

Avaliação da resistência mecânica da fibra de bambu tratada com hidróxido de sódio

Cassiano Rodrigues Moura

cassiano.moura@ifsc.edu.br. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Departamento de Mecânica.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar a influência do tratamento químico com Hidróxido de Sódio (NaOH) na propriedade mecânica de resistência à tração das fibras de bambu. A metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é de caráter literário e experimental. O material analisado foi tratado com soluções de NaOH em três concentrações distintas de 10%, 15% e 20% (massa/massa) diluídas em água. As fibras foram imersas nessas soluções, à sombra, por períodos de 5, 10 e 15 horas. Para avaliar o tratamento químico foi utilizado o método de planejamento de experimento (*DoE*), que determinou os parâmetros ideais de aplicação, através do qual se pode obter uma fibra com a maior resistência à tração. Essas fibras foram analisadas através de ensaios de tração de acordo com a distribuição aleatória do planejamento. Os resultados foram verificados através da análise de variância que auxilia na determinação dos parâmetros ideais de tratamento para se obter uma fibra com maior resistência à tração. Pode-se observar que para concentrações de NaOH entre 12% e 16%, considerando o tempo de tratamento entre 10 e 16 horas, é possível alcançar valores superiores a 120MPa de resistência à tração para as fibras tratadas.

Palavras-chave: Fibra de bambu. Tratamento químico. NaOH. Resistência à tração. Planejamento de experimento (*DoE*).

ABSTRACT

*The objective of this work is to analyze the influence of chemical treatment with Sodium Hydroxide (NaOH) on the mechanical property of tensile strength of bamboo fibers. The research methodology used in this work is literary and experimental. The analyzed material was treated with NaOH solutions at three different concentrations of 10%, 15% and 20% (mass/mass) diluted in water. These were immersed in these solutions, in the shade, for periods of 5, 10 and 15 hours. To evaluate the chemical treatment, the experiment planning method (*DoE*) was used, which determined the ideal application parameters, through which a fiber with the highest tensile strength can be obtained. These fibers were analyzed through tensile tests according to the random distribution of the planning. The results were verified through the analysis of variance that helps to determine the ideal treatment parameters to obtain a fiber with greater tensile strength. It can be observed that for NaOH concentrations between 12% and 16%, considering the treatment time between 10 and 16 hours, it is possible to reach values greater than 120MPa of tensile strength for the treated fibers.*

Keywords: *Bamboo fiber. Chemical treatment. NaOH. Tensile strength. Experiment planning (DoE).*

1 Introdução

Um dos materiais que pode ser utilizado como substituto na produção de vários produtos para reforço estrutural é o bambu. Pelas características excepcionais que suas fibras oferecem, o bambu é uma alternativa interessante para substituir as fibras sintéticas em diferentes aplicações. Além disso, é considerado um produto leve, resistente, versátil e com características físicas e mecânicas adequadas para ser utilizado na construção civil, na arquitetura e em projetos de design (ECHEVERRI; GARCÍA, 2018; LI *et al.*, 2015).

Segundo Liu *et al.* (2012), as fibras vegetais naturais têm contribuído de forma inequívoca para a prosperidade econômica e a sustentabilidade, especificamente a fibra de bambu, que vem sendo utilizada para aplicações industriais, como processos têxteis, indústrias de papel e construção civil.

A utilização da fibra do bambu para aplicação em compósitos vem sendo estudada e se apresentando viável para aplicações em diversas áreas (COSTA *et al.*, 2017; KONGKEAW; NHUAPENG; THAMAJAREE, 2011; LI *et al.*, 2015; RUSCH *et al.*, 2019; VERMA; CHARIAR, 2012; GHAVAMI 2005; VIEIRA *et al.*, 2016; XIE *et al.*, 2015;). A estrutura básica da fibra é composta por hemicelulose, celulose e lignina, e também por constituintes como pectina, sais inorgânicos e substâncias nitrogenadas, sendo a proporção de celulose nessa fibra responsável por sua rigidez e, conseqüentemente, por sua resistência mecânica (GHAVAMI, 2005).

Conforme Bledzki e Gassan (1999), as fibras vegetais conhecidas como lignocelulosicas, em comparação com as sintéticas, apresentam diversas vantagens em relação à sua utilização. Tal fato se deve a características como origem natural abundante, baixo custo, fácil renovação, baixa densidade e propriedades específicas não tóxicas e biodegradáveis. Além disso, as fibras lignocelulosicas contribuem para a redução do efeito estufa devido à absorção de CO₂ durante seu cultivo.

