

## EFEITO DOS TRATAMENTOS SUPERFICIAIS NAS PROPRIEDADES DO BAGAÇO DA FIBRA DE PIAÇAVA *Attalea funifera Martius*

Cleidiene S. Miranda<sup>a</sup>, Raigenis P. Fiuza<sup>b</sup>, Ricardo F. Carvalho<sup>c</sup> e Nadia M. José<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, 40170-115 Salvador – BA, Brasil

<sup>b</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, 44096-486 Feira de Santana – BA, Brasil

<sup>c</sup>Departamento de Construção e Estrutura, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 40210-630 Salvador – BA, Brasil

Recebido em 13/02/2014; aceito em 29/09/2014; publicado na web em 13/11/2014

EFFECT OF SURFACE TREATMENT ON PROPERTIES OF BAGASSE PIASSAVA FIBER *Attalea funifera Martius*. The aim of this study was to investigate the effect of surface treatment on the properties of waste piassava fiber with the goal of aggregating additional business value. The fiber surface was subjected to four different treatments. In the present work, it was found that washing the fibers with water partially removed impurities from the surface rendering it rougher. Alkaline treatment removed impurities from the surface, hemicellulose and lignin, improving the flexibility of the fibers. Increasing the concentration of washing agents, times and temperature of treatment promoted intense defibrillation on the fiber surface, reducing its strength.

Keywords: piassava fiber; surface treatments; properties.

### INTRODUÇÃO

Os últimos anos foram marcados pelo rápido desenvolvimento na área de compósitos reforçados por fibras naturais.<sup>1-3</sup> Este desenvolvimento tem ocorrido porque as fibras vegetais oferecem várias vantagens em relação às fibras sintéticas: baixa densidade, alta deformabilidade, baixa abrasividade aos moldes e aos equipamentos de mistura, podem ser facilmente modificadas por agentes químicos, são biodegradáveis e apresentam baixo custo. Além de todas as vantagens discutidas na literatura, é sempre relevante ressaltar que estes materiais são provenientes de fontes renováveis ilimitadas.<sup>4-6</sup>

As fibras naturais podem ser consideradas como compósitos de fibrilas de celulose mantidas coesas por uma matriz constituída de lignina e hemicelulose, cuja função é agir como barreira natural à degradação microbiana e servir como proteção mecânica. Suas características estruturais estão relacionadas à natureza da celulose e à sua cristalinidade.<sup>7</sup> A escolha da fibra na fabricação de compósitos poliméricos depende da sua disponibilidade na região. O Brasil se destaca na produção de algumas fibras naturais para possíveis aplicações em compósitos poliméricos tais como: sisal,<sup>8-11</sup> bagaço de cana-de-açúcar,<sup>12-15</sup> banana,<sup>16</sup> curauá,<sup>17-18</sup> coco,<sup>19-20</sup> juta,<sup>21</sup> piaçava,<sup>22,23</sup> entre outras.

A palmeira *Attalea funifera Martius*, conhecida por piaçava ou piaçaba, é espécie nativa e endêmica do sul do Estado da Bahia. A importância econômica da piaçaveira está na extração das suas fibras industriais, destacando-se a fabricação de vassouras, enchimento nos assentos de carros, cordoaria e escovões. O rejeito obtido de sua limpeza, que é conhecido como bagaço, fita ou borra, serve para cobertura de casas e quiosques nos meios rurais e urbanos.<sup>23</sup> Esse material é classificado com a denominação de “refugo” no Decreto Federal 42.430, de 14-10-1957, por não apresentar as mesmas características da fibra.

Ao realizar investigação sobre as propriedades das fibras de piaçava observou-se na composição química um alto teor de lignina, comparável ao teor encontrado na fibra de coco. A análise cristalográfica revelou que a celulose I é o principal constituinte cristalino, conferindo à fibra boas propriedades térmicas e mecânicas. Essas

características fazem da fibra de piaçava um material promissor para a utilização como reforço em compósitos poliméricos.<sup>24-28</sup>

As propriedades mecânicas, assim como a composição das fibras naturais, apresentam variações consideráveis em seus valores. Estes fatores contribuem para que, em aplicações técnicas, seja necessária a modificação destas fibras com fins específicos. Estas modificações visam homogeneizar suas propriedades, diminuir a absorção de umidade e promover a adesão da fibra com a matriz.<sup>5,23</sup>

O objetivo deste trabalho foi modificar e caracterizar termicamente, estruturalmente, morfológicamente e mecanicamente a superfície do bagaço da fibra de piaçava com tratamentos alcalino, ácido, térmico e agente de acoplamento com a finalidade de agregar novo valor comercial ao rejeito industrial gerado na fabricação de vassouras (o bagaço) para aplicação como reforços em matrizes poliméricas.

