

Tratamentos físicos e químicos de fibras residuais de *Cocos nucifera* L. visando aplicação em compósitos cimentícios

Physical and chemical treatments of residual fibers from *Cocos nucifera* L. aiming application in cement composites

Tratamientos físicos y químicos de fibras residuales de *Cocos nucifera* L. con vistas a su aplicación en composites cementosos

Recebido: 01/06/2022 | Revisado: 16/06/2022 | Aceito: 18/06/2022 | Publicado: 30/06/2022

Michell Gleison Sáles Cardoso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9137-0095>

Universidade Federal do Amapá, Brasil

E-mail: michell.gleison.cardoso@gmail.com

Dhimitrius Neves Paraguassu Smith de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8709-385X>

Universidade Federal do Pará, Brasil

E-mail: dhimitrius_smith1@hotmail.com

Lina Bufalino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7688-3140>

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

E-mail: linabufalino1@gmail.com

Tiago Marcolino de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4568-7884>

Universidade do Estado do Amapá, Brasil

E-mail: tiago.souza@ueap.edu.br

Resumo

O trabalho teve como foco avaliar as fibras do mesocarpo do coco (*Cocos nucifera* L.) na condição *in natura* e submetidas a tratamentos físicos e químicos para aplicação em compósitos de cimento Portland. As fibras *in natura* foram submetidas a quatro tratamentos distintos: imersão em água fria a 21°C; imersão em água quente a 90°C; imersão em solução aquosa de NaOH a 5%; e imersão em solução aquosa de H₂O₂ a 24% e de NaOH a 4%. As fibras *in natura* e tratadas foram avaliadas por difração de raios-x, microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier. Testes de calorimetria foram utilizados para avaliar a influência das fibras obtidas de diferentes tratamentos no comportamento exotérmico da hidratação do cimento. Os resultados indicaram que todos os tratamentos aumentaram o índice de cristalinidade, com destaque para o tratamento alcalino seguido de branqueamento (41,2 %). O ensaio de calorimetria indicou que a fibra *in natura* e a tratada com água quente inibiu significativamente a hidratação do cimento. Por outro lado, os tratamentos com água fria, alcalino e alcalino seguido de branqueamento resultaram em fibras com maior potencial para aplicação em compósitos cimentícios.

Palavras-chave: Resíduos; Biomassa; Tratamento alcalino; Compósitos cimentícios.

Abstract

The work aimed to evaluate the coconut mesocarp fibers (*Cocos nucifera* L.) *in natura* and submitted them to physical and chemical treatments for application in Portland cement composites. *In natura* fibers were subjected to four different treatments: immersion in cold water at 21°C; immersion in hot water at 90°C; immersion in 5% NaOH aqueous solution; and immersion in 24% H₂O₂ and 4% NaOH aqueous solution. *In natura* and treated fibers were evaluated by X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and Fourier-transform infrared spectroscopy. Calorimetric tests were used to assess the influence of fibers obtained from different treatments on the exothermic behavior of cement during hydration. The results indicated that all treatments increased the crystallinity index, especially the alkaline followed by bleaching treatment (41.2%). The calorimetry test suggested that *in natura* and hot water treated fibers inhibited the cement hydration significantly. On the other hand, cold water, alkaline, and alkaline followed by bleaching treatments exhibited greater potential for application in cementitious composites.

Keywords: Waste; Biomass; Alkaline treatment; Cement composite.

Resumen

El trabajo se centró en evaluar las fibras del mesocarpo de coco (*Cocos nucifera* L.) en estado *in natura* y sometidas a tratamientos físicos y químicos para su aplicación en composites de cemento Portland. Las fibras *in natura* fueron

sometidas a cuatro tratamientos diferentes: inmersión en agua fría a 21°C; inmersión en agua caliente a 90°C; inmersión en solución acuosa de NaOH al 5%; e inmersión en una solución acuosa de H₂O₂ al 24% y NaOH al 4%. Las fibras *in natura* y tratadas se evaluaron por difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y espectroscopía infrarroja transformada de Fourier. Se utilizaron pruebas de calorimetría para evaluar la influencia de las fibras obtenidas de diferentes tratamientos en el comportamiento exotérmico de la hidratación del cemento. Los resultados indicaron que todos los tratamientos aumentaron el índice de cristalinidad, con énfasis en el tratamiento alcalino seguido del blanqueo (41,2%). La prueba de calorimetría indicó que la fibra *in natura* y la tratada con agua caliente inhibieron significativamente la hidratación del cemento. Por otro lado, los tratamientos con agua fría, alcalinos y alcalinos seguidos de blanqueo dieron como resultado fibras con mayor potencial de aplicación en composites cementosos.

Palabras clave: Residuos; Biomasa; Tratamiento alcalino; Composites cementosos.

1. Introdução

O coco verde (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira da família *Arecaceae* cujo fruto é utilizado como fonte de alimentação, para produção de óleo, fibra, combustível, entre outros. Atualmente é considerado um produto representativo para a economia do norte do país, visto que essa região é responsável por cerca de 14,1% da produção nacional (Martins, et al., 2016). A demanda produtiva é atualmente baseada no uso e consumo apenas de seus itens mais nobres: a água e a polpa do fruto. No entanto, este fruto gera ainda subprodutos sólidos como as fibras, que representam cerca de 85% de seu peso total bruto (Rosa, et al., 2002).

O acúmulo dos resíduos de coco verde representa um problema ambiental e sanitário em diversas regiões do país, principalmente porque sua decomposição pode levar cerca de oito anos (Carijó, et al., 2002; Santos, 2006). A partir desse contexto, fibras de palmeiras amazônicas, ainda pouco estudadas na região norte, levando em consideração seu potencial de aplicação tecnológica, podem se tornar importantes matérias-primas alternativas para diversas finalidades.

O aproveitamento das fibras vegetais mostra-se promissora como agente de reforço para o desenvolvimento de novos materiais e deve-se isso a sua abundância na natureza, origem renovável, facilidade no processamento e baixo custo. Estas variáveis representam vantagens significativas quando são considerados os problemas ambientais causados pelo uso de fibras sintéticas (De Cássia Spacki, et al., 2020).