Cada fibra vegetal é constituída de várias fibras elementares, ligadas por um material de cementação constituído basicamente de lignina (FRANCO, 2010). Conforme Beraldo e Azzini (2004), as fibras do bambu correspondem a aproximadamente 70% do seu caule, o que garante a sua resistência mecânica. Outro fator preponderante para a sua utilização é o fato de as fibras de bambu estarem alinhadas ao longo do comprimento

do colmo, o que proporciona maior rigidez para o material compósito (LAKKAD; PATEL, 1981).

Se comparadas à resistência específica do aço, o bambu, por sua densidade, apresenta características favoráveis para serem utilizadas como reforço em materiais cimentícios. Essas características podem ser melhoradas por meio de tratamentos específicos, químicos ou físicos, que podem aumentar suas propriedades mecânicas.

Geralmente, as fibras naturais são utilizadas in natura. Entretanto, alguns pesquisadores vêm estudando técnicas para melhorar as condições desses materiais, principalmente para o uso em compósitos.

Entre os tratamentos químicos, o método alcalino vem sendo utilizado para modificar a superfície das fibras e melhorar suas propriedades (LIU *et al.*, 2010). Assim, pode-se aumentar a concentração de celulose modificando a superfície da fibra através da remoção da lignina externa. Isso aumenta a rugosidade superficial e melhora a sua adesão (KUMAR; CHOUDHARY; KUMAR, 2010).

A Tabela 1 apresenta um resumo dos principais resultados referentes aos tratamentos químicos alcalinos aplicados às fibras de bambu. Nota-se que o hidróxido de sódio é frequentemente utilizado nesse processo.

Tabela 1 – Principais resultados referentes aos tratamentos químicos aplicados às fibras de bambu

Tratamento	Percentual (%)	Tempo (h)	Autor
NaOH - CH ³ COOH	10	3 - 2	Alves Junior (2012)
NaOH	1 - 3 - 5	1/3	Osorio <i>et al.</i> (2010)
NaOH / H ₂ SO ₄	15 e 20	--	Das e Chacraborty (2008)
NaOH	4	72	Kumar; Choudhary e Kumar (2010)
HNO ³ -KClO ³	30 - 50	24 - 48	Liu <i>et al.</i> (2010)

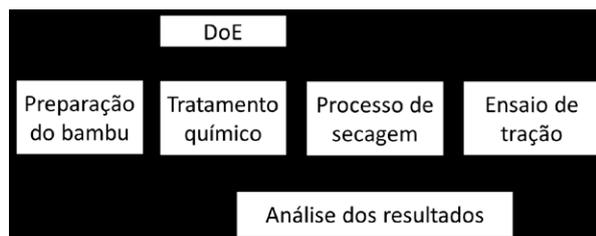
Fonte: elaboração própria

Diante disso, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do tratamento químico com Hidróxido de Sódio (NaOH) na resistência à tração mecânica das fibras de bambu, utilizando como ferramenta a análise de variância. Busca-se, desta forma, determinar quais são as melhores condições de contorno para se obter um material mais resistente.

2 Materiais e métodos

A metodologia de pesquisa utilizada é de caráter experimental, uma vez que as variáveis relacionadas ao objeto em estudo foram manipuladas e relacionadas conforme suas causas e efeitos. Foi utilizado o método de Planejamento de Experimentos (*Design of Experiments – DoE*) para estimar a propriedade de resistência à tração das fibras de bambu e determinar as melhores condições a serem aplicadas ao tratamento químico. A Figura 1 apresenta o fluxo de trabalho utilizado nesta pesquisa. A etapa inicial consiste na preparação do bambu para o tratamento químico. Na sequência, há a secagem das fibras e o ensaio de tração delas.

Figura 1 – Fluxo metodológico



Fonte: elaboração própria

2.1 Preparação do bambu

A espécie de bambu em estudo é a *Bambusa Vulgaris*, como mostra a Figura 2. A planta foi fornecida pela empresa ENVILLE, localizada na região de Joinville/SC. A planta foi colhida com idade de aproximadamente 5 anos, período médio no qual ela apresenta maior resistência nas fibras, conforme recomendado por Reis (2013).

Devido às mudanças nas propriedades mecânicas ao longo da disposição dos colmos, foram retiradas cinco amostras do terceiro entrenó da planta, como mostra a Figura 3. Após a retirada do local, os bambus foram cortados e medidos com auxílio de escala graduada e paquímetro e, posteriormente, foram cortados com medidas de 300 mm de comprimento e 25 mm de largura, conforme Figura 3.

