



Degradabilidade da fibra de coco revestida com poliestireno em meio alcalino

Degradability of coconut fibre coated with polystyrene in an alkaline medium

Everton Jose da Silva^{1*}, Fermin Garcia Velasco², Celso Fornari Júnior², Francisco Martínez Luzardo², Maria Lidiane Marques¹, Gilmar Machado³

Resumo: A superfície da fibra vegetal é constituída principalmente por compostos como celulose, hemicelulose, lignina, pectina e extrativos. Esses compostos orgânicos são sensíveis à ação de muitos agentes químicos e ao pH básico, o que dificulta seu emprego em compósitos cimentícios para torná-los mais sustentáveis. Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficiência do poliestireno (0, 1, 3, 5% e 3% mais tratamento térmico a 140 °C) na proteção da fibra de coco em meio alcalino. As fibras ficaram imersas em solução alcalina (pH 14) em um total de 63 dias e foram avaliadas periodicamente por meio de ensaio gravimétrico. Ao final do ensaio, as fibras foram analisadas através de microscopia eletrônica de varredura. De acordo com as análises, a amostra de fibra de coco sem revestimento protetor perdeu 80% da sua massa inicial e, através da microscopia eletrônica de varredura, foi possível verificar a destruição da estrutura superficial da fibra, expondo os feixes de microfibras celulósicas localizados na sua região interior. As fibras de coco com revestimento de 3% de poliestireno associado ao tratamento térmico terminaram o ensaio com uma porcentagem de massa final superior a 50% da sua massa inicial. Assim, a associação do revestimento de poliestireno (3%) com posterior tratamento térmico a 140 °C melhorou a durabilidade das fibras de coco em aproximadamente 30% quando inseridas em meio alcalino.

Palavras-chave: Compósito cimentício. Durabilidade. Tratamento.

Abstract: The surface of plant fibre consists mainly of compounds such as cellulose, hemicellulose, lignin, pectin and extractives. These organic compounds are sensitive to the action of many chemical agents and to basic pH, which hinders their use in cementitious composites to make them more sustainable. The aim of this work was to evaluate the efficiency of polystyrene (0, 1, 3 and 5%, plus 3% and heat treatment at 140°C) on the protection of coconut fibre in an alkaline medium. The fibres were submersed in an alkaline solution (pH 14) for a total of 63 days, and were periodically evaluated by gravimetric analysis. At the end of the test, the fibres were analysed by scanning electron microscopy. According to the analysis, the sample of coconut fibre with no protective coating lost 80% of its initial weight and, through scanning electron microscopy, it was possible to see the destruction of the surface structure of the fibre, exposing the beams of cellulose microfibrils located in the inner regions. The coconut fibres with a 3% polystyrene coating together with heat treatment ended the test with a percentage final weight greater than 50% of the initial weight. A polystyrene coating (3%) followed by heat treatment at 140°C improved durability in the coconut fibres by approximately 30%, when immersed in an alkaline medium.

Key words: Cement composite. Durability. Treatment.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 09/04/2015 e aprovado em 17/11/2015

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Eunápolis, Bahia, Brasil, Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, js_everton@yahoo.com.br; lidiane_marques@yahoo.com.br

²Departamento de Ciência Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia, Brasil, fermingv@gmail.com; celso@uesc.br; fmartinezluzardo@gmail.com

³Aluno do curso Engenharia Química, UESC, Bahia, Brasil, gilmar.eq@gmail.com

INTRODUÇÃO

A resistência física que a fibra vegetal oferece a um compósito é um somatório que se baseia nos seus três principais constituintes: celulose, hemicelulose e lignina. De acordo com Mohanty (2005), a celulose é um polímero hidrofílico glucano que consiste em uma cadeia linear de unidades de glicose ($C_6H_{11}O_5$), que contêm grupos de hidroxila alcoólicos e resulta em um feixe coeso e com elevada resistência à tração. A hemicelulose é um polímero que se assemelha quimicamente à celulose em termos de estrutura química, porém, possui menor peso molecular e tem estrutura amorfa (DITTENBER; GANGARAO, 2012).

A lignina é um complexo polimérico fenólico, formada pela união covalente de vários monômeros fenólicos com ligações do tipo éter. Constitui-se de uma molécula tridimensional amorfa polifenólica, com unidades principais guaiacil, sirigil e p-hidroxifenil (MUENSRI *et al.*, 2011). A lignina tem a função de ocupar os espaços em torno do feixe de fibras que estão se formando, cimentando-as e blindando a estrutura física.

