



Avaliação dos efeitos da acetilação nas propriedades das fibras de caroá

Fernanda F. M. Lopes¹, Gilmar T. de Araújo², José W. B. do Nascimento³,
Robelsa F. Vasconcelos⁴ & Júlio M. E. Dantas⁵

RESUMO

As fibras de vegetais são altamente higroscópicas, característica que se apresenta como um dos principais problemas em sua aplicabilidade na produção de fibrocimentos, induzindo a variações dimensionais sob a influência da umidade, deposição dos produtos da matriz em seus poros e a degradação. Visando encontrar alternativas para minimizar os impasses gerados nos compósitos cimentícios com relação às fibras de caroá objetivou-se, neste trabalho, avaliar a aplicação do tratamento de acetilação em diferentes níveis. Sua eficiência foi determinada considerando-se a redução da hidrofiliabilidade, a manutenção do desempenho mecânico das fibras e as modificações na composição química, avaliadas por meio de ensaios de determinação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e térmicas. Os tratamentos de acetilação conduzidos a 120 °C e/ou por 3 h, apresentaram reduções de 42 a 47% na hidrofiliabilidade. Na acetilação a 120 °C, durante 1 h o incremento nas propriedades mecânicas foi superior a 110%. O tratamento também promoveu modificações na composição das fibras com a implantação de grupos acetil, aumentou a estabilidade térmica e reduziu consideravelmente a cristalinidade da celulose, sem gerar degradações que comprometessem sua superfície de adesão.

Palavras-chave: *Neoglaziovia variegata*, tratamento de fibras, resistência

Evaluation of the effects of acetylation surface treatments on 'caroá' fiber

ABSTRACT

Fiber plants are highly hygroscopic and this feature appears as a major problem in its applicability to production of cement composites, inducing dimensional changes under the moisture influence, deposition of the matrix products and degradation. To find alternatives to minimize the problems in cementitious composites with respect to *Neoglaziovia variegata* fibers, it was aimed in this study to evaluate the application of the treatment of acetylation at different levels. Their efficiency was determined by reduction of hydrophilicity, maintaining the mechanical performance of fibers, and changes in chemical composition, measured through the physical, chemical, mechanical and thermal properties. The acetylation at 120 °C and/or 3 h showed reductions of 42 to 47% in hydrophilicity. In the acetylation at 120 °C for 1 h, the increase in mechanical properties was more than 110%. The treatment also changed the composition of the fibers with the introduction of acetyl groups, increased the thermal stability and reduced the crystallinity of cellulose, without degradation in its surface of adhesion.

Key words: *Neoglaziovia variegata*, treatment of fibers, resistance

¹ UAGRA/UFCG. Rua Coronel João Leite 517, Centro, CEP 58840-000, Pombal, PB. Fone: (83) 3343-2376, E-mail: fndmelo@yahoo.com.br

² UAEEQ/UFCG. Fone: (83) 2101-1115. E-mail: gilmartrindade@deq.ufcg.edu.br

³ UAEEA/UFCG. Fone: (83) 2101-1482. E-mail: wallace@deag.ufcg.edu.br

⁴ Mestranda em Engenharia Química/UFCG. Fone: (83) 2101-1115. E-mail: robelsapl@gmail.com

⁵ Químico Industrial. Fone: (83) 2101-3300. E-mail: juliomoura_@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as pesquisas sobre o emprego de fibras vegetais em compósitos se têm intensificado e diversas fontes de matérias-primas estão sendo exploradas. As fibras celulósicas possuem muitas características que tornam seu uso vantajoso, como baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulo elevados, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo, não são tóxicas, podem ser facilmente modificadas por agentes químicos, são abundantes e provêm de fontes renováveis. Suas propriedades mecânicas são comparáveis às de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais apresentam menor custo que as fibras sintéticas e podem substituí-las em muitas aplicações nas quais o custo é fator mais importante que a resistência (Kuruville et al., 1999).