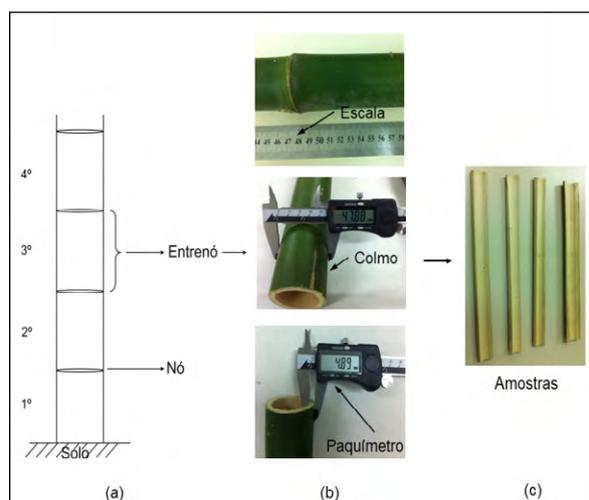
O detalhamento técnico e as informações referentes ao bambu utilizado são apresentados na Tabela 2.

Figura 2 – Bambusa Vulgarise, espécie de bambu em estudo



Fonte: arquivo do autor

Figura 3 – Seleção do colmo



Fonte: elaboração própria

Tabelas 2 – Detalhamento técnico – Características da planta utilizada

Bambu	Características
Espécie	Bambusa Vulgarise
Idade	5 anos
Altura	18 m
Dados do Terceiro entrenó	Características
Espessura média de parede	6,22 mm
Diâmetro médio	48,95 mm
Comprimento médio	476 mm

Fonte: elaboração própria

Na sequência, essas amostras foram secas em estufa a 100°C e o percentual de umidade foi monitorado hora/hora através da Equação 1, até o momento em que as variações das massas se apresentaram inferiores a 0,5%, o que se considerou desprezível. Ao final, o material foi resfriado à temperatura ambiente.

$$(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

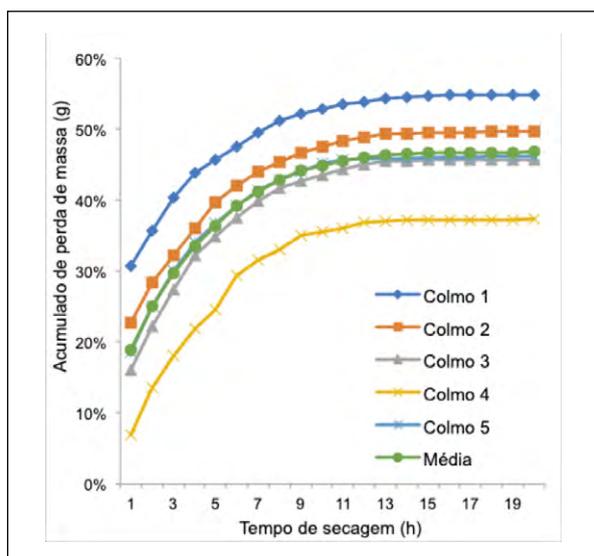
m é o teor de umidade percentual;

m_i é a massa inicial, em gramas;

m_f é a massa, em gramas, medida após um período de tempo.

Com a aplicação desse processo de cura, foi possível obter uma curva de secagem, como mostra a Figura 4, que apresenta as melhores condições para se submeter às fibras.

Figura 4 – Curva de secagem das amostras de bambu *in natura*



Fonte: dados da pesquisa

Pode-se observar que na fase inicial de secagem ocorre uma perda de massa acentuada, devido à grande quantidade de líquido presente nos colmos.

Constata-se também que a partir de aproximadamente 14h o processo de secagem alcança um nível linear, tornando a perda de massa quase que imperceptível. A perda de umidade nesse momento é 0,1% em média, ou seja, muito próxima à zero.

2.2 Tratamento químico

O tratamento químico foi aplicado às tiras de bambu secas com o objetivo de maximizar o teor de celulose, solubilizando e removendo os extrativos de hemicelulose e lignina.

O planejamento dos experimentos foi baseado nos resultados encontrados na literatura (LIU *et al.*, 2010; KUMAR; CHOUDHARY; KUMAR, 2010; JÄHN *et al.*, 2002; DAS; CHAKRABORTY, 2008). Foram selecionados os fatores ‘concentração de NaOH’ e ‘tempo’, que foram distribuídos em três níveis, como mostra a Tabela 3. Para descrever os ensaios, foi utilizado um projeto fatorial do tipo 3² com nove experimentos e uma réplica. Com auxílio do software Statistica® - versão 6.0, foi desenvolvida uma distribuição aleatória para a análise da propriedade de resistência à tração.

