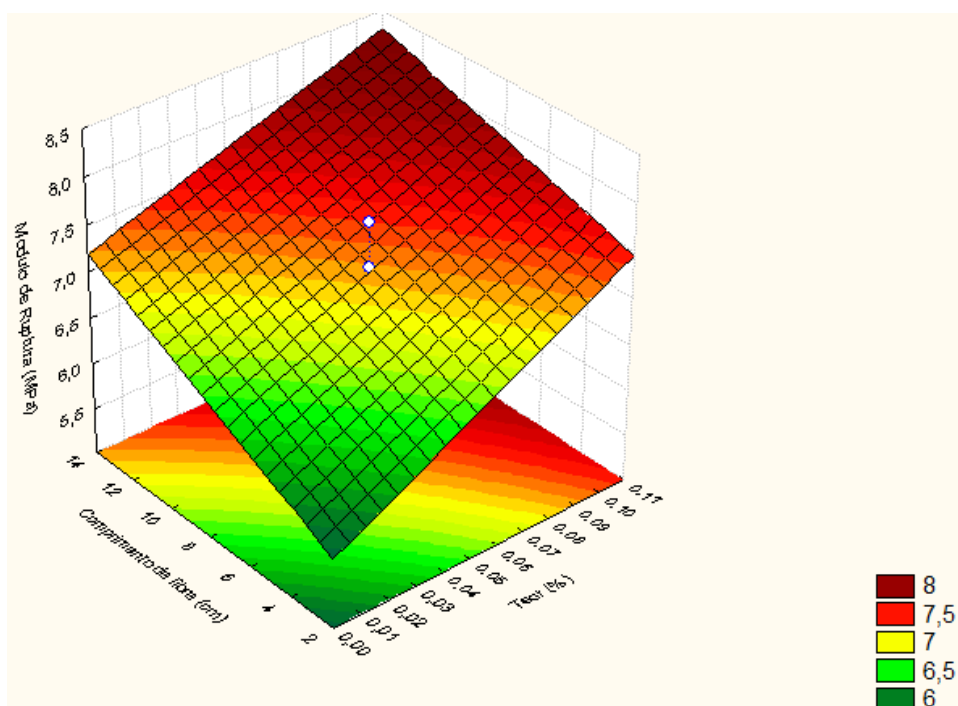


FIGURA 17: Gráfico de Pareto para o módulo de ruptura



FONTE: Autora

FIGURA 18: Superfície de resposta para o módulo de ruptura



FONTE: Autora

Pelo gráfico de Pareto é possível observar que nenhuma das variáveis é significativa, mas apesar disso, observa-se que a variável teor de fibra na matriz tem mais relevância do que a variável comprimento das fibras, o que confirma as observações das médias do módulo de ruptura apresentadas anteriormente.



Na superfície de resposta observa-se que a curva cresce com o aumento do teor e comprimento das fibras, além disso, percebe-se que a reta paralela ao eixo que representa o teor de fibras é mais inclinada que a reta paralela ao eixo que representa o comprimento das fibras, o que comprova o que foi apresentado no gráfico de Pareto.

#### 4.2 Módulo de elasticidade

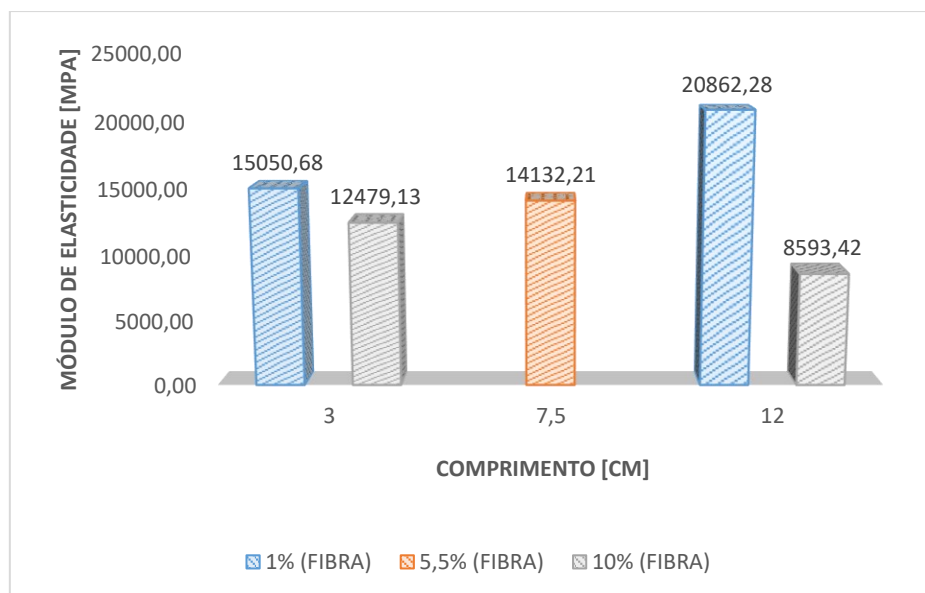
A média dos valores para cada experimento com o respectivo desvio padrão podem ser vistos na Tabela 4, a qual corresponde ao resultado de módulo de elasticidade para todos experimentos ensaiados.