As fibras vegetais apresentam baixo módulo de elasticidade e elevada resistência a tração, com relação às fibras minerais; quando empregadas em matrizes cimentícias como reforço, propiciam maior resistência ao impacto, consequência da maior absorção de energia com possibilidade de manter trabalho, mesmo após o estado pós-fissurado e promovem, ainda, isolamento termoacústico (Agopyan et al., 2005).

Apesar dos benefícios conferidos às propriedades mecânicas dos compósitos de matriz cimentícia, as fibras vegetais apresentam problemas de durabilidade, relacionados basicamente com a degradação, pela ação do ambiente alcalino da pasta de cimento, aumento dimensional relacionado às variações de umidade e mineralização, pela deposição dos produtos da pasta de cimento em seu interior (Tolêdo Filho et al., 2000; Juárez et al., 2005).

Alternativas para contornar os problemas gerados nas matrizes cimentícias vêm sendo estudadas. Quanto à pasta de cimento, o emprego de materiais pozolânicos se tem mostrado como tratamento efetivo na redução da degradação das fibras pela carbonatação da matriz, consumo do hidróxido de cálcio e redução da alcalinidade (Lima, 2004). Com relação às fibras, as expectativas de melhorias estão associadas a tratamentos através dos quais se objetiva a redução da absorção d'água evitando, consequentemente, sua variação dimensional e a melhoria da compatibilização com a matriz.

Um tratamento químico que tem demonstrado bastante eficiência, é a acetilação, que consiste na modificação química das fibras com anidrido acético, pela substituição das hidroxilas presentes nas paredes celulares das fibras vegetais, pelo grupo acetil, que apresenta caráter apolar com consequente formação de acetato de celulose, proporcionando redução significativa da hidrofiliabilidade.

Com base no exposto deste estudo, objetivou-se determinar a influência do tratamento químico de acetilação em diferentes níveis na redução da hidrofiliabilidade, na composição química e no desempenho mecânico das fibras de caroá.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Química de Biomassa e Recuperação de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande, PB. As

fibras de caroá (*Neoglaziovia variegata*) utilizadas foram produzidas no município de Olivedos, PB. Um lote de fibras beneficiadas foi separado previamente com vistas à realização dos ensaios. Antes da realização do tratamento as fibras de caroá foram lavadas em água, a temperatura ambiente e posteriormente em água morna ($\pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), penteadas e secadas em estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h, para retirada de material residual do beneficiamento presente em sua superfície.

Acetilação

Previamente ao tratamento de acetilação, as fibras foram embebidas em uma solução aquosa de NaOH a 1%, por 1 h; em seguida, foram repetidamente lavadas até que apresentassem pH neutro na solução da lavagem final e secadas em estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 24 h. As amostras de fibras mercerizadas e secas foram acondicionadas em um erlenmeyer, sob banho termostático com solução de anidrido acético e ácido acético, na proporção de 1,5:1,0. Os tempos reacionais foram de 1 h e 3 h, sob temperaturas de 100 e $120 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Decorrido o tempo de reação, as amostras foram lavadas, inicialmente em água corrente e em seguida em água destilada, para remoção do produto até pH neutro; depois, as fibras foram levadas à estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 h, para secagem, resfriadas e armazenadas em dessecador até o momento dos ensaios para determinação das propriedades físicas, químicas, mecânicas e térmicas. As amostras de fibras foram denominadas de N/T (não-tratada), A1 (acetiladas a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 h), A2 (acetiladas a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 h), A3 (acetiladas a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 1 h), e A4 (acetiladas a $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 3 h).