Tabelas 3 – Planejamento do experimento - Fatores e níveis

Fatores	Un.	Níveis dos fatores		
		Baixo (-1)	Médio (0)	Alto (1+)
Concentração de NaOH	(%)	10	15	20
Tempo	(h)	5	10	15

Fonte: dados da pesquisa

Com o auxílio do software Statistica® - versão 6.0, foi desenvolvida uma distribuição aleatória para a análise da propriedade de resistência à tração, como mostra a Tabela 4, na qual se pode observar os 18 experimentos.

Tabela 4 – Distribuição aleatória experimental

Exp.	NaOH (%)	Tempo (h)	Exp.	NaOH (%)	Tempo (h)
1	10	5	10	10	5
2	20	10	11	20	10
3	15	5	12	15	5
4	10	15	13	10	15
5	15	10	14	15	10
6	20	15	15	20	15
7	20	5	16	20	5
8	10	10	17	10	10
9	15	15	18	15	15

Fonte: dados da pesquisa

Foram preparadas soluções de NaOH em três concentrações distintas de 10%, 15% e 20% (massa/massa) diluídas em água, como mostra a Figura 5, na qual se pode observar o início do tratamento (a) e a situação do bambu após 5 horas (b) de tratamento. As tiras secas foram imersas nessas soluções, à sombra, por períodos de 5, 10 e 15 horas, e a temperatura ambiente foi mantida a 22°C, com o auxílio de ar condicionado.

Figura 5 – Tiras secas imersas em solução de 10% de NaOH. Início do tratamento (a) e a situação do bambu após 5 horas (b)

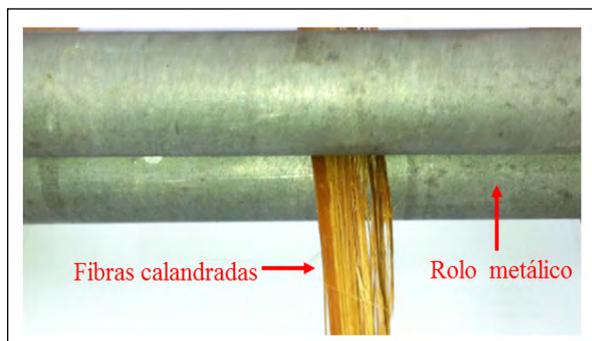


Fonte: arquivo do autor

2.3 Processo de secagem

Após o tempo estipulado pelo experimento, as tiras foram retiradas da solução e calandradas sobre rolos metálicos até um espaçamento de 1 mm para se remover o excesso de NaOH e auxiliar na separação das fibras, como se pode observar na Figura 6.

Figura 6 – Processo de calandragem por rolos metálicos



Fonte: arquivo do autor

Posteriormente, esses fios de fibras foram individualizados manualmente com o auxílio de estilete. A Figura 7 apresenta a aparência das fibras, na qual se observa a individualização (a) e uma imagem detalhada dos fios (b).

Figura 7 – Aparência das fibras após o tratamento químico, (a) individualização, (b) detalhe dos fios



Fonte: arquivo do autor

Na sequência, as fibras foram secas em estufa a uma temperatura de 100°C por 5 horas. Assim, pode-se calcular a perda percentual de extrativos através da Equação 2.

$$\text{Percentual de extrativos} = \left[1 - \frac{m_1 - m_2}{m_1} \right] \times 100 \quad (2)$$

Onde:

m_1 é a massa do bambu sem umidade;

m_2 é a massa das fibras após o tratamento químico e secagem.

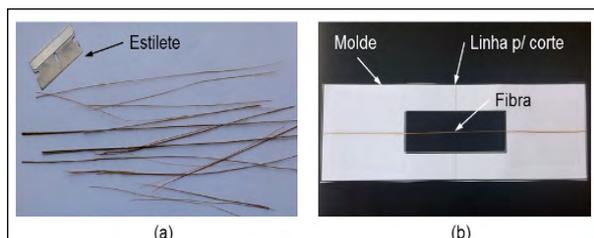
2.4 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma C1557 ASTM (2014), conforme descrito pelo planejamento de experimentos.

Foi utilizada uma máquina universal de ensaios com capacidade até 5kN, com célula de carga de 500 N e velocidade constante de 5 mm/min. Os ensaios foram realizados conforme descrito no planejamento do experimento, com duas amostras por ensaio.