Esses materiais alternativos que empregam baixo nível econômico e tecnológico com aplicabilidade na construção civil vem sendo desenvolvidos com vários resíduos lignocelulósicos em mistura com cimento Portland (Almeida, et al., 2002; Asasutjarit, et al., 2007; Olorunnisola, 2007, 2008; Karade, 2010). Portanto, o uso desses resíduos como material a ser adicionado ao ligante mineral, como o cimento, fornece uma alternativa interessante para enfrentar o desafio da eliminação desses resíduos e apoio à sustentabilidade ambiental (Abdel-Kader & Darweesh, 2010). Os benefícios incluem baixo custo da matéria-prima, mitigação de desperdícios e redução de impactos ambientais causados pela exploração madeireira (Ronquim, et al., 2014).

A adição dessas fibras ao cimento traz algumas vantagens ao composto, como alta resistência à tração, módulo de elasticidade relativamente elevado e resistência ao fogo, fungos e térmitas, além de sua tecnologia ser desenvolvida com facilidade (Semple, et al., 2002; Wei & Gu, 2009).

Um fator limitante para aplicação de fibras vegetais na confecção de compósitos cimentícios é a incompatibilidade química entre a matriz cimentícia e o reforço que pode atrasar ou até mesmo impedir a pega do cimento (Macêdo, et al., 2012), já que as substâncias químicas das fibras vegetais que ocasionam esse efeito são os açúcares, extrativos, hemiceluloses e lignina (Ferraz, et al., 2012). Portanto, diversos tratamentos vêm sendo aplicados às fibras para melhorar suas propriedades físico-químicas e compatibilidade com matriz cimentícia em compósitos minerais. Pré-tratamentos químicos e/ou físicos de fibras lignocelulósicas podem aumentar a compatibilidade entre reforço e matriz. Dentre eles, a modificação alcalina com NaOH e o branqueamento das fibras são comuns (Bledzki & Gassan, 1999; Mohanty, et al., 2005).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi realizar tratamentos físicos e químicos em fibras de coco visando melhorar suas propriedades e favorecer sua aplicação como agente de reforço em materiais compósitos. Buscando assim, novas tecnologias frente à necessidade crescente de reutilização e reciclagem de matérias-primas que permitam rápida construção.

2. Metodologia

2.1 Material

Nesse estudo foram utilizadas fibras da variedade botânica *Cocos nucifera* L. Após a coleta, as fibras do mesocarpo foram retiradas manualmente com o auxílio de uma marreta, e em seguida, lavadas em água corrente e secas em condições ambientais. Posteriormente, as fibras secas foram acondicionadas em recipientes hermeticamente fechados para realização de testes na condição *in natura* e tratamentos físicos e químicos.

O aglomerante utilizado neste trabalho foi o cimento Portland CP V-ARI, de alta resistência inicial, da marca Campeão, CRH Sudeste Indústria de Cimentos S. A. – Brasil, conforme descrito pela norma NBR 5733 (1991).

2.2 Tratamentos das fibras de coco verde

Fibras *in natura* e tratadas em quatro condições diferentes foram avaliadas. Cada uma das cinco amostras foram preparadas considerando os seguintes processos: (i) Fibras *in natura* (IN) secas em condições ambientais (temperatura média de 30°C e umidade relativa de 78%); (ii) Após imersão em água fria (AF) (21°C) por 24 horas; (iii) Imersão em água quente (AQ) a 90°C por 2 horas em banho-maria; (iv) Tratamento alcalino por imersão em solução alcalina (AL) de NaOH a 5 %. As fibras *in natura* foram previamente imersas em água deionizada por até a completa saturação e, posteriormente, tratadas com a solução alcalina na proporção de 10g/L por 1 hora sob agitação mecânica constante de 100 rpm e temperatura de 80 °C. (v) Tratamento alcalino seguido de branqueamento (AB). O tratamento alcalino foi realizado conforme a metodologia anterior. Para o branqueamento, as fibras foram imersas em solução aquosa de H₂O₂ a 24% e de NaOH a 4% (1v:1v) na proporção de 10g/L por 2 horas sob agitação mecânica constante de 100 rpm e temperatura de 60°C. Ao final de todos os tratamentos, as fibras foram lavadas até observação de água sem coloração e pH neutro e, em seguida, secas em estufa (60 ± 2 °C) por 24 horas.

2.3 Caracterização das fibras *in natura* e modificadas

Os diâmetros médios das fibras *in natura* e tratadas foram obtidos utilizando-se o Software Image J, sendo feito ANOVA a 5% e Tukey para comparação das médias no programa Past. A morfologia superficial das fibras lignocelulósicas foi analisada utilizando um MEV, da marca HITACHI, modelo TM3030PLUS, com aumento de 500x e uma voltagem de 15 kV. As análises de difração de raios-X foram realizadas em um difratômetro da marca Bruker, modelo D2 Phaser, operando em 30 kV, 10 mA e radiação CuK α ($\lambda = 1,54 \text{ \AA}$). As fibras foram compactadas nos sulcos de porta-amostras de acrílico e o escaneamento foi realizado com ângulo de varredura variando entre 5° e 80°. O índice de cristalinidade foi calculado a partir da intensidade máxima do pico de principal no difratograma e da intensidade mínima localizada entre dois picos cristalinos pela fórmula sugerida por Segal et al. (1959). A identificação das fases foi realizada em banco de dados gratuito. A fração cristalina de fibras (CF) foi calculada usando o software DIFFRACT.EVA (Bruker), considerando a área total abaixo do difratograma entre 5 ° e 45 °, após a remoção do fundo e suavização de curvas.

Para a obtenção dos espectros FT-IR utilizou-se o espectrômetro FT-IR com acessório refletância total atenuada (ATR), do inglês “attenuated total reflection”, de diamante (Spectrum Two FT, PerkinElmer Inc., Waltham, MA, EUA) com detector de sulfato de triglicina deuterado (DTGS).