Ensaio

Na determinação da absorção d'água as fibras não-tratadas e acetiladas previamente secas, foram pesadas (cerca de 1 g) e imersas em recipientes com água destilada; em seguida, as fibras foram retiradas d'água, secadas superficialmente com papel absorvente e pesadas em balança semianalítica após 1/2, 2 e 24 h do início do teste. Os resultados foram determinados de acordo com a Eq. 1:

$$\text{Absorção de água (\%)} = \left(\frac{P_1 - P_0}{P_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que: P_0 - peso seco inicial, g e P_1 - peso após imersão em água, g

Na avaliação do comportamento mecânico das fibras de caroá pela resistência a tração, utilizou-se uma máquina de ensaios universal, com velocidade de $1\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Para que as garras da máquina pudessem segurar as fibras, corpos-de-prova foram montados com o auxílio de papel tipo cartolina, nas dimensões de $15 \times 2,0\text{ cm}$. As fibras foram coladas a esses corpos-de-prova deixando-se um comprimento útil de ensaio de 10 cm. Utilizaram-se 12 corpos-de-prova para cada tratamento. Na obtenção dos resultados foram contabilizados apenas os 8 melhores ensaios e a seleção foi feita com base na linearidade dos dados experimentais aos calculados por regressão, levando-se em consideração seus respectivos coeficientes de determinação. O diâmetro médio da fibra de

caroá utilizado nos ensaios mecânicos foi determinado com base na leitura dos diâmetros de 30 fibras, obtidos por projeção ampliada através da leitura direta em projetor de perfil vertical.

Para determinação da presença e intensidade de grupos acetil nas fibras de caroá em decorrência do tratamento de acetilação, utilizou-se a espectroscopia na região do infravermelho avaliando-se comprimentos de onda entre 500 e 4000 cm^{-1} . Para o ensaio, as fibras foram secadas em estufa a 80 $^{\circ}\text{C}$, por 24 h, picadas, maceradas e prensadas em pastilhas de NaCl. Para obtenção das curvas termogravimétricas (TGA) as amostras de caroá, em quantidades próximas a 5 mg, foram degradadas com razão de aquecimento de 10 $^{\circ}\text{C min}^{-1}$, entre as temperaturas ambiente e até 500 $^{\circ}\text{C}$, sob atmosfera dinâmica de oxigênio com vazão de 50 mL.min^{-1} , em suportes de alumina. Obtiveram-se simultaneamente às TGA's, as análises térmicas diferenciais (DTA) e as derivadas das termogravimétricas (DTG). A influência da acetilação sobre a cristalinidade das fibras de caroá foi analisada por difratometria de raios-X, utilizando-se radiação Cu, entre ângulos de 5 $^{\circ}$ d $^{\circ}$ 2 θ a 50 $^{\circ}$, com velocidade de varredura de 2 $^{\circ}.\text{min}^{-1}$, voltagem de 40 kv e corrente de 30 mA. Calculou-se a cristalinidade da celulose de acordo com o método empírico de Segal descrito por Subramanian et al. (2005), Eq. 2:

$$\text{Cristalinidade(\%)} = \left(\frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que: I_{002} - intensidade da celulose cristalina em $2\theta \sim 22$; I_{am} - intensidade da celulose amorfa em $\theta = 18^{\circ}$.

Analisaram-se as mudanças morfológicas na superfície das fibras, com base nas imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando-se elétrons secundários e voltagem de aceleração de feixe elétrons entre 15-20 kv.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Absorção de água

Todos os níveis do tratamento de acetilação aplicados demonstraram eficiência na redução da hidrofiliabilidade das fibras de caroá. As reduções na absorção de água foram de 54 a 72% quando comparadas com as fibras não-tratadas, e os melhores resultados observados segundo a análise de variância, foram nos tratamentos A2, A3 e A4. Os tratamentos de acetilação

conduzidos a 120 $^{\circ}\text{C}$ e/ou por 3 h, tiveram reduções da ordem de 42 a 47% na hidrofiliabilidade. A acetilação a 100 $^{\circ}\text{C}$, por 1 h, apresentou 60% de absorção, a maior registrada entre as acetilações em 24 h, e significativamente diferente das demais (Tabela 1) o que, segundo Lopes et al. (2010), pode estar associado a uma reação de acetilação parcial, em que a formação e a deposição do acetato de celulose sobre a superfície das fibras foram insuficientes para causar efeito impermeabilizante na presença de água. O efeito do tempo de reação de acetilação também influenciou na redução da absorção de água nas fibras de caroá. Fibras acetiladas a 100 $^{\circ}\text{C}$, por 3 h, apresentaram ganho de massa de água 18% menor que as acetiladas por 1 h, na mesma temperatura. Quando acetiladas a 120 $^{\circ}\text{C}$, entre 1 e 3 h, este valor foi reduzido a 5% em 2 h e a 2% em 24 h de imersão.