TABELA 4: Média e desvio padrão do módulo de elasticidade

Experimento	Teor de Fibras (%)	Comprimento (cm)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Desvio Padrão
EXP.1%03	1,0	3	15050,68	1947,42
EXP.1%12	1,0	12	20862,28	5779,66
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	15593,51	268,58
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	14995,91	3073,26
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	11807,21	769,97
EXP.10%03	10,0	3	12479,13	1982,32
EXP.10%12	10,0	12	8593,42	1707,02

FONTE: Autora

FIGURA 19: Gráfico de barras com os valores de módulo de elasticidade

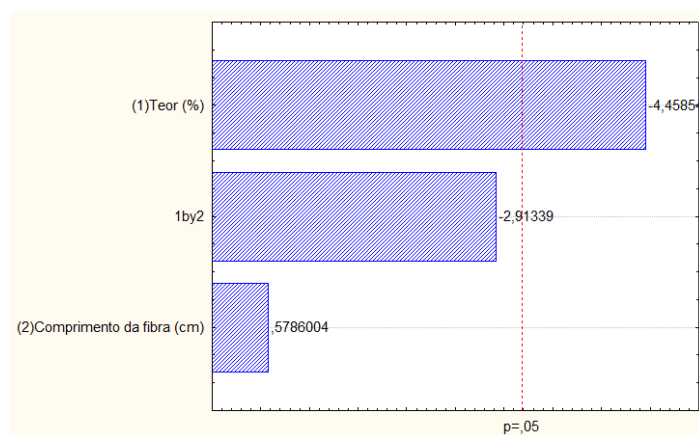


FONTE: Autora

Por meio da Tabela 4 e da Figura 19, percebe-se que o aumento da porcentagem de fibra implica em redução no módulo de elasticidade, o que já era esperado, já que a fibra apresenta menor módulo do que a matriz e ainda pode gerar descontinuidade no compósito causando redução da rigidez. Em relação ao comprimento das fibras não é possível perceber a influência direta desta variável.

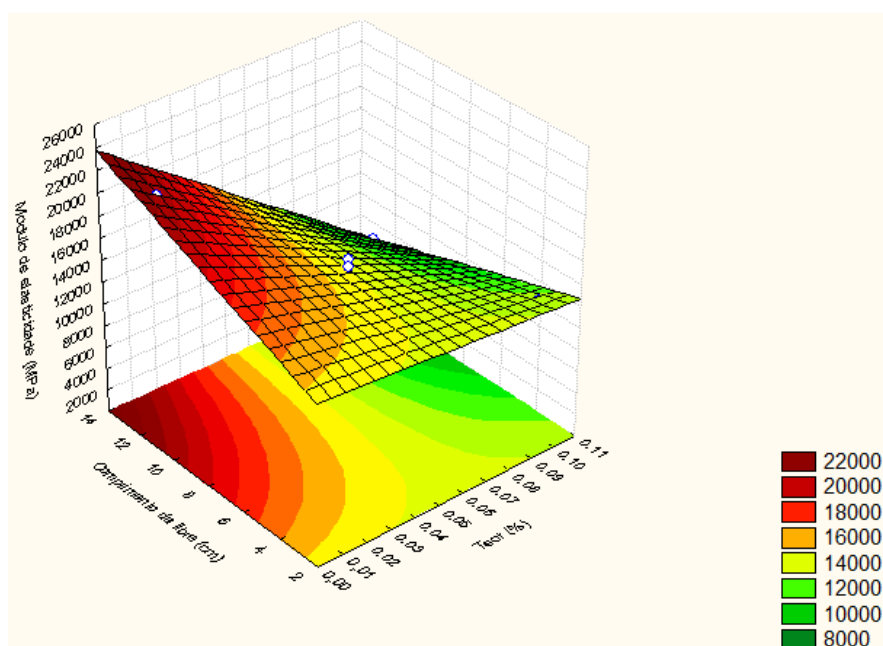
Abaixo estão apresentados o gráfico de Pareto, Figura 20, e a superfície de resposta, Figura 21, obtidas por meio do Software Statística, com o objetivo de apresentar a significância das variáveis.

FIGURA 20: Gráfico de Pareto para o módulo de elasticidade



FONTE: Autora

FIGURA 21: Superfície de resposta para o módulo de elasticidade



FONTE: Autora

Pelo gráfico de Pareto observa-se que apenas a variável teor de fibras é significativa, enquanto o comprimento apresenta menor significância, confirmando o que foi analisado através da média dos módulos de elasticidade.

Através da superfície de resposta observa-se que os maiores valores de módulo de elasticidade se dão para os menores teores o que já se era esperado, como analisado anteriormente.