### PARTE EXPERIMENTAL

#### Materiais

Utilizou-se bagaço da fibra de piaçava do tipo *Attalea funifera Martius*, de ocorrência nativa no município de Ilhéus no sul do estado da Bahia. O hidróxido de sódio (NaOH), o ácido acético glacial e o anidrido acético utilizados foram da marca VETEC e o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) da marca MERCK.

#### Método

O bagaço da fibra de piaçava antes dos tratamentos superficiais foi lavado com água destilada e seco em estufa a 100 °C por 48 h. O tratamento alcalino e ácido das fibras de piaçava seguiu o descrito na literatura:<sup>29</sup> foram preparadas soluções de 10% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 4 e 10% NaOH (m/v) e imersas as fibras por 1 h a temperatura ambiente. Em seguida, as fibras foram lavadas com água até que atingissem o pH igual a sete e depois com água destilada. Após essa etapa, as fibras foram secas em estufa a 100 °C por 48 h. Para o tratamento térmico as fibras foram imersas em um béquer com água quente a 80 °C por 1 h. Em seguida, as fibras foram lavadas com água destilada. Após essa etapa, as fibras foram secas em estufa a 100 °C por 48 h. No tratamento de acetilação as fibras de piaçava foram submetidas à

\*e-mail: nadia@ufba.br

lavagem e mercerização em solução 4% de NaOH, e em seguida foram imersas em ácido acético glacial 97% por 1 h a temperatura ambiente. Depois filtradas e imersas por 5 minutos em anidrido acético 97% acidificado com duas gotas de ácido sulfúrico concentrado 98%, e posteriormente filtradas, lavadas com água até pH próximo de 7 e secas em estufa a 100 °C por 48 h.<sup>30</sup> As amostras foram denominadas: lavada, 4% NaOH, 10% NaOH, 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, térmico, acetilação.

### Caracterizações

O comportamento térmico das amostras foi analisado numa termobalança Shimadzu, Modelo TGA-50, de 25 °C a 1000 °C, a uma taxa de aquecimento de 20 °C min<sup>-1</sup>, sob fluxo de nitrogênio.

A espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foi realizada em um espectrômetro de Marca BOMEM, modelo ABB BOMEM MB SERIES. Os espectros foram registrados utilizando amostragem em KBr na forma de pastilhas, na faixa espectral de 4000 a 400 cm<sup>-1</sup>.

Os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de raios X, Marca Shimadzu, modelo XRD-6000, operando com radiação CuK $\alpha$  ( $\lambda=1,548$  Å), com tensão de 30 kV e corrente de 20 mA, utilizando-se as amostras sob a forma de pó. Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente (25 °C) e com ângulos 2 $\theta$  entre 5 e 80° (2° min<sup>-1</sup>). O índice de cristalinidade das fibras foi calculado a partir da Equação 1:

$$I_c = \frac{I(002) - I(am)}{I(002)} \times 100 \quad (1)$$

Em que: I(002) é a intensidade correspondente ao pico do material cristalino (2 $\theta$  = 22°) e I(am) corresponde à intensidade da banda referente ao material amorfo (2 $\theta$  = 16°).<sup>31</sup>

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura da Marca Shimadzu, Modelo SS-550. Todas as amostras foram recobertas com ouro, com auxílio de injeção de argônio.

O ensaio de tração dos monofilamentos das fibras foi realizado seguindo os procedimentos recomendados pela norma ASTM D3379-75, em uma Máquina Universal de Ensaio (MUE) da marca Emic, modelo DL2000 e célula de carga de 50 N. A velocidade de ensaio foi de 3 mm min<sup>-1</sup>. Os moldes foram confeccionados seguindo a norma ASTM D3379-75,<sup>32</sup> os filamentos foram cortados em 5 cm e colados individualmente em moldes de papel. Foram feitos 30 corpos de provas para cada amostra.

A densidade das amostras foi determinada utilizando-se um picnômetro a gás hélio, marca MICROMERITICS®, modelo Accupyc 1340.

A composição química foi determinada pelo método de Van Soest e realizada em triplicata.<sup>33</sup>

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da degradação térmica da fibra de piaçava lavada e tratadas são mostrados na Figura 1. Ao analisar a curva termogravimétrica da fibra lavada com água observa-se a perda de água até a temperatura de 150 °C e a degradação da borra que se inicia na temperatura 220 °C com perda de massa de 85% até 600 °C. A curva DTG da fibra lavada, Figura 1 (b), apresentou três eventos distintos com máximos em cerca de 70, 310 e 380 °C, indicando as suas etapas de degradação. O primeiro evento é atribuído à perda de água presente na borra, o segundo e o terceiro eventos são atribuídos à degradação da hemicelulose e celulose. Estes valores estão de acordo com resultados da literatura.<sup>24,29,34</sup> Apesar da fibra de piaçava possuir uma coloração marrom escura, característica de fibra rica em lignina,

observou-se no seu perfil termogravimétrico o não aparecimento do evento relacionado à temperatura máxima onde ocorre a degradação da lignina. Segundo Yang e colaboradores, entre os três componentes, a lignina é o constituinte mais difícil de decompor.<sup>34</sup> Sua decomposição acontece lentamente sob a faixa da temperatura 100 – 900 °C, mas a uma taxa muito baixa de perda de massa.