Tabela 1. Absorção de água das fibras de caroá não-tratadas e acetiladas em diferentes tempos e temperaturas de reação

Tratamentos	Absorção de água (%)		
	Tempo de imersão		
	1/2	2	24
N/T	93 aC	100 aB	114 aA
A1	47 bC	55 bB	60 bA
A2	27 cC	37 cB	42 cA
A3	29 cC	45 cB	47 cA
A4	28 cC	40 cB	45 cA

(N/T) não-tratada; (A1) acetiladas a 100 $^{\circ}\text{C}$ por 1 h; (A2) acetiladas a 100 $^{\circ}\text{C}$ por 3 h; (A3) acetiladas a 120 $^{\circ}\text{C}$ por 1 h; e (A4) acetiladas a 120 $^{\circ}\text{C}$ por 3 h

Na coluna (letras minúsculas) e na linha (letras maiúsculas) médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

Propriedades mecânicas

O tratamento de acetilação exerceu grande influência no comportamento mecânico das fibras de caroá, com incremento na resistência mecânica em todos os níveis estudados (Tabela 2). As fibras de caroá não-tratadas apresentaram valores de propriedades mecânicas menores que as acetiladas, com exceção dos valores de alongamento, que se comportaram de forma semelhante. O maior incremento para as propriedades mecânicas das fibras de caroá, com relação às não-tratadas, foi na acetilação a 120 $^{\circ}\text{C}$, por 1 h, em que as máximas registradas até a ruptura foram de 116% para força e tensão, e de 140% no módulo de elasticidade. Referidos resultados podem estar relacionados à remoção parcial de lignina e polioses, causando maior rigidez. Segundo Rong et al. (2001), o aumento na resistência após o tratamento está relacionado à variação estrutural nas células, com a remoção dos materiais de cimentação das fibras vegetais.

Tabela 2. Propriedades mecânicas das fibras de caroá não-tratadas e acetiladas

Tratamentos	Força (N)		Alongamento (mm)		Tensão (MPa)		Módulo de elasticidade (GPa)	
	min-máx	médias \pm s	min-máx	médias \pm s	min-máx	médias \pm s	min-máx	médias \pm s
N/T	1,6-4,0	2,5 \pm	1,2-2,7	1,8 \pm	71,3-182,2	113,4 \pm	3,5-7,4	5,7 \pm
A1	2,7-5,8	4,1 \pm 1,1	0,7-1,9	1,4 \pm 0,34	122,5-262,4	186,2 \pm 48,0	7,9-18,3	14,1 \pm 3,8
A2	2,1-6,4	3,5 \pm 1,5	1,3-2,5	1,7 \pm 0,43	94,9-287,1	156,6 \pm 68,0	4,8-14,8	8,5 \pm 3,2
A3	2,3-7,7	5,4 \pm 1,9	1,0-2,4	1,6 \pm 0,39	102,3-384,5	245,4 \pm 86,1	7,6-18,1	13,7 \pm 3,7
A4	2,4-3,8	3,1 \pm 0,5	1,2-2,2	1,6 \pm 0,40	109,2-171,6	139,3 \pm 21,9	6,0-9,7	8,2 \pm 1,7

min-máx - valor experimental mínimo e máximo; s - desvio padrão da média

(N/T) não tratada; (A1) acetilada a 100 $^{\circ}\text{C}$ por 1 h; (A2) acetilada a 100 $^{\circ}\text{C}$ por 3 h; (A3) acetilada a 120 $^{\circ}\text{C}$ por 1 h e (A4) acetilada a 120 $^{\circ}\text{C}$ por 3 h

Ao estudarem o potencial da acetilação no tratamento de fibras vegetais visando à aplicabilidade em compósitos, Hill et al. (1998), também observaram aumento na resistência a tração, quando as fibras foram modificadas a temperatura de 100 °C relacionada a uma redução do teor de umidade de equilíbrio, como consequência do aumento da hidrofobicidade das amostras. O mesmo comportamento foi observado por Rowell & Banks (1985), ao estudarem tratamentos que conferissem estabilidade dimensional em madeira.