2.4 Avaliação de pastas cimentícias contendo fibras

Um calorímetro semi-adiabático foi usado para monitorar a temperatura durante as pastas de cimento hidratação. O calorímetro semi-adiabático consistia em um termômetro de plástico hermeticamente selado caixa de 34 L, quatro garrafas térmicas hermeticamente fechadas com frasco de vidro interno de 1 L e quatro sensores de temperatura à prova d'água (DS18B20; 0,5 ° C de precisão entre -10 e 85 ° C) conectados a um micro-controlador Arduino (Mega 2560 R3) hardware e software desenvolvido para processar os dados. Os componentes das amostras (fibra / cimento / água) foram misturados e homogeneizado em sacos plásticos de recicláveis (8 x 5 cm) para a produção das pastas. O sensor de temperatura foi introduzido em cada saco plástico, envolvido pela pasta, selado hermeticamente e colocado na garrafa térmica. As garrafas seladas foram armazenadas dentro da caixa térmica e envolta em uma cuba de isopor. O procedimento de preparação não excedeu 5 minutos, e os testes foram realizados por 24 horas. A curva média da temperatura em função do tempo foi determinada usando quatro repetições de cada pasta de cimento, utilizando o índice de CA proposto por Hachmi, Moslemi e Campbell (1990) que considera a área das curvas geradas para calcular a compatibilidade entre cimento e fibras. Posteriormente, o programa Past foi utilizado para análise da variância (ANOVA) a 5% de significância e o teste Tukey para comparação das médias. A fórmula 1 foi utilizada para o cálculo da compatibilidade entre fibras e cimento.

$$C_A = \frac{A_{wc}}{A_{nc}} * 100 \quad (1)$$

Onde:

CA= Índice de compatibilidade em %; A_{wc}= Área da curva calorimétrica da pasta cimento/fibras; A_{nc}= Área da curva calorimétrica da pasta de cimento sem fibras.

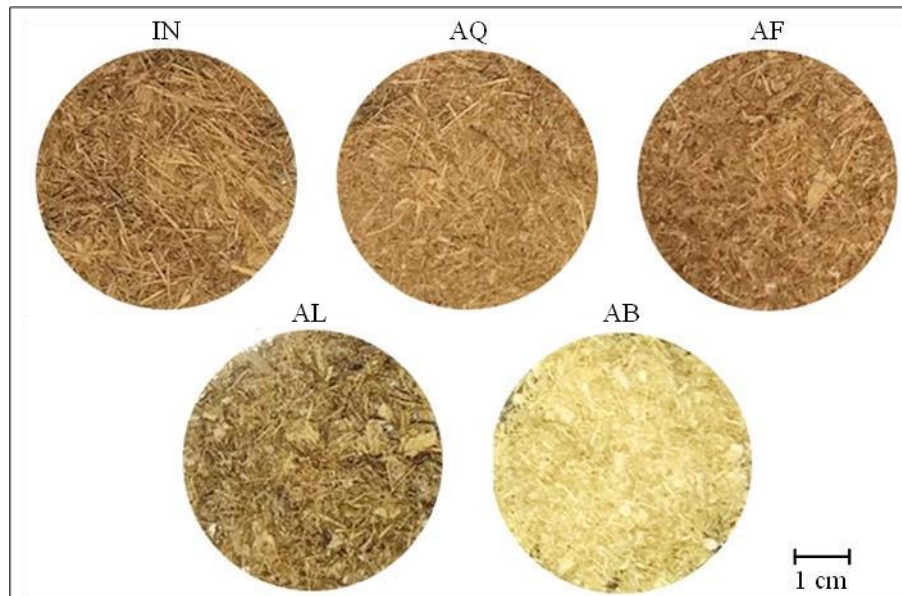
A pasta de cimento pura foi usada como referência e para efeitos comparativos o índice de compatibilidade de cada uma das quatro réplicas foi considerado como 100%.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização morfológica das fibras de coco *in natura* e tratadas

Após os tratamentos com água fria (AF) e água quente (AQ), não houve mudanças significativas na aparência das fibras, que ficaram similares à condição *in natura*. Porém, os tratamentos químicos, alcalino (AL) e alcalino seguido de branqueamento (AB), causaram mudanças visuais na cor e na aparência das fibras (Figura 1).

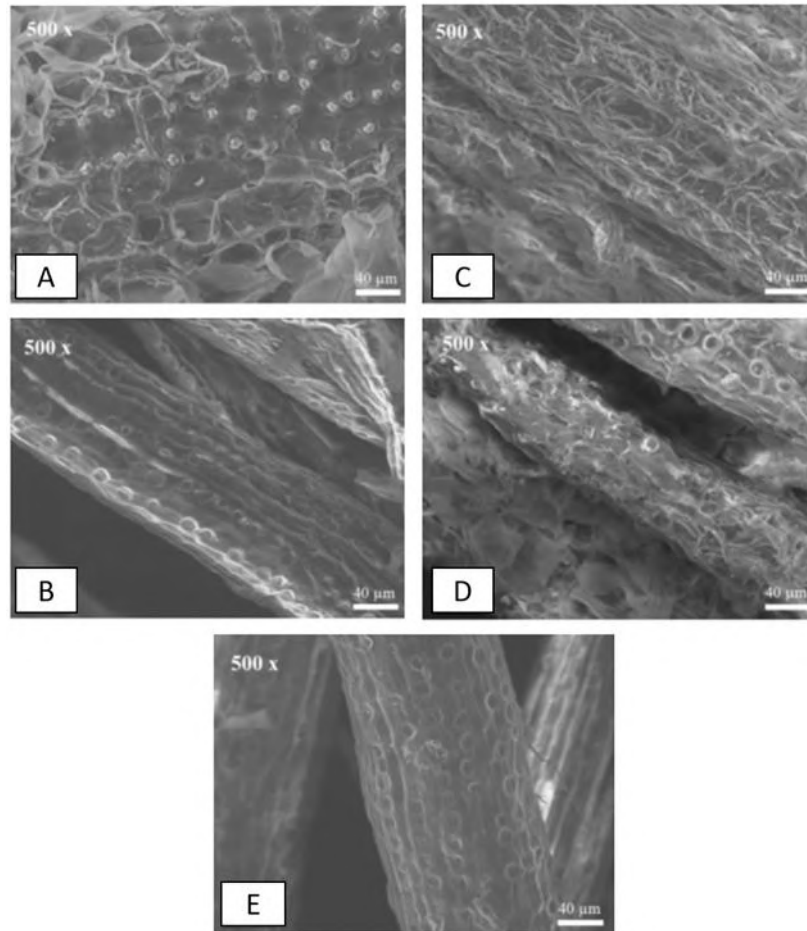
Figura 1. Aspecto visual das fibras. Fibras *in natura* (IN) e tratadas com água fria (AF), água quente (AQ), solução alcalina (AL) e solução alcalina + branqueamento (AB).