Ao comparar as curvas termogravimétricas (TG/DTG) da fibra de piaçava lavada com as tratadas com 4 e 10% de NaOH observa-se o mesmo início da degradação próximo a 220 °C e perda de massa aproximadamente de 80% e 90%, respectivamente, conforme a Figura 1. Nas curvas de DTG observaram-se a diminuição da intensidade do pico referente à hemicelulose com máximo em cerca de 300 °C na amostra tratada com 4% de NaOH e o desaparecimento deste mesmo pico nesta região na amostra tratada com 10% de NaOH, com aparecimento de um único pico mais largo com máximo em 334 °C. Ao aumentar a concentração da solução alcalina observa-se mais nitidamente a remoção parcial da hemicelulose e lignina. Nas fibras tratadas com temperatura e ácido sulfúrico não se observou alteração quando comparado com a curva termogravimétrica da fibra lavada com água. A fibra acetilada apresentou uma sobreposição dos eventos relacionada à degradação da hemicelulose e celulose devido à presença de novos grupos, que possivelmente degradam nesta temperatura.

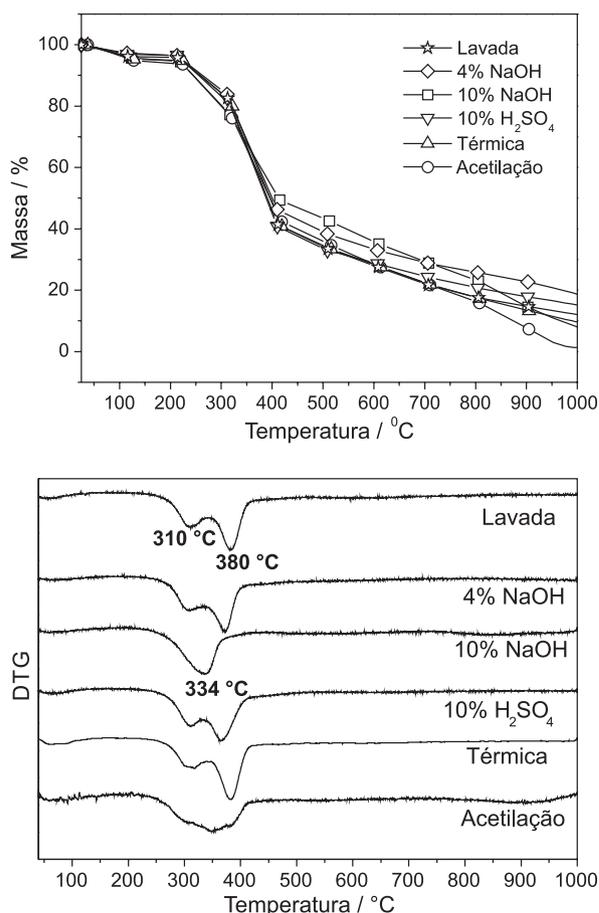


Figura 1. Curvas de TG (a) e DTG (b) das fibras de piaçava lavada e tratadas

A espectroscopia na região do infravermelho foi empregada para analisar as estruturas químicas das amostras. Os espectros na região do infravermelho da fibra lavada e tratada são mostrados na Figura 2. Pode-se observar a presença dos grupos funcionais dos três componentes da fibra que são constituídos por alceno, ésteres, aromáticos, cetonas e álcool, com diferentes grupos funcionais contendo oxigênio,

por exemplo: O-H ( $3400 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ), C=O ( $1765 - 1715 \text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C ( $1270 \text{ cm}^{-1}$ ), e C-O-H ( $1050 \text{ cm}^{-1}$ ).<sup>31</sup> Ao comparar os espectros das fibras mercerizadas e o espectro da fibra sem tratamento observou-se que houve um desaparecimento das bandas em  $1740$  e  $1250 \text{ cm}^{-1}$  com o aumento da concentração da solução alcalina, atribuídas principalmente a modos de vibração de grupamentos C=O e C-O-C presentes na lignina e na hemicelulose, que foram parcialmente removidos durante a mercerização. Em  $1512 \text{ cm}^{-1}$  foi observado um pico associado à vibração do C-H do anel aromático, presente principalmente na lignina. Houve uma diminuição da intensidade do evento com o aumento da concentração da solução alcalina.<sup>35</sup> Ao comparar o espectro da fibra sem tratamento com a tratada termicamente e com ácido sulfúrico revela que não houve nenhuma alteração nas bandas referentes aos grupos funcionais presentes na hemicelulose, celulose e lignina. Ao analisar o espectro da fibra acetilada foi observado o aparecimento das bandas nas regiões de  $1750 \text{ cm}^{-1}$  e  $1240 \text{ cm}^{-1}$  (que estavam menos acentuadas devido à lavagem superficial com a solução de 4% NaOH antes da acetilação) no espectro atribuído aos estiramentos dos grupamentos C=O e C-O-C respectivamente, originado pela inserção do acetato nas fibras por meio da reação de acetilação, com a finalidade de indicar que a superfície da fibra foi quimicamente modificada, ilustrado na Figura 2.