### 4.3 Tenacidade

A tenacidade está relacionada com a capacidade do material de absorver energia de deformação, sendo assim, quanto maior a tenacidade de um material, menor sua fragilidade.

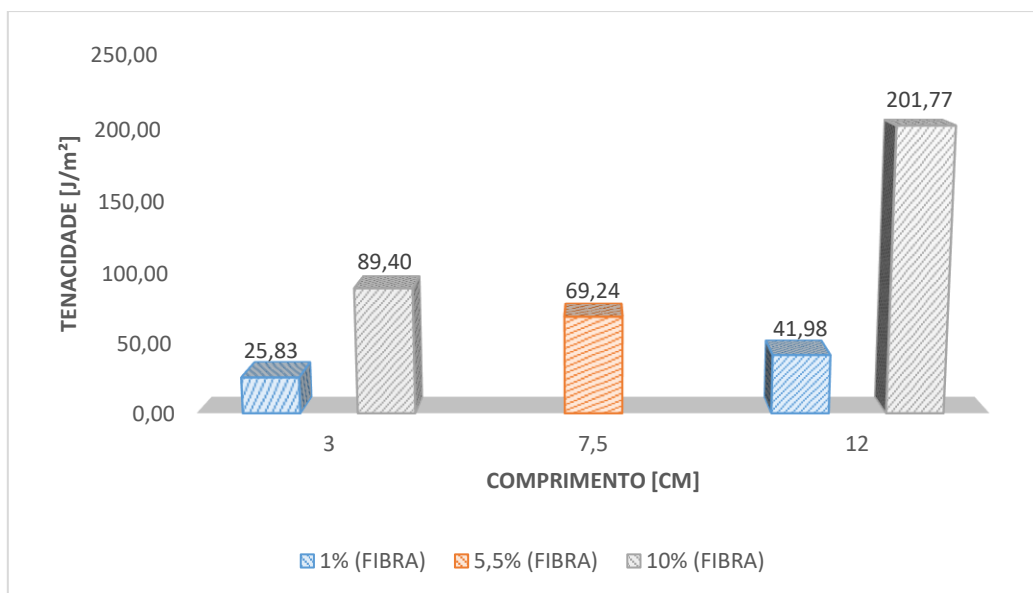
Para melhor analisar esta propriedade estão apresentados na Tabela 5 os valores de média e respectivo desvio padrão para cada experimento.

TABELA 5: Média e desvio padrão da tenacidade

Experimento	Teor de Fibras (%)	Comprimento (cm)	Tenacidade (J/m <sup>2</sup> )	Desvio Padrão
EXP.1%03	1,0	3	25,83	7,70
EXP.1%12	1,0	12	41,98	5,81
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	65,75	13,58
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	71,53	6,43
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	70,45	15,36
EXP.10%03	10,0	3	89,40	20,89
EXP.10%12	10,0	12	201,77	43,88

FONTE: Autora

FIGURA 22: Gráfico de barras com os valores de tenacidade

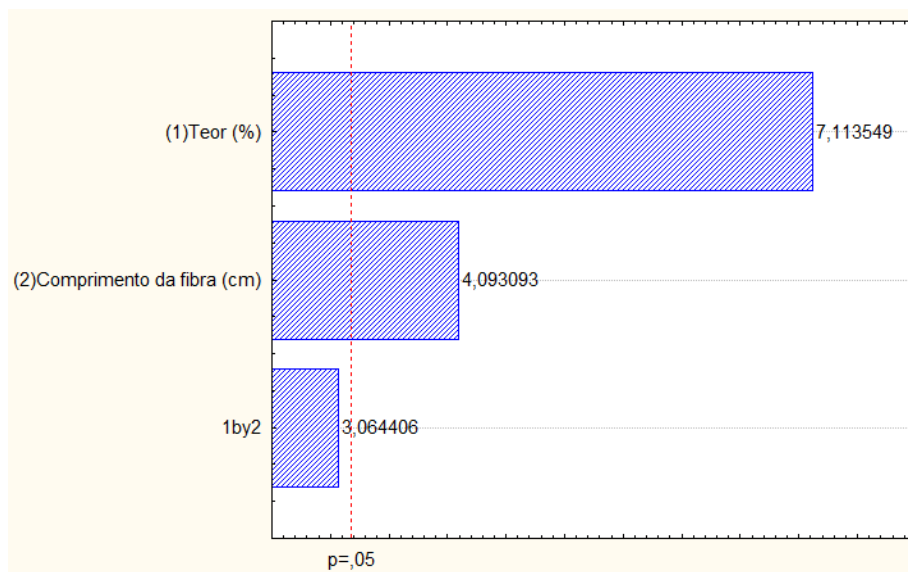


FONTE: Autora

Analisando a Tabela 5 e a Figura 22 observa-se que os valores médios de tenacidade apresentam um aumento muito significativo quando se aumenta a quantidade e comprimento das fibras, seguindo o que se é esperado de matrizes com adição de fibras. A tenacidade com maior teor de fibra e com o comprimento máximo é 8 vezes maior do que a tenacidade do compósito com o teor e comprimento mínimos.