Para a preparação dos corpos de prova, foi utilizado um estilete para auxiliar na separação dos fios de fibra, que foram fixados ao molde de papel com o auxílio de cola, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Preparação do corpo de prova para ensaio de tração, (a) individualização das fibras, (b) fixação no molde de papel

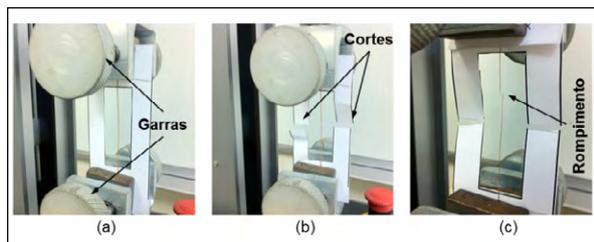


Fonte: arquivo do autor

O diâmetro das fibras foi medido em três locais diferentes ao longo de seu comprimento, com o uso de um projetor de perfil calibrado. Na sequência, os corpos de prova foram fixados ao equipamento de tração e tensionados longitudinalmente até a ruptura.

A Figura 9 apresenta a sequência utilizada para realização do ensaio; o sistema de fixação com auxílio do molde de papel utilizado para as amostras (a); o detalhe do corte realizado antes do início do ensaio (b); e o detalhe do rompimento da fibra após o ensaio (c).

Figura 9 – Detalhes do ensaio de tração



Fonte: arquivo do autor

3 Resultados e discussão

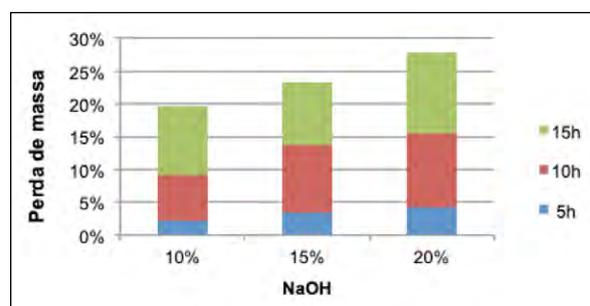
3.1 Tratamento químico

Com a aplicação do tratamento químico, foi possível calcular a perda percentual de extrativos, ou seja, a remoção da hemicelulose e lignina presentes na parede das fibras. A Figura 10 apresenta os resultados considerando o somatório dos tempos de 5, 10 e 15 horas para os percentuais de NaOH de 10%, 15% e 20%.

De acordo com a Figura 10, pode-se observar que conforme se aumenta o tempo de exposição da fibra e o percentual de NaOH, tem-se um acréscimo no fator de remoção de extrativos. Essa perda de extrativos é

essencial para algumas aplicações que necessitam de redução em peso e volume, como no caso de estruturas suspensas e plataformas. Esse resultado é coerente com o encontrado por Das e Chacraborty (2008), que tiveram seus melhores resultados em concentrações de 15% a 20% de hidróxido de sódio, sendo que para soluções acima de 20%, o autor observou perda da resistência mecânica devido à degradação das fibras.

Figura 10 – Percentual de perda de extrativos (hemicelulose e lignina) com aplicação de tratamento químico em soluções de 10, 15 e 20%

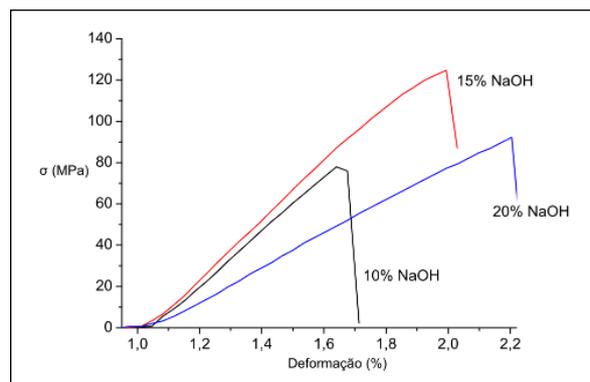


Fonte: dados da pesquisa

3.2 Ensaio de tração

A Figura 11 apresenta a curva tensão – deformação obtida através do ensaio de tração para as fibras tratadas por 10h. Nela é possível verificar algumas propriedades mecânicas das fibras tratadas pelo processo químico. Pode-se observar que a tensão de ruptura aumenta na concentração de 15% em relação à concentração de 10%, e diminui com 20% em relação à concentração de 15%.