O uso de fibras vegetais em matrizes cimentícias despertou o interesse da comunidade científica e vem sendo objeto de diversas pesquisas recentes (SILVA *et al.*, 2012; ALI *et al.*, 2013; RAMLI *et al.*, 2013; YAN e CHOUW, 2013; AZAMBUJA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014; WEI e MEYER, 2014 e Lecompte *et al.*, 2015). Esses trabalhos apontam que sua aplicação pode melhorar diversas propriedades físicas e mecânicas de compósitos cimentícios.

Entretanto, o ambiente alcalino provocado pelos produtos gerados na fase de hidratação do cimento, como o hidróxido de cálcio e silicatos/aluminatos de cálcio hidratados, pode interagir com os constituintes da fibra de coco. Nessa situação, as fibras vegetais sofrem degradação acelerada, com destruição parcial da sua estrutura e, conseqüentemente, diminuição drástica de suas propriedades físicas e químicas (PEREIRA *et al.*, 2013).

Santos *et al.* (2015) realizaram ampla revisão sobre as possibilidades de intervenção para viabilizar a utilização de fibras vegetais em compósitos cimentícios. Os autores discutem algumas alternativas, tais como: modificação da superfície das fibras; melhoramento da interface fibra-cimento; uso de pozolanas; aceleração por carbonatação; aplicações da nanociência e princípios de materiais com gradação funcional e processo de extrusão.

Pereira (2012) testou três tipos de tratamentos em fibra de coco, a saber: ultrassom (tratamento físico através de ondas sonoras em água), ultrassom combinado com silicato de sódio e sulfato de alumínio, bem como ultrassom combinado com álcool furfurílico. Ao final do trabalho, concluiu que os tratamentos propostos para melhorar a viabilidade do uso da fibra da casca do coco verde não se mostraram eficientes, demonstrando que essa questão continua em aberto no meio científico.

Uma possível alternativa para impedir o contato físico da fibra de coco com a matriz cimentícia, na tentativa de manter a integridade da estrutura vegetal, seria a deposição de uma camada material que pudesse agir como barreira física e química. Um material ainda pouco estudado para essa finalidade é o poliestireno (PS). O PS é um material que apresenta excelente resistência química à alcalis e ácidos, relativa dureza, baixa absorção de umidade e boa aderência à matriz (MAGALHÃES; SILVA, 2004).

No presente trabalho, o PS foi utilizado visando aproveitar sua possível ação protetora sobre a fibra vegetal contra ataques alcalinos provenientes de reações químicas de hidratação do cimento. O revestimento da fibra pelo filme de PS agiria no sentido de isolar o contato da fibra vegetal com o meio onde se encontra, preservando suas propriedades e garantindo longa durabilidade em matrizes cimentícias. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a proteção da fibra vegetal (fibra de coco) em meio alcalino utilizando um revestimento por meio de uma camada de PS.

MATERIAIS E MÉTODOS

A solução de PS utilizada para o tratamento das amostras de fibra de coco foi preparada através da adição de PS expandido (PS), comercialmente conhecido pela marca isopor, proveniente de embalagens novas de computadores, em clorofórmio cuja concentração variou entre 0 e 5,0 g de PS para 100,0 g de clorofórmio (estabilizado com amileno marca Vetec). A diluição foi realizada à temperatura ambiente e a dissolução do PS foi total.

As fibras de coco foram fornecidas pela empresa Coquefibras, localizada no município de Una, Bahia. As amostras de fibra de coco foram preparadas através da distribuição de um conjunto de 10 fibras de coco seco totalmente naturais, de espessura constante e comprimento de 25 mm. As fibras foram secas por um período de 2 h em estufa a 110 ± 5 °C (modelo MD 1.3 Medicate) até sua pesagem constante, em balança analítica de alta precisão até 10^{-4} g. A massa de cada amostra foi então anotada buscando um controle do valor de referência da massa antes do respectivo tratamento com PS.

As amostras de fibras de coco, após sua pesagem, foram colocadas em contato com as soluções de PS e clorofórmio. A partir de estudos preliminares, definiu-se o tempo de imersão das amostras em 60 s (com agitação constante) para cada solução de revestimento e, posteriormente, foram secas à temperatura ambiente até pesagem constante. A Tabela 1 apresenta a composição de cada amostra de revestimento. O tratamento denominado A-00 refere-se às fibras de coco naturais. Os tratamentos A-10, A-30 e A-50 indicam a porcentagem de poliestireno, 1, 3 e 5%, respectivamente. O tratamento com 3% e posterior tratamento térmico à 140 °C é representado pela amostra A-30140.