Os tratamentos físicos, por exemplo o tratamento térmico, atuam na superfície das fibras, resultando na desfibrilação da superfície. Os tratamentos químicos atuam não só na superfície das fibras, mas podem alcançar camadas mais internas das mesmas. O tratamento de fibras com solução alcalina é muito utilizado como pré-tratamento ou revestimento das fibras naturais, pois neste sistema ocorre a quebra das ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, conferindo uma superfície mais rugosa que, em compósitos de matrizes poliméricas, pode auxiliar na ancoragem mecânica. A remoção de alguns constituintes (lignina e hemicelulose) aumenta o grau de cristalinidade destas fibras e facilita a separação das microfibrilas de celulose presentes.<sup>14</sup>

A baixa densidade da fibra é de grande interesse industrial devido à possibilidade de produzir materiais resistentes e leves. Como mostrado na Tabela 1, o rejeito da fibra de piaçava possui uma baixa densidade e, ao decorrer dos tratamentos, a mesma variou, diminuindo muito pouco com os tratamentos alcalinos e com ácido sulfúrico. A densidade das fibras aumentou com o tratamento de acetilação devido ao acréscimo de novas estruturas na superfície da fibra.

Por meio do detergente neutro é possível separar o conteúdo fibroso do não fibroso. O conteúdo fibroso é insolúvel no detergente e constituído basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e proteínas, também chamado de Fibra em Detergente Neutro (FDN).<sup>33</sup> O principal efeito do hidróxido de sódio sobre os componentes da parede celular caracteriza-se pela hidrólise alcalina das ligações covalentes do tipo éster entre a lignina e os carboidratos estruturais;<sup>36</sup> desta forma, ocorre a solubilização da hemicelulose e de compostos

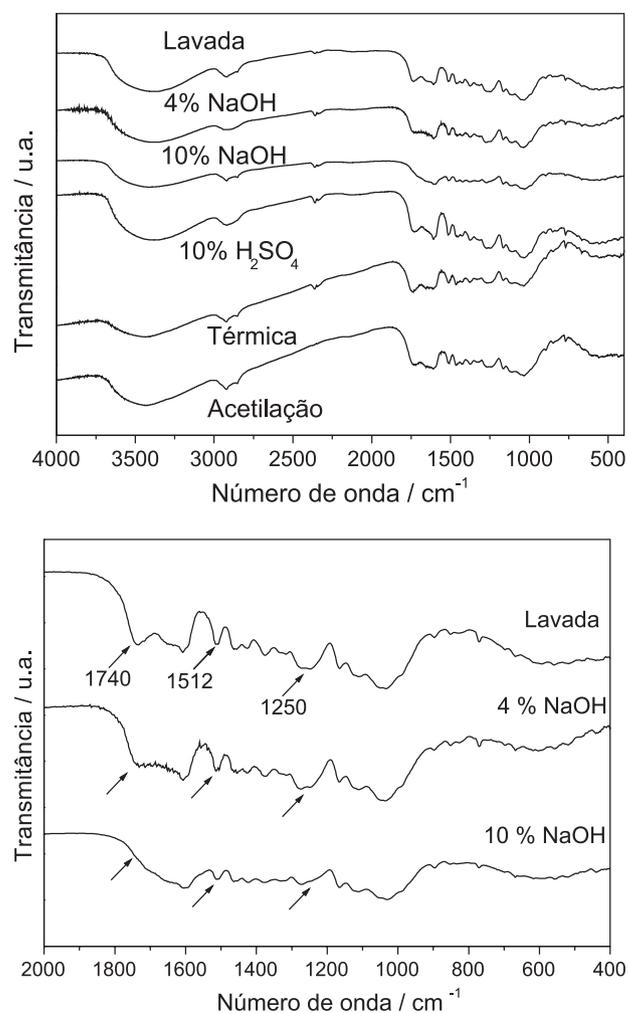


Figura 2. Espectros na região do infravermelho obtidos para as fibras de piaçava lavada e tratada (a) e (b) detalhe das modificações observadas

fenólicos com a consequente diminuição no teor de FDN, conforme a Tabela 1. O aumento da hemicelulose nas fibras tratadas com NaOH ocorreu devido à maior exposição dos componentes da parede celular, aumentando a suscetibilidade dos carboidratos estruturais à digestibilidade, como também à remoção de compostos fenólicos, diminuindo a complexação de proteína e melhorando a digestibilidade “in vitro”.<sup>36</sup> O tratamento de acetilação também diminuiu o teor de lignina na fibra, de acordo com o esperado, pois ela, antes de ser acetilada, recebeu um tratamento superficial com solução de 4% NaOH.