Espectroscopia de infravermelho

Todos os níveis do tratamento de acetilação promoveram modificações na composição das fibras de caroá (Figura 1). Em comprimentos de onda próximos a 3400 cm^{-1} , relativos à presença das hidroxilas (O-H), as fibras acetiladas apresentaram sensível redução na intensidade dos picos com relação às fibras não-tratadas. Também foram observadas variações a cerca de 3000 cm^{-1} , correspondentes às bandas de acoplamentos C-H entre os tratamentos de acetilação e as fibras não-tratadas. Os incrementos nas bandas próximas a 1750 cm^{-1} correspondentes à vibração das carbonilas obtidas pela esterificação das hidroxilas, são grandes indicativos da efetividade da acetilação; nas fibras de caroá a intensidade de pico, neste comprimento de onda, foi bastante expressiva representando grande incremento de acoplamentos C=O após a acetilação. Segundo Tserki et al. (2005) incrementos na banda em 1750 cm^{-1} , correspondem à vibração do grupo carbonila (C=O), gerados a partir da esterificação das hidroxilas presentes nas fibras. A presença e a intensidade de acoplamentos C-H e C-O foram observadas nas fibras acetiladas em comprimentos de onda próximos a 1380 e 1250 cm^{-1} , pelo estiramento nos picos característicos.

Ao estudarem os efeitos da acetilação em fibras de coco, Khalil et al. (2001) constataram que as mudanças químicas mais significativas estavam relacionadas ao estiramento na região das carbonilas (1750 cm^{-1}) e nas ligações carbono-hidrogênio (1375 cm^{-1}) e carbono-oxigênio (1238 cm^{-1}).

Em 1050 cm^{-1} a intensidade de pico diminuiu com a acetilação, em consequência da reação nos estiramentos C-OH relativos à celulose, entre 1060–1050 cm^{-1} .

Análises térmicas

As curvas de TGA, DTG e DTA das fibras de caroá não-tratadas e acetiladas, apresentaram decomposição térmica diferenciada entre elas (Figura 2). O comportamento das curvas de TGA, DTG e DTA para as fibras acetiladas, foi semelhante entre si. A decomposição da amostra de fibras acetiladas a 100 °C por 1 h (Figura 2B), até próximo aos 250 °C, ocorreu de forma contínua, com perda de massa de até 4%. O início da decomposição das polioses ocorridas nas fibras não-tratadas entre 227 e 308 °C, não foi observado nas fibras acetiladas; assim, apenas uma etapa na decomposição foi registrada entre 251 e 375 °C, com perda de massa de 74%. A decomposição das ligninas ocorreu entre 463 e 500 °C, com perda de massa de 7,2%. Um dos efeitos da acetilação foi alterar a temperatura de degradação dos componentes das fibras. Na acetilação a 120 °C, por 1 h (Figura 2C), a decomposição apresentou maior resistência com um incremento de 12 °C, as polioses se