Fonte: Autores (2019).

As micrografias das fibras do coco *in natura* (Figura 2A) indicaram uma geometria cilíndrica, com canais de pontuações nas superfícies. Observa-se também as partículas globulares das cavidades e as cutículas em forma de camada, que são peculiares e inerentes das fibras de coco (Fornari Júnior, 2017) (Figura 2).

Figura 2. Fotomicrografia (MEV) das fibras de coco *in natura* (A) e após tratamento: com água quente (B); com água fria (C); alcalino (D); alcalino seguido de branqueamento (E).



Fonte: Autores (2019).

As fibras tratadas com água quente (Figura 2B) indicaram uma superfície com canais desobstruídos, apresentando modificações morfológicas proeminentes quando comparadas com a fibra *in natura*. As fibras tratadas com água fria (Figura 2C) apresentaram uma superfície mais rugosa, onde não foi possível observar desobstrução ou outras modificações significativas.

Com o tratamento alcalino, as hemiceluloses são facilmente hidrolisadas e removidas, enquanto para a lignina espera-se apenas uma degradação parcial (Bufalino, et al., 2015). A remoção desses componentes tornou as superfícies das fibras mais rugosas (Figura 2D). De acordo com Da Silva (2015), a solução alcalina consegue para remover substâncias que estão localizadas na superfície do material lignocelulósico, como as hemiceluloses, a lignina, ceras e gordura, ainda que parcialmente, além de promover cavidades superficiais resultando em modificações morfológicas.

O tratamento alcalino seguido do branqueamento (Figura 2E) resultou em desfibrilação parcial dos feixes de fibras. A maior remoção de componentes superficiais causada por esse tratamento é vantajosa para a adesão fibra-matriz, uma vez que facilita tanto a interligação mecânica quanto a adesão entre as fases (Izani, et al., 2013).

Os dados de ANOVA indicaram que os tratamentos afetaram significativamente (p -valor $< 0,05$) os diâmetros médios das fibras (Tabela 1). De acordo com o teste Tukey, as médias dos diâmetros as fibras *in natura*, tratadas com água fria e água quente pertencem a um mesmo grupo (Figura 3). Entretanto, os diâmetros médios das fibras AL e AB foram classificados em grupos distintos, evidenciando que os tratamentos químicos foram mais eficazes na redução do diâmetro. Além disso, as fibras

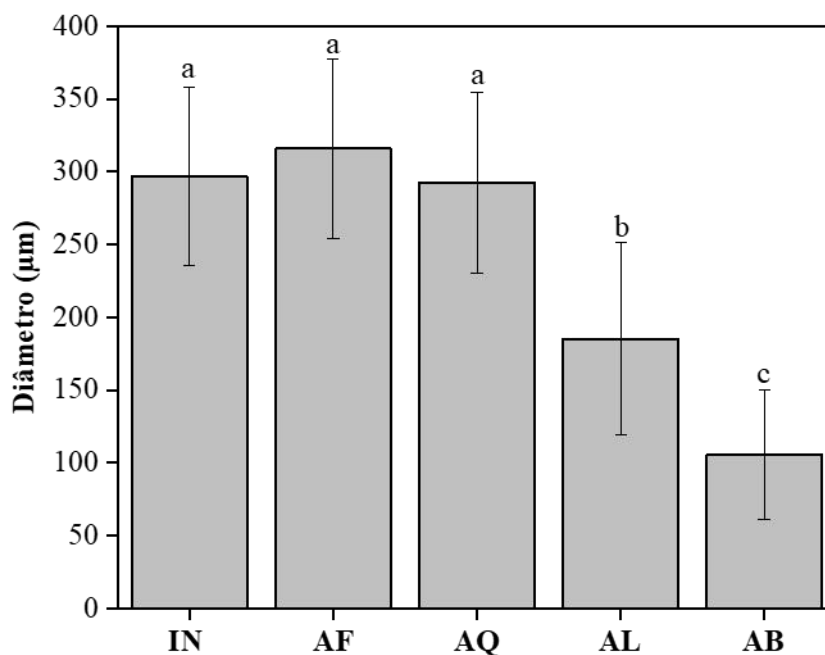
modificadas por tratamento alcalino e por branqueamento estavam visualmente mais dispersas (Figura 1). Na literatura é mencionado que o diâmetro que incluem o lume das fibras de várias plantas mede entre 15 e 30 μm (Ioelovich, 2008). Dessa forma, é possível inferir que, como os valores de diâmetro são consideravelmente superiores a essa faixa, houve apenas separação de feixes de fibras. Possivelmente as fibras, em sua maioria, não foram completamente individualizadas.

Tabela 1. Análise de variância dos diâmetros das fibras *in natura* e após tratamentos.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-valor
Modelo	4	670677,7	167669,4	47,07222	$4,1827 \times 10^{-22}$
Erro	99	352634,2	3561,961	-	-
Total	103	1023312	-	-	-

*GL: grau de liberdade; SM: soma dos quadrados; QM: Quadrados médios.
Fonte: Autores (2019)

Figura 3. Diâmetro médio das fibras de coco *in natura* (IN) e após tratamento com água fria (AF), com água quente (AQ), com solução alcalina (AL) e solução alcalina seguida de branqueamento (AB). Tratamentos classificados pela mesma letra minúscula não apresentam diferença segundo o teste Tukey a 5%.