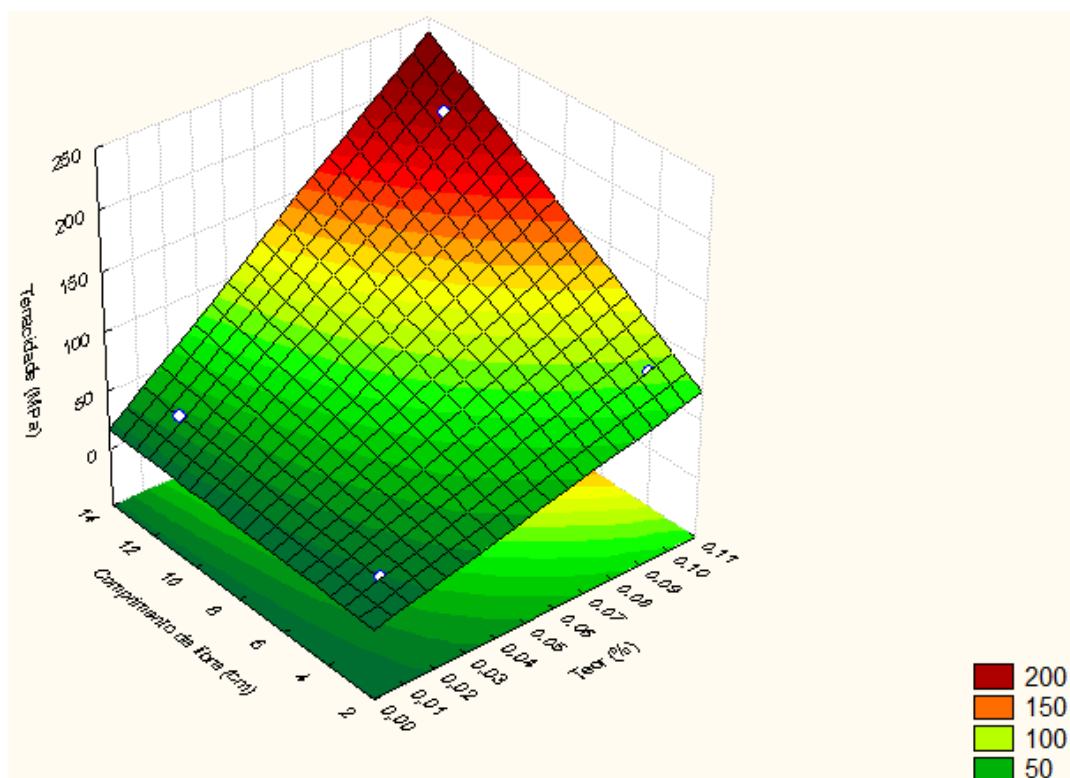
Com objetivo de verificar a significância e influência das variáveis, foram construídos o gráfico de Pareto, Figura 23, e a superfície de resposta, Figura 24.

FIGURA 23: Gráfico de Pareto para a tenacidade



FONTE: Autora

FIGURA 24: Superfície de resposta para a tenacidade



FONTE: Autora

O gráfico de Pareto atesta que tanto o teor de fibras quanto o comprimento de fibras são variáveis com significância, e comprova ainda que o teor de fibra é mais significativo do que o comprimento das fibras, verifica-se que o aumento dessas variáveis gera um aumento na tenacidade, no entanto, a interação das duas variáveis teor/comprimento não apresenta significância.

Pela superfície de respostas nota-se que o gráfico é bem verticalizado, ou seja, as variáveis escolhidas interferem muito nos valores de tenacidade, além de mostrar, assim como o gráfico de Pareto, que o teor de fibras é mais significativo do que o comprimento, já que o eixo que representa o teor de fibras tem inclinação maior do que o eixo que representa o comprimento das fibras.

#### 4.4 Absorção de água

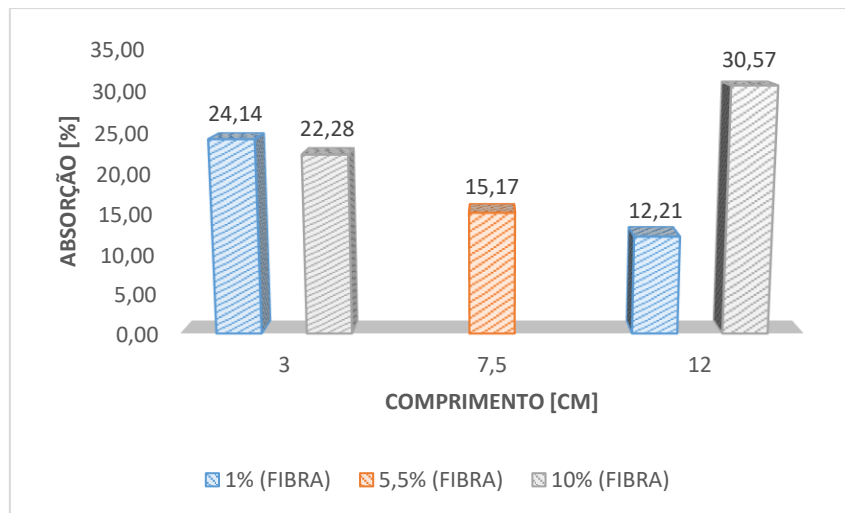
Na Tabela 6 são apresentados os valores médios e respectivos desvios padrão para todas as formulações ensaiadas.