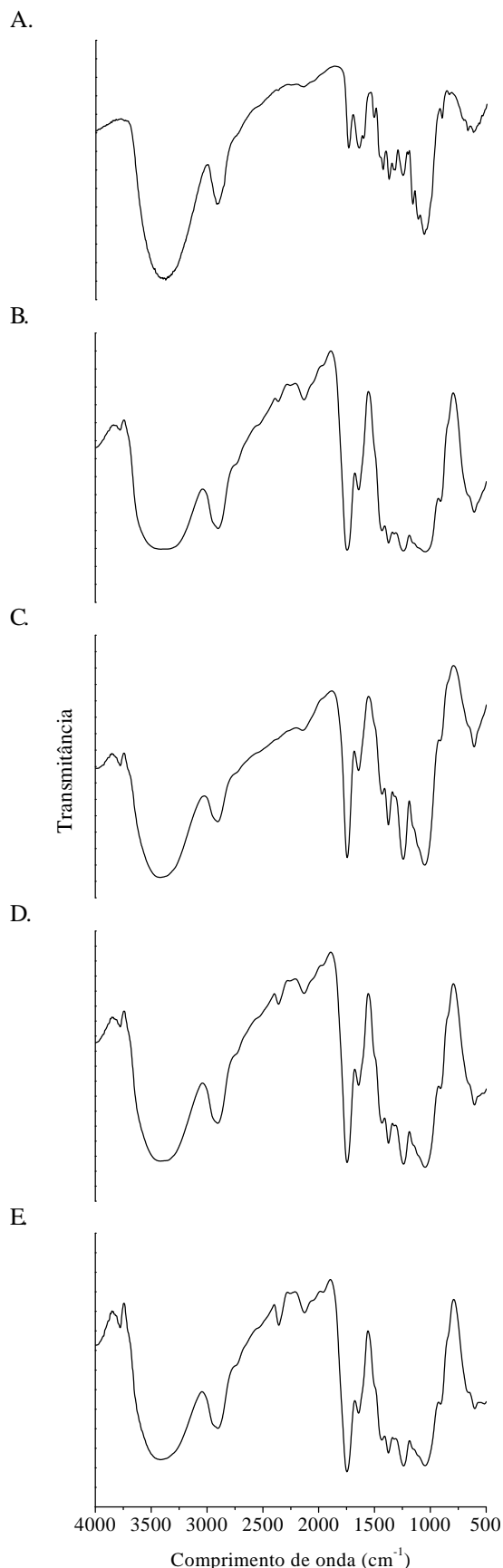


Figura 1. Espectroscopia de infravermelho das fibras de caroá, (A) - não-tratadas e modificadas superficialmente por acetilação, (B) - a 100 °C por 1 h; (C) - a 100 °C por 3 h; (D) - a 120 °C por 1 h; e (E) - a 120 °C por 3 h

decompuseram entre 239 e 373 °C, com perdas de 77% e as ligninas entre 451 e 500 °C, com perdas de 9%. Quando se referenciam os valores obtidos para as fibras não-tratadas (Figura 2A) observa-se que a acetilação, independente da temperatura, retardou a decomposição e aumentou a estabilidade térmica das fibras.

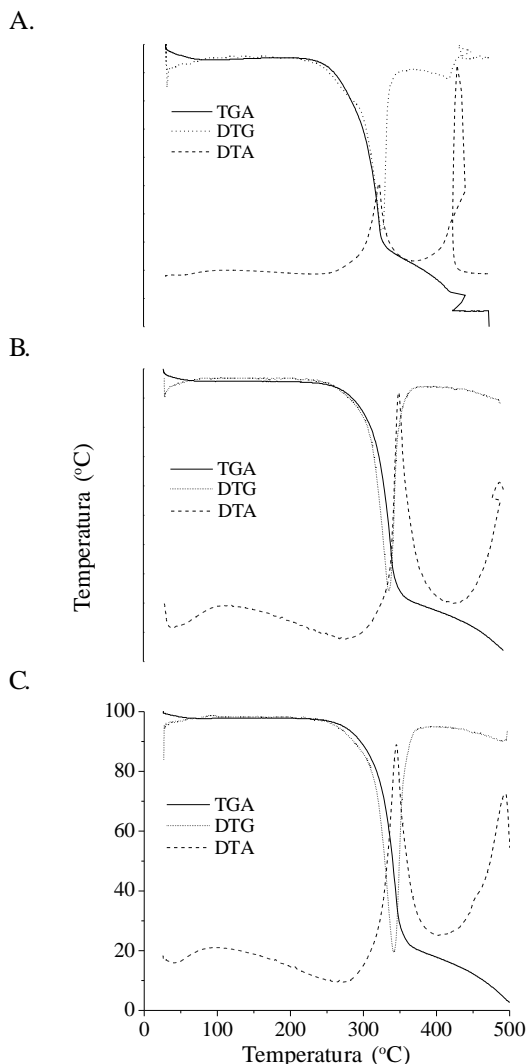


Figura 2. Sobreposição das curvas de TGA, DTG e DTA das fibras de caroá, (A) não-tratadas e acetiladas (B) a 100 °C e (C) a 120 °C, por 1 h