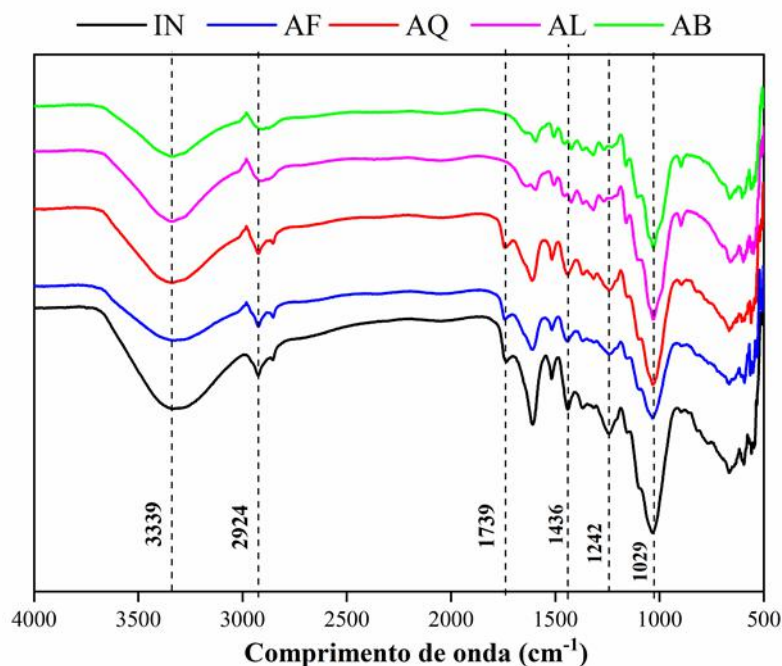


Fonte: Autores (2019).

3.2 Caracterização dos grupos químicos funcionais das fibras de coco *in natura* e tratadas

Análises de FT-IR foram realizadas para caracterizar os componentes químicos principais encontrados nas fibras de coco (Fowler; Hughes; Elias, 2006). (Figura 4). Os principais componentes primários presentes nas fibras de coco são celulose, hemiceluloses e lignina. As bandas formadas em 3339 cm^{-1} são referentes a elongação da ligação $-\text{OH}$. As bandas formadas em 2924 cm^{-1} são características do alongamento da ligação C-H (CH e CH_2) presentes na celulose e nas hemiceluloses (Essabir et al., 2013a). As bandas localizadas em 1739 cm^{-1} podem ser associadas ao grupo carboxil do éster acetílico da celulose e do carboxil aldeído das ligninas (Essabir et al., 2013a; Essabir et al., 2013b).

Figura 4. Espectro de infravermelho das fibras de coco *in natura* (IN) e após tratamento com água fria (AF), com água quente (AQ), com solução alcalina (AL) e solução alcalina seguida de branqueamento (AB).



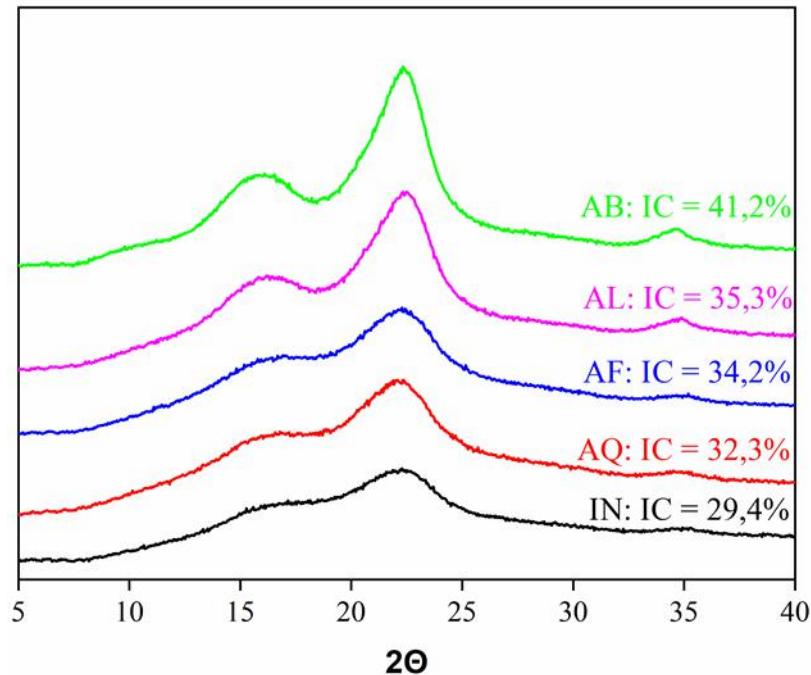
Fonte: Autores (2019).

As bandas presentes em 1436 cm^{-1} podem ser atribuídas à vibração simétrica de CH_2 presente na celulose (Sgriccia, et al., 2008). E as vibrações, características do alongamento das ligações C-O e O-H atribuídas aos polissacarídeos na celulose são observadas em torno de 1029 cm^{-1} (Essabir, et al., 2013a; Essabir, et al., 2013b). O tratamento de fibras usando NaOH leva ao desaparecimento do pico de C = O (carbonil) em 1739 cm^{-1} por causar a remoção de hemiceluloses redutíveis (Paiva, et al., 2007). Esse efeito foi observado nos tratamentos químicos AL e AB.

3.3 Caracterização da cristalinidade das fibras de coco *in natura* e tratadas

Os tratamentos AQ e AF aumentaram o índice de cristalinidade (IC) em 2,9% e 4,8%, respectivamente, em relação às fibras de coco *in natura* (Figura 5). O aumento da cristalinidade foi mais pronunciado para os tratamentos AL e AB, de 5,9% e 11,8%, respectivamente. Os índices de cristalinidade observados foram compatíveis com os teores de celulose da fibra de coco maduro descritos na literatura de $31,5\pm 0,1\%$ a $37,4\pm 0,5\%$ (Corradini, et al., 2009).