Tabela 1 - Composição das soluções para revestimento das fibras de coco

Table 1 - Treatments and composition of solutions for coating coconut fibres

Amostra	EPS (g)	Clorofórmio (g)
A-00	-	-
A-10	1,0	100,0
A-30	3,0	100,0
A-50	5,0	100,0
A-30140	3,0	100,0

Com o intuito de explorar outra variável de revestimento, a amostra denominada A-30140 foi tratada de forma diferente das demais (A-00 a A-50). Após o revestimento, a A-30140 foi colocada em estufa, por uma hora, à temperatura 140 °C, com o objetivo de avaliar a influência da interação entre o revestimento químico e o tratamento térmico.

A solução alcalina, para avaliação da degradabilidade das fibras, foi preparada com água deionizada por troca iônica e Hidróxido de Sódio a 8,33 N (pH 14). A sequência de adição dos componentes da solução foi a seguinte: primeiro a água, depois a amostra já tratada com PS e, por último, o Hidróxido de Sódio. A solução alcalina foi mantida à temperatura ambiente de 28 °C. Essa solução apresenta uma concentração relativamente elevada, de maneira a apresentar um caráter de agressividade química à estrutura fibrosa e garantir a ação química da solução sobre a fibra de coco.

Antes (OST) e imediatamente após os tratamentos (OCT) avaliou-se a massa das amostras. Semanalmente, as fibras tratadas foram retiradas de cada solução alcalina, lavadas com água deionizada em ultrassom (modelo ultracleaner 1400) por 10 minutos, secas em estufa a 110 ± 5 °C por 2 h. Posteriormente, foram colocadas no dessecador por 10 minutos, até sua pesagem constante, para análise gravimétrica.

Após a pesagem, cada amostra de fibra foi reintroduzida a sua respectiva solução para a continuação do ensaio de gravimetria, que foi realizado até 63 dias, quando foi observada a manutenção da estabilidade de massa das amostras, ou seja, a variação de massa passou a ser desprezível. O modelo de regressão não linear foi utilizado para obtenção da curva de porcentagem da massa inicial em função do teor de PS através do programa Statgraphics Plus Versão 5.0.

As amostras, após o término do ensaio de gravimetria, foram estudadas por meio de microscopia eletrônica de

varredura (MEV - modelo Quanta 250). Foram examinadas e comparadas as imagens das amostras com fibras em diferentes condições de revestimento com aumentos em 500, 1000 e 2000 vezes. Uma análise de correlação bivariada, usando o coeficiente de Spearman foi adotada com valores codificados para a comparação entre as imagens obtidas. Para tanto foi utilizado o programa SPSS 18.0. Para se conhecer o comportamento das diferenças entre as amostras, utilizou-se o Multiple Range Test de Duncan a um nível de confiabilidade de 0,95 utilizando 5 repetições por tratamento.

RESULTADOS

Todas as amostras de fibras de coco foram testadas em relação a sua capacidade de manutenção de massa em virtude da barreira que o PS pode oferecer ao contato da solução alcalina por tempos determinados à temperatura ambiente. A análise das amostras foi feita utilizando-se a técnica de gravimetria, revelando a permanência do filme de PS em função do tempo. A Figura 1 apresenta os resultados gravimétricos obtidos ao longo de 63 dias e em intervalos de sete dias das fibras imersas na solução alcalina.

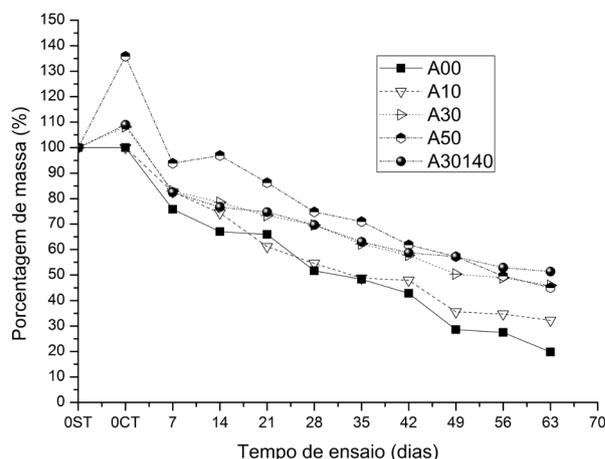


Figura 1 - Variação de massa das fibras de coco revestidas com PS em função do tempo (OST – sem tratamento; OCT – com tratamento).