As micrografias da superfície do rejeito da fibra de piaçava estão ilustradas na Figura 3. Diferente de outras fibras lignocelulósicas a

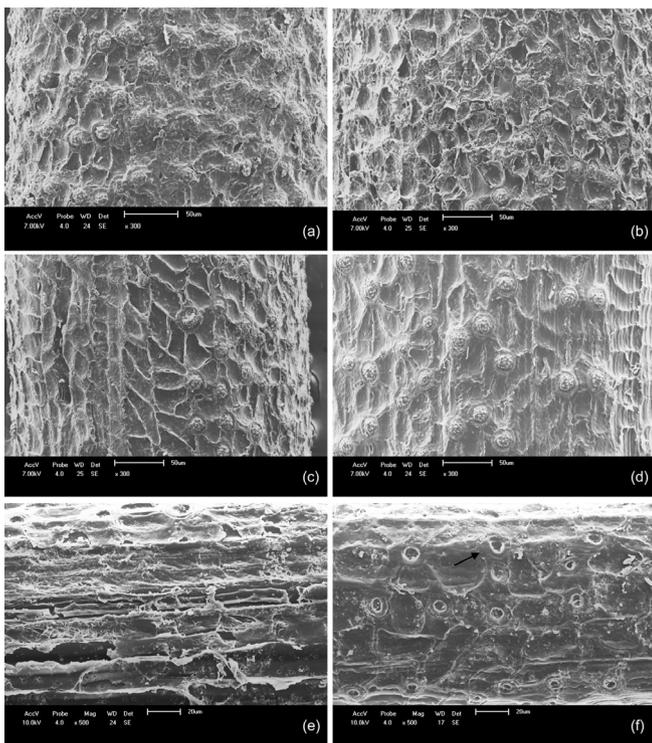
Tabela 1. Valores da resistência à tração ( $\sigma$ ), deformação específica ( $\epsilon$ ), módulo de elasticidade (E) com seus respectivos intervalos de confiança, os índices de cristalinidade, as densidades e composição química das fibras lavada e tratadas

AMOSTRA	$\sigma$ / MPa	E / MPa	$\epsilon$ / %	$I_c$ / %	$\rho$ / g/cm <sup>3</sup>	*FDN / %	Lignina / %	Hemicelulose / %	Celulose / %
Lavada	134,5 ± 13,0	6095,4 ± 966,2	3,4 ± 0,5	62	1,03	98,7	43,1	3,4	52,2
4% NaOH	105,0 ± 10,5	4454,6 ± 484,0	4,6 ± 0,9	63	1,03	97,1	41,6	8,7	46,8
10% NaOH	117,0 ± 7,30	4845,8 ± 500,3	5,2 ± 0,9	65	1,00	87,7	37,4	9,3	41,0
10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	101,4 ± 7,01	3902,4 ± 308,4	4,2 ± 0,6	60	1,17	98,4	43,0	4,4	51,0
Térmica	78,4 ± 14,5	4090,6 ± 436,3	3,5 ± 0,9	63	1,02	98,2	43,0	3,2	52,0
Acetilação	112,8 ± 15,9	4951,3 ± 238,6	2,6 ± 0,8	59	1,40	83,9	33,2	11,5	39,2

\*FDN (Lignina+Hemicelulose+Celulose).

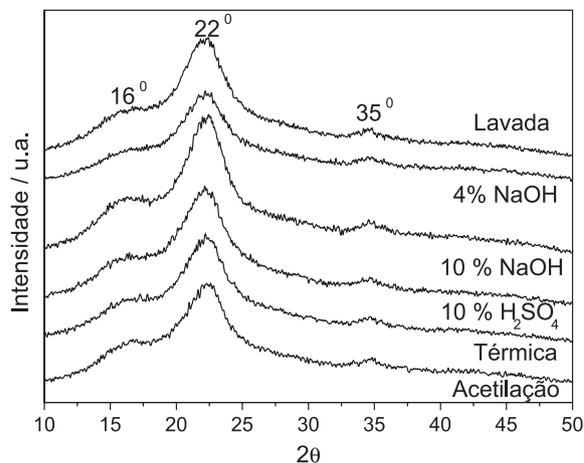
superfície da piaçava apresenta saliências ou protrusões referentes à presença de silício.<sup>24</sup> A maior concentração da solução de hidróxido de sódio deixou a superfície da fibra mais lisa. Ao comparar as superfícies da fibra tratada com ácido e temperatura com a lavada com água, observou-se uma pequena contribuição do tratamento ácido e térmico na limpeza da superfície, mas sim uma desfibrilação da superfície. Ao analisar a superfície da fibra acetilada observou-se a retirada das saliências (protrusões). Visualmente e ao contato manual com as fibras, observou-se que a fibra, após esterificação, apresentou-se mais frágil.