Figura 5. Difratomogramas de raios X das fibras de coco *in natura* (IN) e após tratamento com água fria (AF), com água quente (AQ), com solução alcalina (AL) e solução alcalina seguida de branqueamento (AB).



Fonte: Autores (2019).

Os tratamentos químicos promoveram uma maior remoção do material amorfo e de extrativos, em detrimento aos tratamentos físicos, o que resultou em um melhor agrupamento das microfibrilas de celulose, acarretando no aumento do teor de cristalinidade, ou seja, no aumento de intensidade e estreitamento dos picos da celulose (Pickering, 2008), apontando a potencialidade da fibra do mesocarpo do coco como reforço de painéis. Quanto maior a cristalinidade, mais elevadas são as propriedades de densidade, rigidez, estabilidade dimensional e resistência química das fibras (Hu & Hsieh, 2001).

Com o tratamento de NaOH parte da lignina solubilizada foi removida, resultando na formação de monômeros (Beukes & Pletschke, 2011). O tratamento de branqueamento com peróxido de hidrogênio (H₂O₂) visa maximizar a deslignificação após o processo alcalino (López, et al., 2003), já que remove a lignina residual por oxidação (Ji, et al., 2015).

Os picos que ocorreram em todos os difratogramas nos ângulos 16,5° e 22,6° são representativos da celulose I (Nishiyama, et al., 2003). Tratamentos químicos podem resultar na transformação da celulose I em celulose II e, conseqüentemente, constata-se que uma dualidade proeminente que pode ser observada no pico cristalino aproximadamente em 22,6° (Corrêa, et al., 2010). Logo, em nenhuma das amostras ocorreu esse efeito de dualidade ou pelo menos não resultou em uma proeminência evidente.

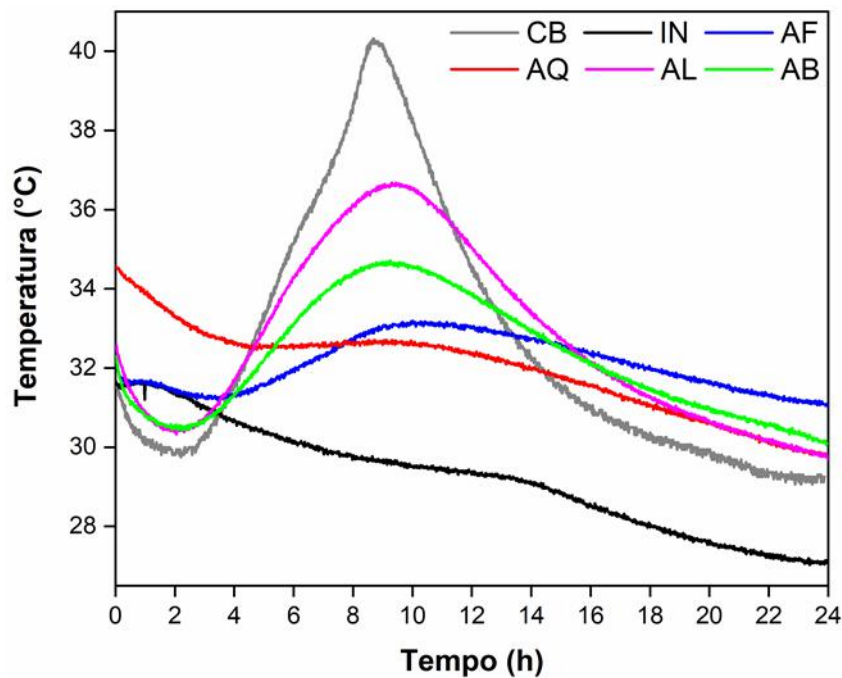
3.4 Avaliação de pastas cimentícias contendo fibras

A inibição promovida pelas fibras lignocelulósicas sobre a reação de hidratação do cimento, é influenciada pelos tipos e teores de extrativos presentes na fibra (Nazerian, et al., 2011). Os efeitos sobre a reação são a redução da temperatura máxima e/ou o aumento do tempo para ser atingida essa temperatura (Odler, 1998).

A pasta CB (cimento sem fibras) alcançou temperatura máxima de ~40,3°C em ~8,4 horas. Em comparação com CB, as pastas contendo fibras apresentaram uma redução da temperatura máxima e um ligeiro deslocamento dos picos para tempos maiores. Para o tempo de 8,6 h (pico do cimento), a pasta com fibra *in natura* causou a maior redução da temperatura máxima, atingindo ~29,6°C (Figura 6). A pasta com fibras *in natura* e água quente apresentaram padrão semelhante ao do cimento,

mostrando então uma inibição elevada, pois não houve máximo de temperatura e nem pico. Já para a água fria observou-se a formação de pico, apresentando assim, padrão semelhante ao do cimento. Os tratamentos AB e AL alcançaram temperaturas máximas de ~34,7 °C e ~36,6 °C em 8,6 e 8,7h, respectivamente.

Figura 6. Curvas de calorimetria da pasta de cimento (CB) e das pastas contendo fibras de coco *in natura* (IN) e tratadas com água fria (AF), com água quente (AQ), com solução alcalina (AL), e solução alcalina seguida de branqueamento (AB).



Fonte: Autores (2019).