Figure 1 - Weight variation in coconut fibres coated with PS for time (OST – no treatment; OCT – with treatment).

A Figura 2 apresenta o resultado percentual relativo de massa que restou após o contato com a solução alcalina, para todas as amostras ensaiadas.

Na Figura 3 é possível visualizar a regressão não linear da curva de porcentagem de massa em função do teor de PS, com o seu respectivo coeficiente de determinação e equação da curva.

A Figura 4 mostra a imagem da fibra de coco da amostra A-30140 antes do ensaio e com 20 vezes de aumento. Observa-se que uma considerável quantidade de PS está presente na superfície da fibra e que se encontra depositado de modo a formar relevos.

As imagens obtidas por MEV das amostras de fibra após o término do período de ensaio (63 dias) aparecem na Figura 5 (A a E); e a Figura 6 mostra a fibra de coco em seu estado natural.

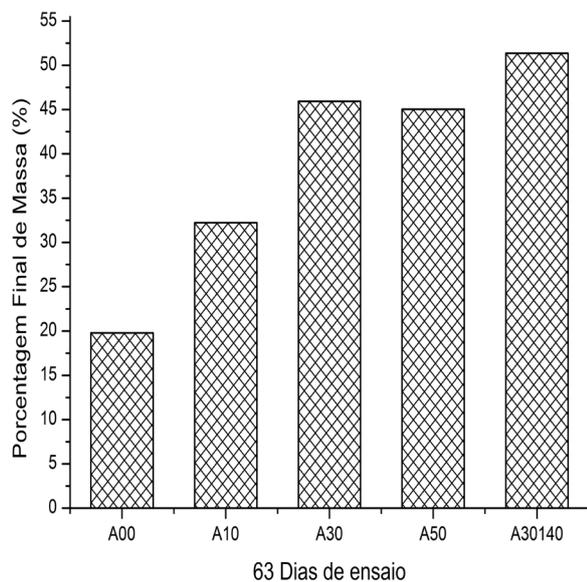


Figura 2 - Massa relativa final das fibras de coco em função do tempo em solução alcalina e revestimento após 63 dias de ensaio.

Figure 2 - Final relative weight of coconut fibres for time and coating after 63 test days in an alkaline solution.

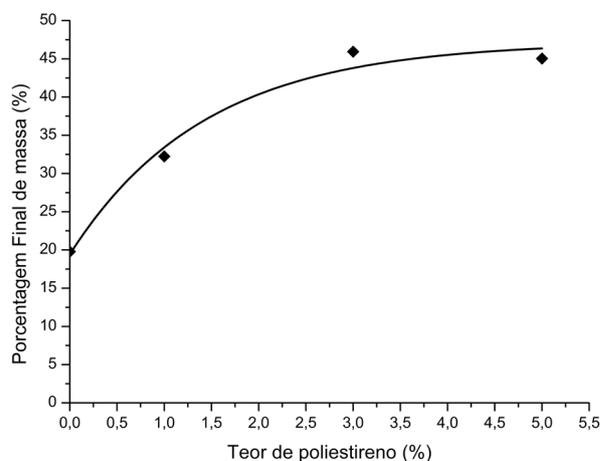


Figura 3 - Porcentagem final de massa em função do teor de PS no revestimento das fibras de coco.
Figure 3 - Final percentage weight for PS content of the coating in coconut fibre.