A extração de hemiceluloses e lignina por soluções alcalinas provoca modificações na composição química das fibras e, como consequência, a parede celular parece estratificada, ou seja, com várias camadas. As mudanças químicas começam a ser significativas quando se realiza tratamento com soluções mais concentradas e desta forma a parede celular sofre severas alterações estruturais. Em alguns compostos poliméricos reforçados com fibras vegetais estas mudanças estruturais influenciam no interpenetramento da matriz polimérica nas regiões mais internas dos feixes de fibras, melhorando a adesão fibra-matriz, o que pode resultar no aumento da resistência mecânica,<sup>14</sup> mas dependendo da intensidade do tratamento (concentração, tempo e temperatura) pode causar desfibrilação intensa, diminuindo a resistência mecânica das fibras e consequentemente, o reforço para compostos poliméricos.



**Figura 3.** Micrografias eletrônicas de varredura da superfície do bagaço da fibra de piaçava lavada (a), tratada com 10%  $H_2SO_4$  (b), 4% NaOH (c), 10% NaOH (d), térmica (e) e acetilada (f). Imagens obtidas em ampliação 300x de a-d e 500x de e-f

Estudos com celulose mostraram que a reflexão no plano (002) corresponde aos planos de rede dos anéis glicosídicos, que são os mais densos na estrutura da celulose do tipo I.<sup>7</sup> Os resultados de raios X, Figura 4, apresentam os picos referentes aos planos cristalinos característicos dos materiais lignocelulósicos, entre os quais se pode observar que a reflexão (002) é a mais intensa em todas as partes ao longo da fibra em  $22^\circ$  e dois halos em  $16^\circ$  (plano 101) e  $35^\circ$  (plano 040) referem-se à parte amorfa presente nas microfibrilas (hemicelulose e lignina).



**Figura 4.** Difratogramas de raios X das fibras de piaçava lavada e tratadas

Ao calcular o índice de cristalinidade da fibra lavada e tratada, apresentados na Tabela 1, observou-se um aumento do mesmo proporcional à concentração da solução alcalina. Quanto mais concentrada a solução alcalina, mais eficiente na remoção da fase amorfa (hemicelulose e lignina) presente na fibra, aumentando os domínios cristalinos, fato que, consequentemente, poderá favorecer um melhor desempenho mecânico da mesma.<sup>7</sup>

Estudo das propriedades mecânicas do rejeito da fibra de piaçava foi realizado, calculando a resistência à tração, deformação específica e módulo de elasticidade, apresentados na Tabela 1. A curva de tensão em função da deformação dos monofilamentos das fibras de piaçava possui uma região elástica, seguida de uma região plástica, comportamento o qual teve uma regularidade de acordo com o tratamento.

Ao analisar os resultados da resistência à tração na ruptura dos monofilamentos do rejeito da fibra de piaçava ilustrado na Tabela 1, observou-se que a fibra lavada com água apresentou a maior média da resistência à tração com  $134,5 \pm 13,0$  MPa. Ao comparar as amostras tratadas o tratamento com 10% NaOH demonstrou ser o mais resistente com a média de  $117,0 \pm 7,3$  MPa.

Conforme a literatura, a variação da resistência à tração e o módulo de elasticidade estão relacionados diretamente com a variação do índice de cristalinidade ( $I_c$ ), ou seja, quanto mais celulose presente nas fibras mais cristalina a fibra é, deixando-a mais resistente.<sup>8</sup> Logo, os resultados obtidos mostram que o tratamento com hidróxido de sódio 10% foi o mais eficiente na remoção da região amorfa, favorecendo para o aumento do índice de cristalinidade da fibra, consequentemente, proporcionando um bom desempenho mecânico. Mas, estudos realizados para correlacionar a estrutura e as propriedades mecânicas em fibras naturais têm demonstrado que o desempenho mecânico das fibras naturais depende também de outros parâmetros estruturais como o ângulo ou orientação das microfibrilas e cristais de celulose que compõem a fibra, e do número, comprimento, largura das células unitárias e conteúdo de lignina presente na fibra.<sup>8</sup>