Difratometria de raios-X

Os difratogramas das fibras de caroá não-tratadas e acetiladas são mostrados na Figura 3. Após o tratamento de acetilação a celulose amorfa apresentou um aumento de 47,8% e a cristalina de 1,8%, com relação às intensidades obtidas dos picos característicos das fibras não-tratadas. A máxima intensidade registrada para a celulose cristalina das fibras de caroá acetiladas foi em 22,45°, com índice de cristalinidade de 64%, representando uma redução de 11,2%, quando comparada com as não-tratadas. Segundo Rong et al. (2001) as fibras vegetais acetiladas podem apresentar reduções no índice de cristalinidade em virtude da ação de grupos acetil sobre as cadeias de celulose, pela diminuição da regularidade molecular.

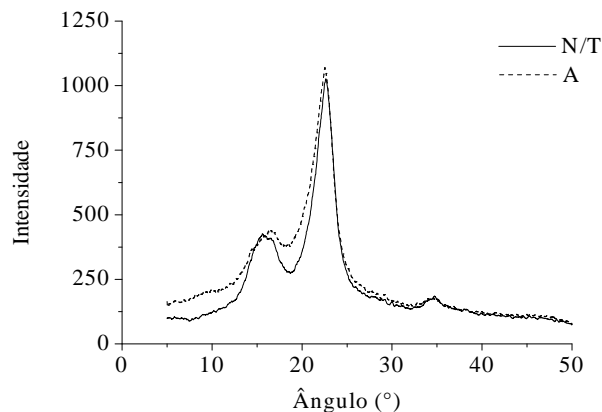


Figura 3. Sobreposição dos difratogramas de raios-X das fibras de caroá, (N/T) não-tratadas e (A) acetiladas a 120 °C, por 1 h

Análise morfológica

As micrografias das fibras de caroá não-tratada e acetilada a 120 °C, por 1 h, são mostradas na Figura 4. Nas fibras acetiladas a 120 °C por 1 h (Figura 4 B), o tratamento promoveu a retirada dos resíduos o que, segundo Bessadok et al. (2009), está associado à eliminação de substâncias que influenciam diretamente na hidrofiliicidade, como a pectina, polioses e a cera presente nas cutículas das fibras e, em parte, as células parenquimáticas, porém não foi o suficiente para a deposição do acetato de celulose sobre a superfície. Pode-se afirmar, neste caso, que para as fibras acetiladas analisadas não houve grandes degradações promovendo apenas uma limpeza superficial.

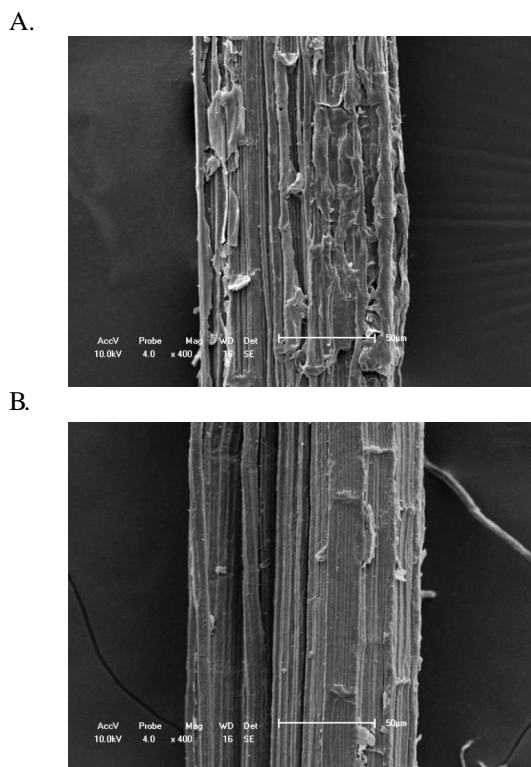


Figura 4. Micrografias eletrônicas de varredura das fibras de caroá, (A) não-tratada e (B) acetiladas a 120 °C, por 1 h. Ampliações de 400X