TABELA 6: Média e desvio padrão da absorção de água

Experimento	Teor de Fibras (%)	Comprimento (cm)	Absorção de água (%)	Desvio Padrão
EXP.1%03	1,0	3	24,14	5,23
EXP.1%12	1,0	12	12,21	0,81
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	14,57	1,51
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	14,83	0,91
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	16,11	0,63
EXP.10%03	10,0	3	22,28	5,08
EXP.10%12	10,0	12	30,57	0,82

FONTE: Autora

FIGURA 25: Gráfico de barras com os valores de absorção de água

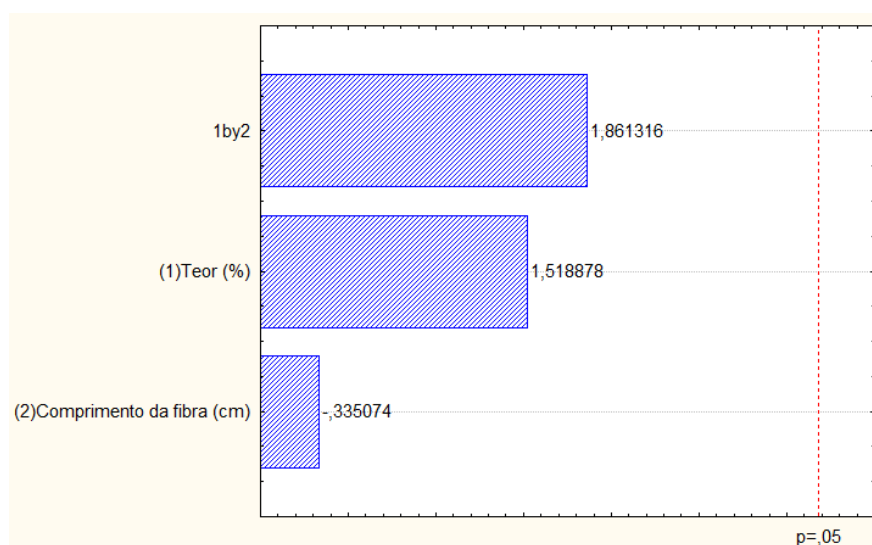


FONTE: Autora

Analisando a Tabela 6 e a Figura 25 percebe-se que o valor máximo de absorção de água se dá para o compósito com maior teor e comprimento das fibras, além disso observa-se que ambas as variáveis não apresentam muita significância.

Prosseguindo com a análise, tem-se o gráfico de Pareto e a superfície de resposta para os valores de absorção de água, apresentados nas Figuras 26 e 27, respectivamente.

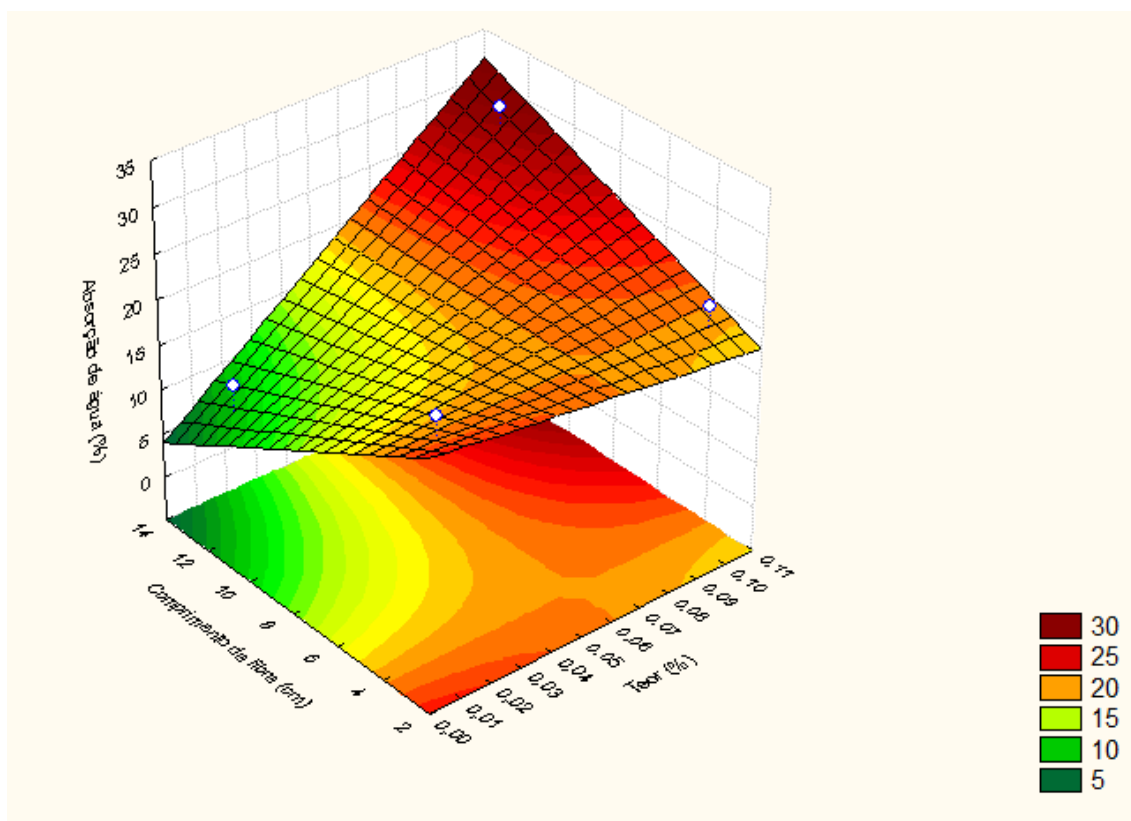
FIGURA 26: Gráfico de Pareto para absorção de água