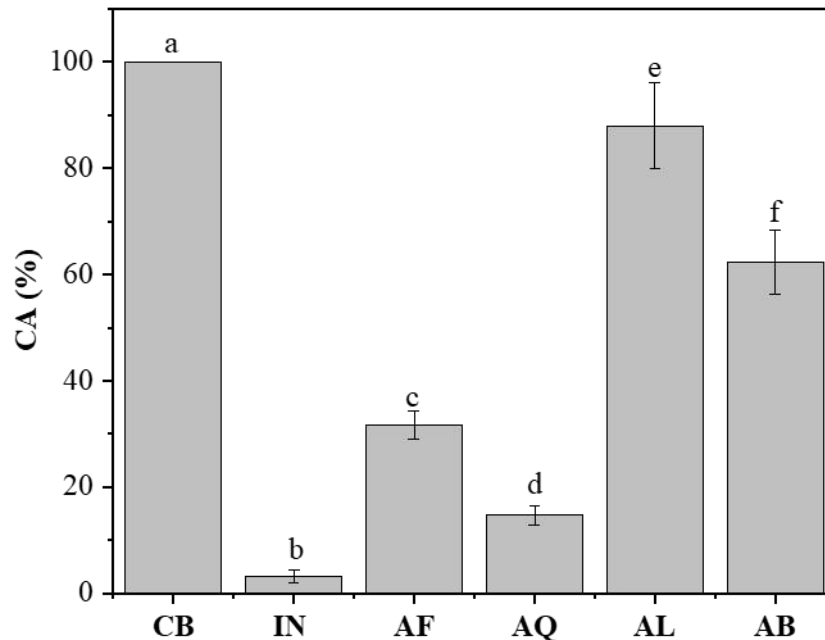
Os dados de ANOVA mostraram que os índices de compatibilidade (CA) das pastas contendo fibras foram significativamente diferentes (p -valor $< 0,05$) em relação ao da pasta cimentícia pura (Tabela 2). De acordo o teste Tukey, os índices de compatibilidade de todos os tratamentos foram classificados em grupos distintos em relação à CB (Figura 7). Os tratamentos AF, AL e AB foram efetivos em reduzir os efeitos negativos da adição de fibras na reação de hidratação do cimento. Porém, o tratamento AL foi o que demonstrou melhor resultado.

Tabela 2. Análise de variância entre o índice de compatibilidade (CA) das pastas contendo fibras em relação à pasta cimentícia pura.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-valor
Modelo	5	31497,7	6299,5	4329,3	$<0,001$
Erro	18	344,3	19,1	-	-
Total	23	31842,0	-	-	-

*GL: grau de liberdade; SM: soma dos quadrados; QM: Quadrados médios.
Fonte: Autores (2019).

Figura 7. Índice de compatibilidade da pasta de cimento (CB) e das pastas contendo fibras de coco *in natura* (IN) e tratadas com água fria (AF), com água quente (AQ), com solução alcalina (AL), e solução alcalina seguida de branqueamento (AB). Tratamentos classificados pela mesma letra minúscula não apresentam diferença segundo o teste Tukey a 5%.



Fonte: Autores (2019).

4. Conclusão

Fibras de coco tratadas mostraram potencial para aplicação como agente de reforço para compósitos. Dentre os tratamentos testados, o alcalino foi o mais eficiente, pois permitiu a remoção dos componentes não celulósicos, aumentando o índice de cristalinidade e melhorando significativamente a compatibilidade das fibras de coco com o cimento Portland em comparação com as fibras *in natura*.

Considerando a melhor compatibilidade química das fibras de coco tratadas com o cimento Portland, estudos investigando das propriedades mecânicas desse tipo de compósito precisam ser realizados para confirmação do potencial dessas fibras para o desenvolvimento de novos materiais.

Referências

- Abdel-Kader, A. H. & Darweesh, H. H. (2010). Setting and hardening of agro/cement composites. *BioResources*, 5(1), 43-54.
- Almeida, R. R., Del Menezzi, C. H. S. & Teixeira, D. E. (2002). Utilization of the coconut shell of babaçu (*Orbignya* sp.) to produce cement-bonded particleboard. *BioResource Technology*, 85, 159-163.
- Asasutjarit, C., Hirunlabh, J., Khedari, J., Charoenvai, S., Zeghmati, B. & Cheul, U. S. (2007). Development of coconut coir-based lightweight cement board. *Construction and Building Materials*, 21 (2), 277-288.
- Beukes N. & Pletschke, B. I. (2011). Effect of alkaline pre-treatment on enzyme synergy for efficient hemicellulose hydrolysis in sugarcane bagasse. *Bioresource technology*, 102 (8), p. 5207-5213.
- Bledzki, A. K. & Gassan, J. (1999). Einfluß von haftvermittlern auf das feuchteverhalten naturfaserverstärkter kunststoffe. *Die Angewandte Makromolekulare Chemie: Applied Macromolecular Chemistry and Physics*, 236 (1), 129-138.
- Bufalino, L., Sena Neto, A. R. De, Tonoli, G. H. D., De Souza Fonseca, A., Costa, T. G., Marconcini, J. M., Colodette, J. L., Labory, C. R. G. & Mendes, L. M. (2015). How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. *Cellulose*, 22 (6), 3657-3672.
- Carijó, O. A., Liz, R. S. & Makashima, N. (2002). Fibra da casca do coco-verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, 4 (20), 533-535.