CONCLUSÕES

1. O tratamento de acetilação a 120 °C por 1 h apresentou os menores percentuais de absorção, com efeito equivalente a outros níveis estudados em tempos maiores.

2. As fibras de caroá apresentaram aumento nos valores de resistência em todos os níveis de acetilação estudados, com destaque para os valores a 120 °C, por 1 h.

3. A acetilação foi eficiente na modificação química pelo acoplamento de grupos apolares, evidenciada pelas intensidades nas bandas próximas a 1240 e 1750 cm⁻¹, características do grupo acetil e, ainda, modificou as características térmicas das fibras de caroá pela redução das etapas de decomposição, com a retirada de compostos constituintes e pelo aumento da estabilidade térmica.

4. O tratamento de acetilação diminuiu consideravelmente o índice de cristalinidade.

5. As fibras de caroá acetiladas apresentaram superfície mais lisa com a eliminação de substâncias, como a pectina e cera, contribuindo com o aumento da hidrofobicidade das fibras.

LITERATURA CITADA

- Agopyan, V.; Savastano Júnior, H.; John, V. M.; Cincotto, M. A. Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: An overview. *Cement & Concrete Composites*, v. 27, p.527–536, 2005.
- Bessadok, A.; Langevin, D.; Gouanvé, F.; Chappey, C.; Roudesli, S.; Marais, S. Study of water sorption on modiued Agave ùbres. *Carbohydrate Polymers*. v.76, p.74–85, 2009.
- Hill, C. A. S.; Khalil, H. P. S. A.; Hale, M. D. A study of the potential of acetylation to improve the properties of plant fibres. *Industrial Crops and Products*, v.8, p.53–63, 1998.
- Juárez, C.; Dura, A.; Valdez, P.; Fajardo, G. Performance of “*Agave lecheguilla*” natural fiber in Portland cement composites exposed to severe environment conditions. *Building and Environment*, v.12, p.1-7. 2005.
- Khalil, H. P. S. A.; Ismail, H.; Rozman, H. D.; Ahmad, M. N. The effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal*, v.37, p.1037-1045, 2001.
- Kuruvilla, J.; Medeiros, S. E.; Carvalho, H. L. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.9, p.136-141, 1999.
- Lima, P. R. L. Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004. 263p. Tese Doutorado
- Lopes, F. F. M.; Araújo, G. T.; Nascimento, J. W. B. do; Gadelha, T. S.; Silva, V. R. de. Estudo dos efeitos da acetilação em fibras de sisal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.7, p. 782-787, 2010.
- Rong, M. Z.; Zhang, M. Q.; Liu, Y.; Yang, G. C.; Zeng, H. M. The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites. *Composites Science and Technology*, v.61, p.1437–1447, 2001.
- Rowell, R. M.; Banks, W. B. Water repellency and dimensional stability of wood. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1985. 24p. General Technical Report FPL-50.
- Subramanian, K.; Kumar, S. P.; Jeyapal, P.; Venkatesh, N. Characterization of lignocellulosic seed fibre from *Wrightia tinctoria* plant for textile applications - an exploratory investigation. *European Polymer Journal*, v.41, p.853–861, 2005.
- Tolêdo Filho, D. R.; Scrivener, K.; England, G. L.; Ghavami, K. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement & Concrete Composites*, v.22, p.127-143, 2000.
- Tserki, V.; Zafeiropoulos, N. E.; Simon, F.; Panayiotou, C. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. *Composites Part A. Applied Science and Manufacturing*, v.36, p.1110-1118, 2005.