FONTE: Autora



FIGURA 27: Superfície de resposta para absorção de água



FONTE: Autora

Ressalta-se antes de qualquer análise, que é desejável valores menores para a absorção de água, ao contrário das demais propriedades analisadas até agora. Fica evidenciado pelo gráfico de Pareto que nenhuma das variáveis mostrou-se significativa. No entanto ao se observar a superfície de respostas nota-se que o aumento no comprimento da fibra tem certa influência no resultado da absorção de água, pois com o aumento dessa variável há redução da absorção de água, mas isto só acontece para teores muito baixo de fibras. Além disso, observa-se tanto no gráfico de Pareto quanto na superfície de resposta que a interação das variáveis teor / comprimento de fibra é mais significativa do que as variáveis individuais.

#### 4.5 Índice de vazios

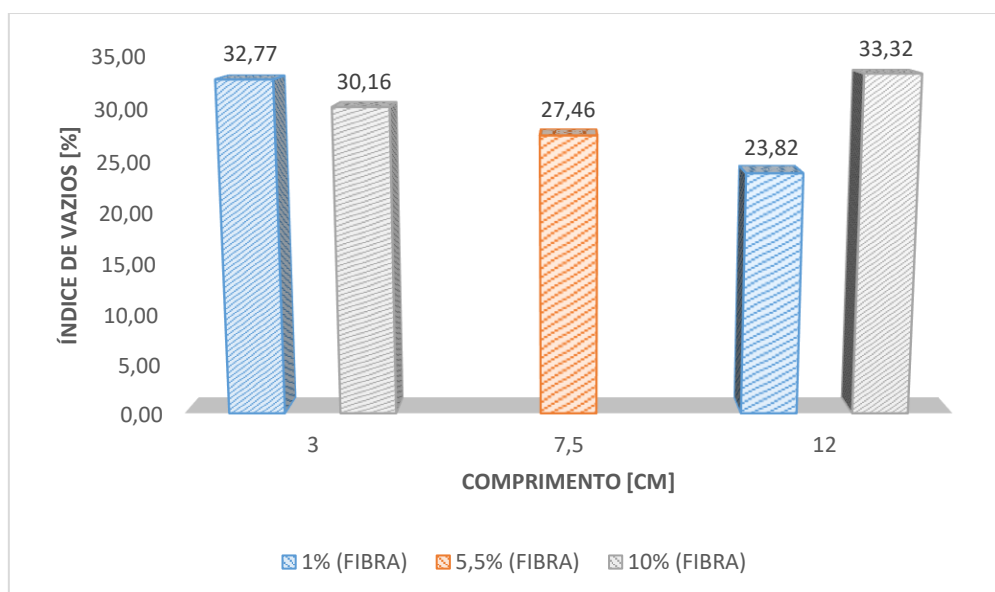
Índice de vazios por definição é a razão entre o volume de vazios e o volume total do material, sendo assim, quanto maior o volume de vazios em uma amostra maior o índice de vazios dela. Os valores médios com respectivos desvios padrão de cada experimento são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7: Média e desvio padrão do índice de vazios

Experimento	Teor de Fibras (%)	Comprimento (cm)	Índice de vazios (%)	Desvio Padrão
EXP.1%03	1,0	3	33,55	2,52
EXP.1%12	1,0	12	23,82	1,21
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	26,86	1,52
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	27,16	1,05
EXP.5,5%7,5	5,5	7,5	28,35	0,29
EXP.10%03	10,0	3	31,18	2,53
EXP.10%12	10,0	12	38,10	0,54