Estudos sobre o tratamento alcalino em fibras de juta, por exemplo, mostraram que a remoção de lignina e hemicelulose afetaram as características de tração das fibras. Quando as hemiceluloses são removidas, a região interfibrilar provavelmente se torna menos densa e menos rígida, permitindo que as fibrilas se tornem mais capazes de se reorganizarem na direção da deformação. Quando fibras naturais são estiradas, esses rearranjos entre as fibrilas podem resultar em uma melhor distribuição de carga, resultando no desenvolvimento de maior tensão por parte da fibra. Em contraste, o amolecimento da região interfibrilar na matriz afeta adversamente a transferência de tensão entre as fibrilas e, portanto, o desenvolvimento global da tensão da fibra submetida à tração.<sup>15</sup> Como a lignina é removida

gradualmente, o centro da lamela de junção das células pode se tornar mais plástica e bem mais homogênea, devido à eliminação gradual de microvazios.<sup>7</sup> Portanto, as fibras lavadas com água foram mais resistentes à tração do que as amostras tratadas, devido ao fato de possuírem maior quantidade de lignina, constituinte responsável pela rigidez da parede celular. E o tratamento com 10% de NaOH foi o mais eficiente entre os resultados das amostras tratadas devido à eficiência da remoção parcial da fase amorfa da celulose, promovendo um melhor empacotamento das cadeias de celulose. Esses resultados reforçam as discussões e conclusões de TG, FTIR, DRX e MEV.

As fibras tratadas termicamente apresentaram o menor desempenho mecânico  $78,4 \pm 14,5$  MPa, com 95% de confiança, provavelmente a temperatura do tratamento ( $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) favoreceu para alguma mudança na orientação ou no ângulo das microfibrilas desfavorecendo o seu desempenho mecânico, confirmando o resultado do MEV quando foi observado desfibrilamento da superfície.

Ao analisar os valores do módulo de elasticidade (ilustrado na Tabela 1), observou-se com 95% de confiança que a fibra lavada com água apresentou o maior valor de  $6095,4 \pm 966,2$  MPa, devido ao alto teor de lignina presente. Como já foi dito anteriormente, a remoção parcial da lignina promove uma flexibilidade, a depender da concentração, tempo e temperatura do tratamento, que ocasionam uma desfibrilação intensa, diminuindo a resistência das fibras. As fibras tratadas com 4%, 10% NaOH e acetilada com 95% de confiança apresentaram valores próximos,  $4454,6 \pm 484,0$ ,  $4845,8 \pm 500,3$  e  $4951,3 \pm 238,6$  MPa, respectivamente. A fibra acetilada, apesar de apresentar bons desempenhos mecânicos, visualmente e manualmente, apresentou-se frágil, com perdas relativamente grandes dos monofilamentos ao executar o teste mecânico. As fibras tratadas termicamente e com ácido sulfúrico, com 95% de confiança, apresentaram os menores valores do módulo de elasticidade, comprovado pelas micrografias os tratamentos promoveram um intenso desfibrilamento da superfície.

As amostras tratadas com 10% NaOH com 95% de confiança apresentaram maiores deformações específicas  $5,2 \pm 0,9\%$  e as amostras acetiladas apresentaram os menores valores de deformações  $2,6 \pm 0,8\%$ , fato ilustrado na Tabela 1.