Figura 11 – Gráfico tensão deformação para fibras tratadas com 10%, 15% e 20% de NaOH por 10h



Fonte: dados da pesquisa

Um fator que pode influenciar neste resultado é o tempo de exposição da fibra em percentuais elevados de NaOH, o que pode levar à diminuição da tensão de ruptura devido à agressão causada à parede das fibras.

O perfil das curvas provenientes do ensaio de tração das fibras de bambu (ver Figura 11) mostra regiões de escoamento com comportamento plástico, característico dos materiais visco elástico, o que é coerente com os encontrados na literatura (GHAVAMI, 2005).

A Tabela 5 apresenta as informações referentes à tensão e à força aplicadas nos ensaios das fibras tratadas por 10h. Em todas as amostras, a tensão e a força máxima coincidem com o limite de tensão e força na ruptura, o que comprova que o material não sofreu deformação elástica.

Tabelas 5 – Resultados do ensaio de tração para tratamento de 10h

NaOH (%)	Tensão (MPa)				
	Máx.	Mín.	σ	Média	Desvio padrão
10	206,7	32,0	206,7	116,4	53,38
15	156,9	47,0	156,9	120,6	40,3
20	160,5	64,0	160,5	94,4	35,9
Força (kgf)					
10	4,85	0,12	206,7	1,46	1,7
15	1,01	0,13	156,9	0,44	0,3
20	2,6	0,1	160,5	1,1	1,4

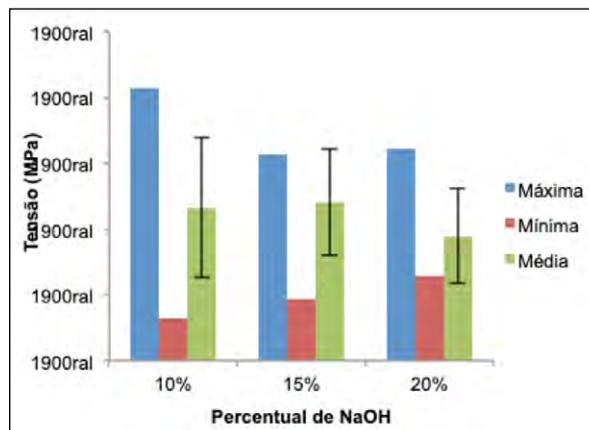
Fonte: dados da pesquisa

A Figura 12 apresenta um comparativo da propriedade de tensão em função do percentual de NaOH. A elevada dispersão apresentada no desvio padrão pode ser explicada pela variação da área na secção transversal, característica das fibras de bambu.

Pode-se observar que o aumento para 15% na concentração de NaOH eleva a média do limite de tensão. Contudo, para concentrações de 20%, existe uma diminuição dessa tensão, o que pode ser explicado pela degradação ocasionada na parede das fibras.

Conforme mostra a Tabela 6, o percentual de alongamento na ruptura das fibras foi afetado pelo tratamento químico. Observou-se uma tendência de diminuição no alongamento conforme se aumenta a concentração. Tal resultado também sofre influência da área da secção transversal, que possui uma variação elevada.

Figura 12 – Comparativo da propriedade de tensão



Fonte: dados da pesquisa

Tabelas 6 – Resultados do ensaio de tração para tratamento de 10h

NaOH (%)	Alongamento na ruptura (%)			
	Máxima	Mínima	Média	Desvio padrão
10	3,44	1,116	2,26	0,93
15	3,326	0,624	1,85	0,91
20	3,686	1,011	1,96	0,76
Área da secção (mm ²)				
		Média	Desvio padrão	
10		0,12	0,16	
15		0,05	0,06	
20		0,14	0,16	

Fonte: dados da pesquisa

3.3 DoE - Design of Experiments

Através do Planejamento de Experimento foi realizada uma análise de variância para a propriedade mecânica de resistência à tração das fibras de bambu tratadas, conforme pode-se observar na Tabela 7 que apresenta a ANOVA, foram utilizados os seguintes dados:

- intervalo de confiança de 95%;
- nível de significância de $\alpha=0,05$;
- modelo com interações lineares e quadráticas.