FONTE: Autora

FIGURA 28: Gráfico de barras com os valores de índice de vazios

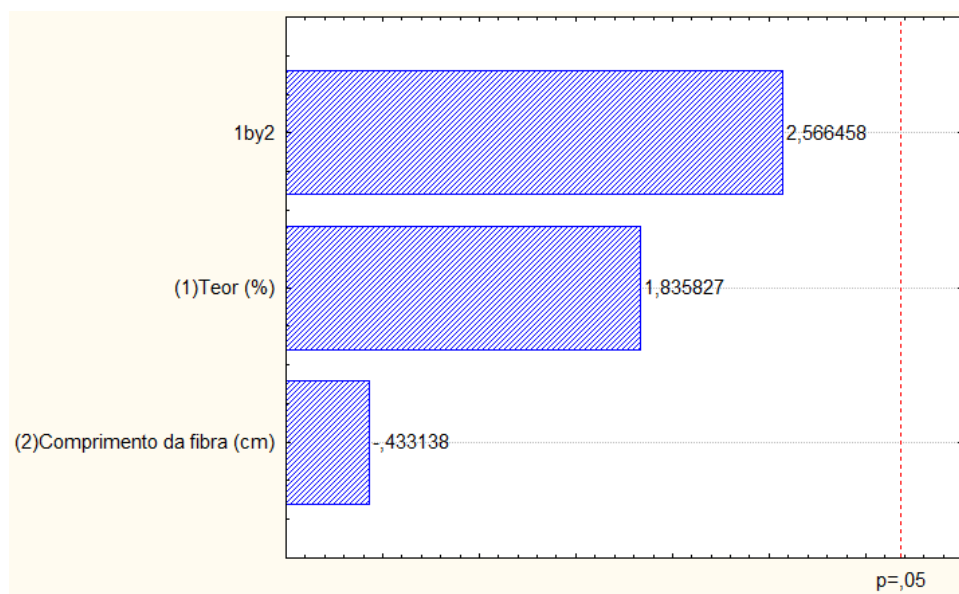


FONTE: Autora

Percebe-se analisando a Tabela 7 e a Figura 28 que os resultados obtidos não apresentam um comportamento claro com relação às variáveis.

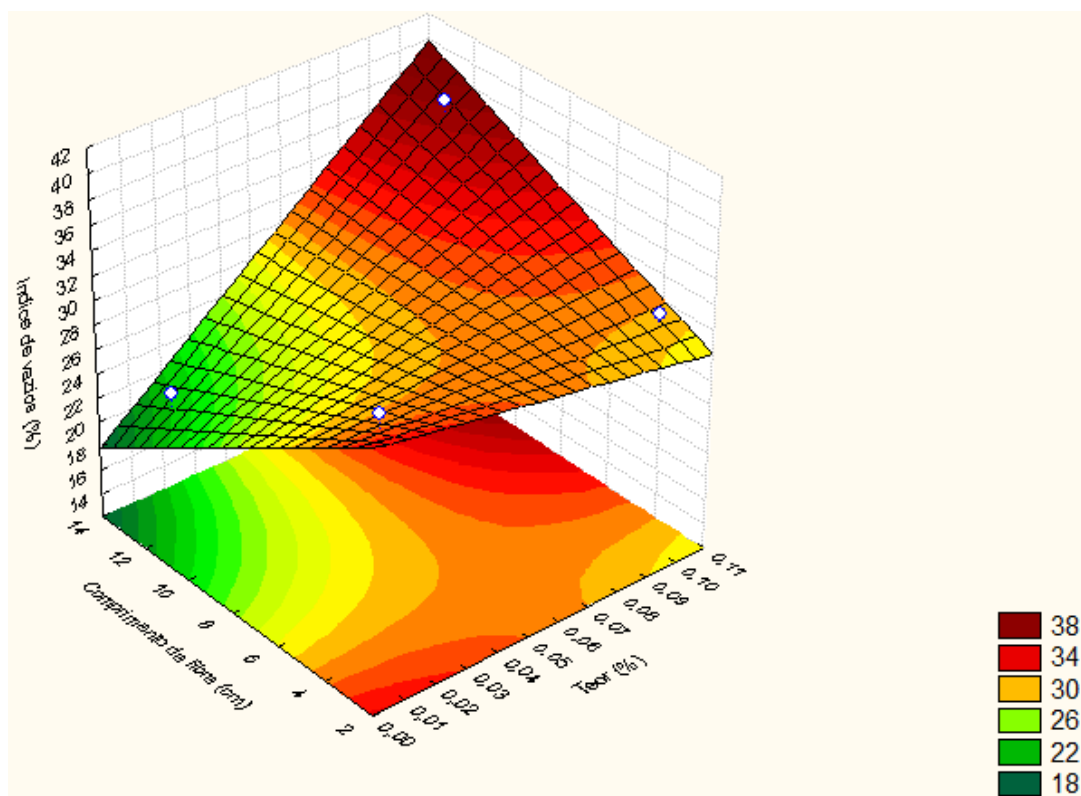
Isto é comprovado pelo gráfico de Pareto e superfície de resposta para o índice de vazios apresentados na Figura 27 e 28, respectivamente.