## CONCLUSÃO

No presente trabalho observou-se que a lavagem de fibra de piaçava com água removeu parcialmente as impurezas da superfície das fibras, deixando-a mais rugosa. Já o tratamento alcalino removeu impurezas da superfície e retirou parcialmente a lignina e hemicelulose, promovendo maior flexibilidade na fibra. O aumento da concentração dos agentes de lavagem, os tempos e a temperatura do tratamento promoveram a desfibrilação intensa na superfície da fibra, diminuindo a resistência da mesma. Entretanto, a lavagem e secagem das fibras mostraram-se como o melhor tratamento, preservando os maiores valores das propriedades mecânicas das fibras. Adicionalmente, a lavagem é um processo menos custoso, seguro e menos agressivo ao meio ambiente, sem geração de passivo ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências FAPESB e CNPQ pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- Marengo, V. A.; Vercelheze, A. E. S.; Mali, S.; *Quim. Nova* **2013**, *36*, 680.
- Gomes, T. S.; Visconte, L. L. Y.; Pacheco, E. B. A. V.; *Polímeros* **2013**, *23*, 206.
- Waldman, W. R.; Spinace, M. A.; Mano, B.; Araujo, J. R.; De Paoli, M. A.; *Polímeros* **2013**, *23*, 161.
- Furlan, L. G.; Duarte, U. L.; Mauler, R. S.; *Quim. Nova* **2012**, *35*, 1499.
- Almeida, A. L. F. S.; Almeida, J. R. M.; Barreto, D. W.; Calado, V.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2011**, *120*, 2508.
- Silva, R.; Haraguchi, S. K.; Muniz, E. C.; Rubira, A. F.; *Quim. Nova* **2009**, *32*, 661.
- Bledzki, A. K.; Gassan, J.; *Prog. Polym. Sci.* **1999**, *24*, 221.
- Martin, A. R.; Martins, M. A. Mattoso, L. H. C.; Silva, O. R. R. F.; *Polímeros* **2009**, *19*, 40.
- Iozzi, M. A.; Martins, M. A.; Mattoso, L. H. C.; *Polímeros* **2004**, *14*, 93.
- Jeencham, R.; Suppakarn, N.; Jarukumjorn, K.; *Comp. Part B: Eng.* **2014**, *56*, 249.
- Kanny, K.; Mohan, T. P.; *Composite Interfaces* **2013**, *20*, 783.
- Pitarelo, A. P.; Silva, T. A.; Peralta-Zamora, P. G.; Ramos, L. P.; *Quim. Nova* **2012**, *35*, 1502.
- Santos, F. A.; Queiróz, J. H.; Colodette, J. L.; Fernandes, S. A.; Guimarães, V. M.; Rezende, S. T.; *Quim. Nova* **2012**, *35*, 1004.
- Tita, S. P. S.; Paiva J. M. F.; Frollini, E.; *Polímeros* **2002**, *12*, 4, 228.
- Sanchez, E. M. S.; Cavani, C. S.; Leal, C. V.; Sanchez, C. G.; *Polímeros* **2010**, *20*, 3, 194.
- Balzer, P. S.; Vicente, L. L., Briesemeister, R.; Becker, D.; Soldi, V.; Rodolfo Jr., A.; Feltran, M. B.; *Polímeros* **2007**, *17*, 1.
- Borsoi, C.; Scienza, L. C.; Zattera, A. J.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2013**, *128*, 653.
- Rossa, L. V.; Scienza, L. C.; Zattera, A. J.; *Polym. Compos.* **2013**, *34*, 450.
- Zaman, H. U.; Khan, M. A.; Khan R. A.; Sharmin, N.; *Fibers Polym.* **2011**, *12*, 727.
- Santos, E. F.; Moresco, M.; Rosa, S. M. L.; Nachtigall, S. M. B.; *Polímeros* **2010**, *20*, 215.
- Maffezzoli, A.; Calo, E.; Zurlo, S.; Mele, G.; Tarzia, A.; Stifani, C.; *Compos. Sci. Technol.* **2004**, *64*, 839.
- Bonelli, C. M. C.; Elzubair, A.; Miguez Suarez, J. C.; Mano, E. B.; *Polímeros* **2005**, *15*, 256.
- Miranda, C. S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal da Bahia, Brasil, 2011.
- D'Almeida, J. R. M.; Aquino, R. C. M. P.; Monteiro, S. N.; *Composites, Part A* **2006**, *37*, 1473.
- De Deus, J. F.; Monteiro, S. N.; D'Almeida, J. R. M.; *Polym. Test.* **2005**, *24*, 750.
- Satyanarayana, K. G.; Guimarães, J. L.; Wypych, F.; *Composites, Part A* **2007**, *38*, 1694.
- Ferreira, M. S.; Sartoria, M. N.; Oliveira, R. R.; Guvenb, O.; Moura, E. A. B.; *Appl. Surf. Sci.* **2014**, article in press.
- Miranda, C.S.; Fiuza, R. P.; Oliveira J.; Carvalho R. F.; Guimarães, D. H.; José, N. M.; *Macromol. Symp.* **2012**, *319*, 74.
- Spinace, M. A. S.; Feroseli, K. K. G.; De Paoli, M. A.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2009**, *112*, 3686.
- Martins, M. A.; Joekes, I.; *J. Appl. Polym. Sci.* **2002**, *89*, 2507.
- Morán, J. I.; Alvarez, V. A.; Cyras, V. P.; Vázquez, A.; *Cellulose* **2008**, *15*, 149.
- American Society for Testing and Materials; *Standard Test Method For Tensile Strength And Young's Modulus For High-Modulus Single-Filament Materials*, ASTM. D3379-751989, 2001.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C.; *Análise de alimentos - Métodos químicos e biológicos*, Viçosa, Minas Gerais, 1981.
- Yang, H.; Yan, R.; Chen, H.; Ho Lee, D.; Zheng, C.; *Fuel* **2007**, *86*, 1781.
- Albinante, S. R.; Pacheco, E. B. A. V.; Visconte, L. L. Y.; *Quim. Nova* **2013**, *36*, 114.
- Pereira, J. M.; Vieira, E. L.; Silva, A. M. A.; Cezar, M. F.; Amorim, F. U.; *R. Bras. Zootec.* **2003**, *32*, 70.