- Corradini, E., Rosa, M. D. F., Macedo, B. P. D., Paladin, P. D. & Mattoso, L. H. C. (2009). Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31 (3), 837-846.
- Corrêa, A. C., Teixeira, E. de M., Pessan, L. A. & Mattoso, L. H. C. (2010). Cellulose nanofibers from curaua fibers. *Cellulose*, 17 (6), 1183-1192.
- De Cássia Spacki, K., Da Silva, J. M., Proença, B. D. S. G., Da Costa, J. C. M., Matiucci, M. A., Ressutte, J. B., Ferreira, G. C. A. & Belluco, C. Z. (2020). Aproveitamento De Resíduos Agroindustriais para Produção de Filmes Biodegradáveis na Indústria de Alimentos: Uma Abordagem Conceitual. Em Vieira, V. B., Piovesan, N. & Costa, A. C. dos Santos (Orgs), *Investigação científica no campo da engenharia e da tecnologia de alimentos*. Atena Editora.
- Essabir, H., Nekhlaoui, S., Malha, M., Bensala, H. M. O., Arrakhiz, F. Z., Qaiss, A. & Bouhfid, R. (2013a). Bio-composites based on polypropylene reinforced with almond shells particles: mechanical and thermal properties. *Materials & Design*, 51, 225-230.
- Essabir, H., Hilali, E., Elgharad, A., EL Minor, H., Imad, A., Elamraoui, A. & Al Gaoudi, O. (2013b). Mechanical and thermal properties of bio-composites based on polypropylene reinforced with Nut-shells of Argan particles. *Materials & Design*, 49, 442-448.
- Ferraz, J. M., Del Menezzi, C. H. S., Souza, M. R., Okino, E. Y. A. & Martins, S. A. (2012). Compatibility of pretreated coir fibers (*Cocos nucifera* L.) with Portland cement to produce mineral composites. *International Journal of Polymer Science*, 2012, p.1-7.
- Fowler, P. A., Hughes, J. M. & Elias, R. M. (2006). Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86 (12), 1781-1789.
- Hachmi, M., Moslemi, A. A. & Campbell, A. G. (1990). A new technique to classify the compatibility of wood with cement. *Wood Science and Technology*, 24, (4), 345-354.
- Hu, X. P. & Hsieh, Y. L. (2001). Effects of dehydration on the crystalline structure and strength of developing cotton fibers. *Textile Research Journal*, 71 (3), p. 231-239.
- Ioelovich, M. (2008). Cellulose as nanostructured polymer: short review. *BioResources*, 3 (4), 1403-1418.
- Izani, M. N., Paridah, M. T., Anwar, U. M. K., Nor, M. M. & H'ng, P. S. (2013). Effects of fiber treatment on morphology, tensile and thermogravimetric analysis of oil palm empty fruit bunches fibers. *Composites Part B: Engineering*, 45 (1), 1251-1257.
- Ji, X., Chen, J., Wang, Q., Tian, Z., Yang, G. & Liu, S. (2015). Boosting oxygen delignification of poplar kraft pulp by xylanase pretreatment. *BioResources*, 10 (2), 2518-2525.
- Fornari Júnior, C. C. M. (2017). *Fibras vegetais para compósitos poliméricos*. Editus.
- Karade, S. R. (2010). Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and Building Materials*, 24 (8), 1323-1330.
- López, F., Diaz, M. J., Eugenio, M. E., Ariza, J., Rodriguez, A. & Jimenez, L. (2003). Optimization of hydrogen peroxide in totally chlorine free bleaching of cellulose pulp from olive tree residues. *Bioresource Technology*, 87 (3), 255-261.
- Macêdo, A. N., Souza, A. A. C. & Neto, B. B. P. (2012). Chapas de cimento madeira com resíduos de indústria madeireira da região Amazônica. *Associação Nacional de Tecnologia de Ambiente Construído*, 12 (2), 131-150.
- Martins, A. P., Silva, P.L.R. & Watanabe, T. (2016). O problema do pós-consumo do coco no Brasil: Alternativas e Sustentabilidade. *Revista Sustentabilidade em Debate*, 7 (1), 44-57.
- Mohanty, A. K., Misra, M. & Drzal, L. T. (2005). *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*. Boca Raton: CRC.
- Nazerian, M., Gozali, E., Ghalehno, M. D. (2011). The influence of wood extractives and additives on the hydration kinetics of cement paste and cement-bonded particleboard. *Journal of Applied Sciences*, 11, 2186-2192.
- NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial (1991). *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT).
- Nishiyama, Y., Sugiyama, J., Chanzy, H., Langan, P. (2003). Crystal structure and hydrogen bonding system in cellulose I α from synchrotron X-ray and neutron diffraction. *Journal of American Chemical Society*, 125 (47), 14300-14306.
- ODLER, I. & Beaudoin, J. (2019). Hydration, setting and hardening of Portland cement. Em Hewlett, P. C. & Liska, M. (Orgs), *Lea's Chemistry of cement and concrete*. Butterworth-Heinemann, Elsevier.
- Olorunnisola, A. O. (2007). Effects of particle geometry and chemical accelerator on strength properties of rattan-cement composites. *African Journal of Science and Technology: Science and Engineering Series*, 8 (1), 22-27.
- Olorunnisola, A. O. (2008). Effects of pre-treatment of rattan (*Laccosperma secundiflorum*) on the hydration of Portland cement and the development of a new compatibility index. *Cement and Concrete Composites*, 30, 37-43.
- Paiva, M. C., Ammar, I., Campos, A. R., Cheikh, R. B. & Cunha, A. M. (2007). Alfa fibres: mechanical, morphological and interfacial characterization. *Composites Science and Technology*, 67 (6), 1132-1138.
- Pickering, K. (2008). *Properties and performance of natural-fibre composites*. Elsevier.
- Ronquim, R. M., Ferro, F. S., Icimoto, F. H., Campos, C. I., Bertollini, M. S., Christoforo, A. L. & Lahr, F. A. R. (2014). Physical and mechanical properties of wood-cement composite with lignocelulosic grading waste variation. *International Journal of Composite Materials*, 4 (2), 69-72.

Rosa, M., Bezerra, F., Correia, D., Santos, F., Abreu, F., Furtado, A., Brígido, A. K. L., Norões, E. R. de V. (2002) Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola. EMBRAPA. Série Documentos, 52.

Santos, A. M. (2005). Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia. 2005. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Segal, L. G. J. M. A., Creely, J. J., Martin Jr, A. E., Conrad, C. M. (1959). An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. *Textile Research Journal*, 29 (10), 786-794.

Semple, K. E., Cunningham, R. B. & Evans, P. D. (2002). The suitability of Five Western Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. *Industrial Crops and Products*, 16, 89-100.

Sgriccia, N., Hawley, M. C. & Misra, M. (2008). Characterization of natural fiber surfaces and natural fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39 (10), 1632-1637.

Da Silva, Everton J., Marques, M. L., Velasco, F. G., Fornari Junior, C. C. M, Luzardo, F. H. M. (2015). Degradação da fibra de coco imersa em soluções alcalinas de cimento e NaOH. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19 (10), 981-988.

Wei, W. & Gu, H. (2009). Characterization and utilization of natural coconut fibres composites. *Materials and Design*, 30, 2741-2744.