Tabela 7 – ANOVA - Análise de variância

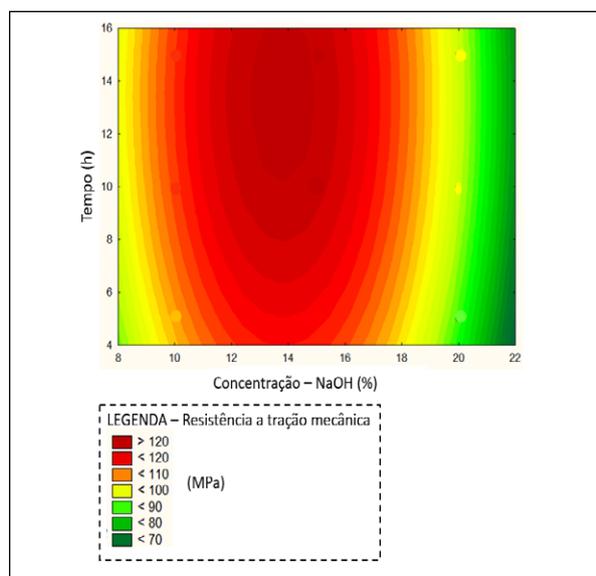
Fatores	SS	df	MS	F	p
(1) Concentração de NaOH (%) L	980,66	1	980,6	28,92	0,00044
(2) Concentração de NaOH (%) Q	1414,76	1	1414,8	41,72	0,00011
(3) Tempo (h) L	140,08	1	140,08	4,13	0,07
(4) Tempo (h) Q	25,73	1	25,73	0,75	0,4
(5) 1*2	96,9	1	96,9	2,48	0,1395
Erro	508,9	13	39,146		
Total SS	3141,4	17			

Fonte: dados da pesquisa

A análise de variância aplicada aos fatores dos experimentos evidencia que a concentração de NaOH, o tempo e a interação entre eles influenciam na variável resposta (propriedade de tração). Considerando esses efeitos, aproximadamente 91% da variabilidade pode ser explicada por esses fatores ($R^2=0,913$).

A Figura 13 apresenta um gráfico de contorno com a relação entre tempo de tratamento e concentração de NaOH. Pode-se observar que existe uma tendência de aumento na propriedade de tração conforme se aproxima do centro, ou seja, a otimização da tensão ocorre para concentrações de NaOH entre 12% e 16% considerando o tempo de tratamento entre 10 e 16 horas, aproximadamente. Nesse ponto, pode-se obter valores de resistência à tração superiores a 120MPa.

Figura 13 – Gráfico de contorno para análise da resistência à tração



Fonte: dados da pesquisa

Concentrações elevadas de NaOH, superiores a 18%, podem comprometer a resistência à tração. Isso ocorre devido à forte agressão causada à parede das fibras. Utilizando concentrações de 10% a 12% de NaOH, com tempo de tratamento na faixa de 10 a 15 horas, pode-se obter valores de resistência à tração na faixa de 110 a 120 MPa.

De acordo com o a análise de variância, pode-se observar que a condição ideal, para o tratamento químico das fibras de bambu é realizado com 13,42% de NaOH durante, aproximadamente, 14h, podendo-se chegar a valores de resistência à tração superiores a 120MPa.

4 Considerações finais

Este trabalho buscou avaliar a influência do tratamento químico à base de NaOH nas propriedades mecânicas de resistência à tração da fibra de bambu. Pode-se constatar que o tratamento com NaOH contribui para a remoção de extrativos, como a hemicelulose e a lignina presentes na parede das fibras do bambu. Através dos ensaios de tração, nota-se que a resistência das fibras é influenciada pelo tratamento químico.

O planejamento de experimento foi fundamental para determinar quais as melhores condições de contorno para que o tratamento químico possa maximizar a resistência mecânica à tração nos fios de fibra.

De acordo com os resultados apresentados, pode-se determinar que é possível alcançar valores superiores a 120 MPa a depender dos parâmetros de tratamento utilizados.

Foi evidenciado que é possível utilizar algumas condições de tratamento para se alcançar valores distintos na variável resposta. Este trabalho propõe uma condição ideal na qual se maximiza a propriedade mecânica de resistência à tração. Isso pode ser evidenciado pelo modelo de regressão, uma vez que a equação ajustada para o modelo é:

$$R^2 \text{ (MPa)} = - 33,55 (1) + 1,11 (2) + 3,32 (3) + 11,23 (4).$$

REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, C. A.; **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos de matriz poliéster com gravetos ou fibras de taquara (Merostachys sp.)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Materiais. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 92 p. 2012.

ASTM. American Society of Testing Materials. **Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers**, C1557. West Conshohocken, 2014.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu características e aplicações**. Rio Grande do Sul. Editora Agropecuária Ltda. Guaíba. 2004.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibers. **Progress in Polymer Science**, v. 24, n. 2, p. 221-274. DOI: 10.1016/S0079-6700(98)00018-5. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670098000185>. Acesso em: 8 ago. 2021.