FIGURA 27: Gráfico de Pareto para o índice de vazios



FONTE: Autora

FIGURA 28: Superfície de resposta para o índice de vazios



FONTE: Autora

Pelo gráfico de Pareto nota-se que nenhuma das variáveis tem significância, mas apesar disso, percebe-se que a interação entre as duas variáveis, tem maior significância do que elas analisadas individualmente. Nota-se também que a variável índice de vazios tem comportamento similar à variável absorção de água.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisadas matrizes cimentícia, composta apenas de cimento e água, com adição de um resíduo industrial da fabricação de cigarro, acetato de celulose, com o objetivo de melhoria das propriedades mecânicas da pasta cimentícia, além da redução do descarte deste material. É importante salientar que os resultados apresentados expressam apenas uma predisposição quanto a adição deste material, uma vez que não foram encontrados muitos estudos voltados para a utilização deste resíduo como fibra em matrizes cimentícia.

A partir de todos os resultados que foram apresentados, é possível concluir que:

- Pelo gráfico de Tensão (MPa) x Deflexão (mm) observou-se que o compósito com maior comprimento e máximo teor de fibras apresentou o comportamento pós pico típico de compósitos com teores de fibras acima do teor crítico, incrementando resistência a flexão após o pico, com as fibras de acetato apresentado bom desempenho como reforço da matriz de cimento.
- Na propriedade de módulo de elasticidade observou-se que o teor de fibra tem significância, quanto maior o teor de fibra, menor o módulo de elasticidade, o que era um comportamento esperado quando se adiciona fibras de baixo módulo à matriz de cimento.
- Para a tenacidade, tanto a variável teor de fibras quanto a variável comprimento das fibras foram significativas, sendo assim, o compósito com 1% de fibras de 3 cm, resultou em uma tenacidade de  $25,83 \text{ J/m}^2$ , enquanto para o traço com máximo teor e comprimento, 10% de fibras de 12 cm, o valor da tenacidade foi de  $201,77 \text{ J/m}^2$ , ou seja, cerca de 8 vezes maior.

- Para as propriedades de absorção de água, índice de vazios e módulo de ruptura nenhuma das variáveis foi significativa, indicando que as variações de comprimento e teor de fibras deste estudo não tem muita influência nos resultados.

Embasado nos resultados apresentados, sugere-se para trabalhos posteriores estudos de argamassas e outros teores do resíduo industrial acetato de celulose, para analisar a viabilidade da adição deste material nos materiais cimentícios convencionalmente usados na construção civil. Além disso, sugere-se que sejam feitos ensaios de durabilidade de matrizes com adição do acetato de celulosa, para se averiguar se é necessário algum tipo de tratamento no resíduo antes de sua utilização.

## REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cimento Portland. Guia básico de utilização do cimento Portland. São Paulo (SP); 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, p. 2. 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2019.

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

BORTOLINI, Juliano. **Estudo De Experimentos Fatoriais 2k Aplicados Em Um Processo Industrial**. Orientador: Dr. Marcelo Silva de Oliveira. 2012. 144 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária,) - Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/380>>. Acesso em: 13 março. 2021.

CERQUEIRA, Daniel A. et al. **Caracterização de Acetato de Celulose Obtido a partir do Bagaço de Cana-de-açúcar por H-RMN**. Barreiras, 2010.

CONSPIZZA. Disponível em: <https://conspizza.com.br/produtos/>. Acesso em: 29 de junho de 2021.

FIGUEIREDO, Antonio D. **Concreto com fibras**. *Concreto: Ciência e Tecnologia*, n. 37, p.36, 2011. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/293811669>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2021.

KADIR, Aeslina A.; MOHAJERANI, Abbas. Recycling cigarette butts in lightweight fired clay bricks. **Intitution of Civil Engineers**, v. 164, p. 219 – 229, 2010.

KURMUS, Halenur; MOHAJERANI, Abbas. The toxicity and valorization options of cigarette butts. **ELSEVIER**, v. 104, p. 104-118, 2020.

MOHAJERANI, Abbas; KADIR, Aeslina A.; LAROBINA, Luke. A practical proposal for solving the world’s cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. **ELSEVIER**, v. 52, p. 228-244, 2016.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do CONCRETO**. 5ª edição. Porto Alegre: Techbooks, 2016.

REGANATI, Bruno. A História do Concreto. **BLOG DO CONCRETO**, 2020. Disponível em: <<https://www.concretousinado.com.br/noticias/historia-concreto/>>. Acesso em: 21 de jan. de 2021.

WADALKAR, S. et al. Design of Precast Concrete Blocks for Paving with the use of Cigarette Butts (Cellulose Acetate). **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**, v. 6, p. 2.958-2.965, 2018.