COSTA, M. M. E. *et al.* Influence of physical and chemical treatments on the mechanical properties of bamboo fibers. **Procedia Engineering**, v. 200, p. 457-464, 2017. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.064. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817328989?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago. 2021.

DAS, M.; CHAKRABORTY, D. Evaluation of improvement of physical and mechanical properties of bamboo fibers due to alkali treatment. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 107, n. 1, p. 522-527, 2008. DOI: 10.1002/app.26155. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.26155>. Acesso em: 8 ago. 2021.

ECHEVERRI, L. A. S.; GARCÍA, M. E. R. Morphological and structural characterization of bamboo fiber into Culm – *Guadua angustifolia* KUNTH. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1676-1687, 2018. DOI: 10.5902/1980509835363. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/35363>. Acesso em: 8 ago. 2021.

FRANCO, J. P. F. **Aproveitamento da fibra de epicarpo do coco de babaçu em compósito com matriz de epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra**. Dissertação de Mestrado. UFRN. Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais. 2010.

GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 6, p. 637-649. 2005. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2004.06.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946504001337?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago. 2021.

JÄHN, A. *et al.* Characterization of alkali treated flax fibres by means of FT Raman spectroscopy and environmental scanning electron microscopy.

Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, v. 58, n. 10, p. 2271-2279, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1386142501006977?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago. 2021.

KONGKEAW, P.; NHUAPENG, W.; THAMAJAREE, W. The effect of fiber length on tensile properties of epoxy resin composites reinforced by the fibers of bamboo (*Thyrsostachys Siamensis* Gamble). **Journal of the Microscopy Society of Thailand**, v. 4, p. 46-48, 2011.

KUMAR, S.; CHOUDHARY, V.; KUMAR, R. Study on the compatibility of unbleached and bleached bamboo-fiber with LLDPE matrix. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 102, n. 2, p. 751-761, 2010. DOI: 10.1007/s10973-010-0799-4. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-010-0799-4>. Acesso em: 8 ago. 2021.

LAKKAD, S. C.; PATEL, J. M. Mechanical properties of bamboo, a natural composite. **Fibre Science Technology**, v. 14, n. 4, p. 319-322, 1981. DOI: 10.1016/0015-0568(81)90023-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0015056881900233>. Acesso em: 8 ago. 2021.

LI, T. *et al.* Wettability of oil heat-treated bamboo and bonding strength of laminated bamboo board. **Industrial Crops and Products**, v. 69, p. 15-20, 2015. DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092666901500103X?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago. 2021.

LIU, D. *et al.* Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. **Cellulose**, v. 19, p. 1449-1480, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10570-012-9741-1>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10570-012-9741-1> Acesso em: 8 ago. 2021.

LIU, D. *et al.* Starch composites reinforced by bamboo cellulose crystals. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 7, p. 2529-2536, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.11.058. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852409015624?via%3Dihub>. Acesso em: 8 ago. 2021.

OSORIO, L. *et al.* The relationship between the bamboo fibre microstructure and mechanical properties. *In*: European Conference on Composite Materials, 14., Budapest, 2010. **Proceedings ...** Budapest, 2010.

REIS, E. G. **Compósitos de fibras de taquara (*Merostachys* sp.) e matriz de poliéster e**

epóxi. Dissertação. (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) – Setor de Tecnologia, Universidade do Estado de Santa Catarina. 2013.

RUSCH, F. *et al.* Physical-mechanical properties of laminated bamboo panels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, p. 1-8, 2019. DOI: 10.1590/1983-40632019v49s3714. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/p7MndkDDXcwGF68xVxF9dpF/?lang=en>. Acesso em: 8 ago. 2021.

VERMA, C. S.; CHARIAR, V. M. Development of layered laminate bamboo composite and their mechanical properties. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 3, p. 1063–1069, 2012. DOI: 10.1016/j.compositesb.2011.11.065. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836811005348>. Acesso em: 8 ago. 2021.

VIEIRA, A. J. T. *et al.* Aplicação da fibra de bambu aos sistemas industrializados para desenvolvimento de placas de concreto. **Veredas – Revista Eletrônica de Ciências**, v. 9, n. 1, p. 92-106, 2016. Disponível em: <http://veredas.favip.edu.br/ojs/index.php/veredas1/article/view/393>. Acesso em: 8 ago. 2021.

XIE, X. *et al.* Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. **Composites Part B: Engineering**, v. 78, p. 153-161, 2015. DOI: 10.1016/j.compositesb.2015.03.086. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836815002188>. Acesso em: 8 ago. 2021.