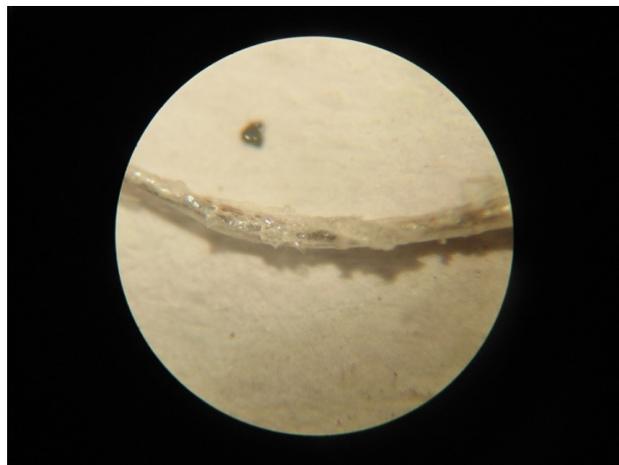
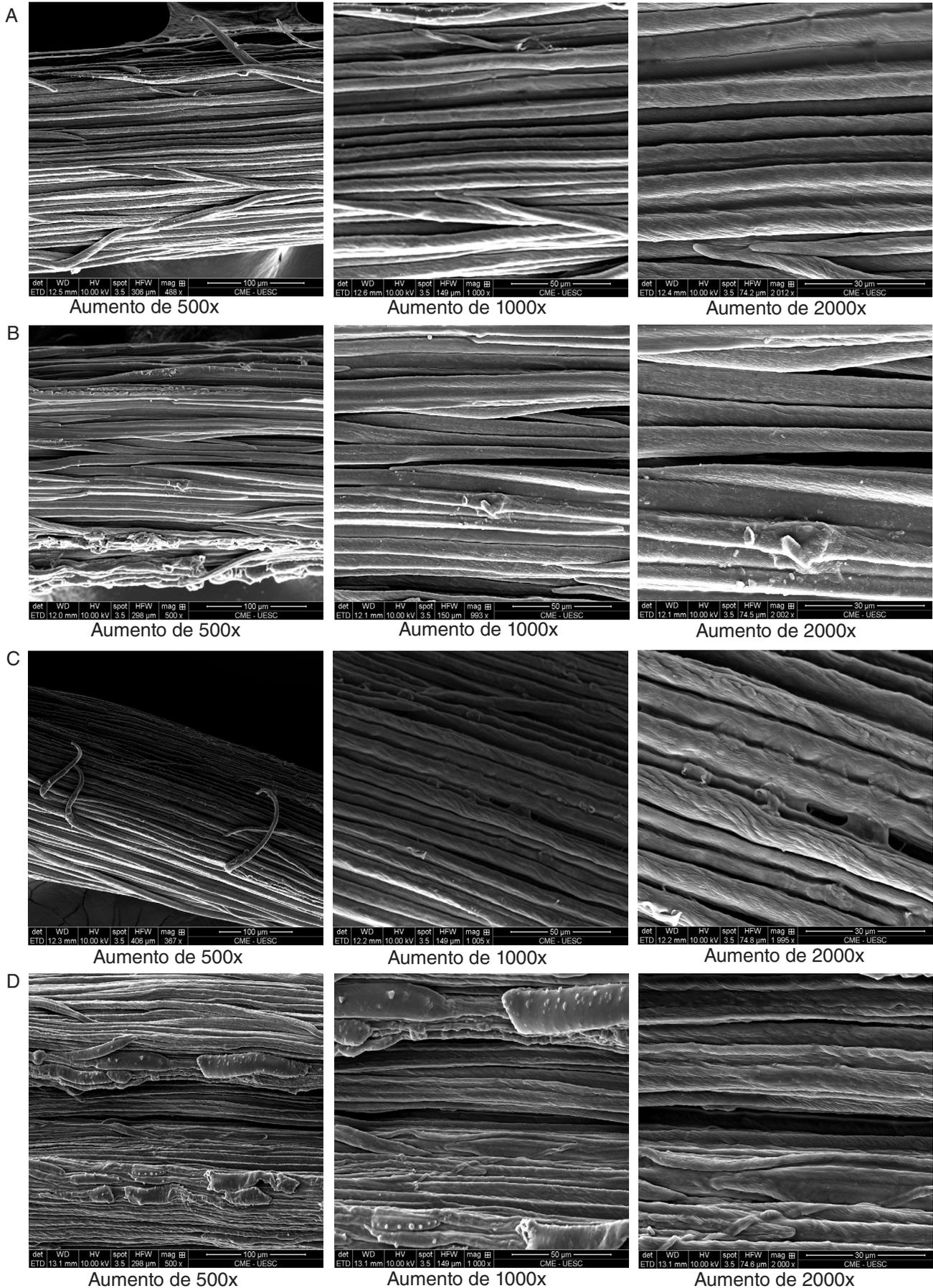


Figura 4 - Fibra de coco (Tratamento A-30140) antes de ser submetida em solução alcalina.

Figure 4 - Coconut fibre (Treatment A-30140) before submersion in an alkaline solution.



Continua...

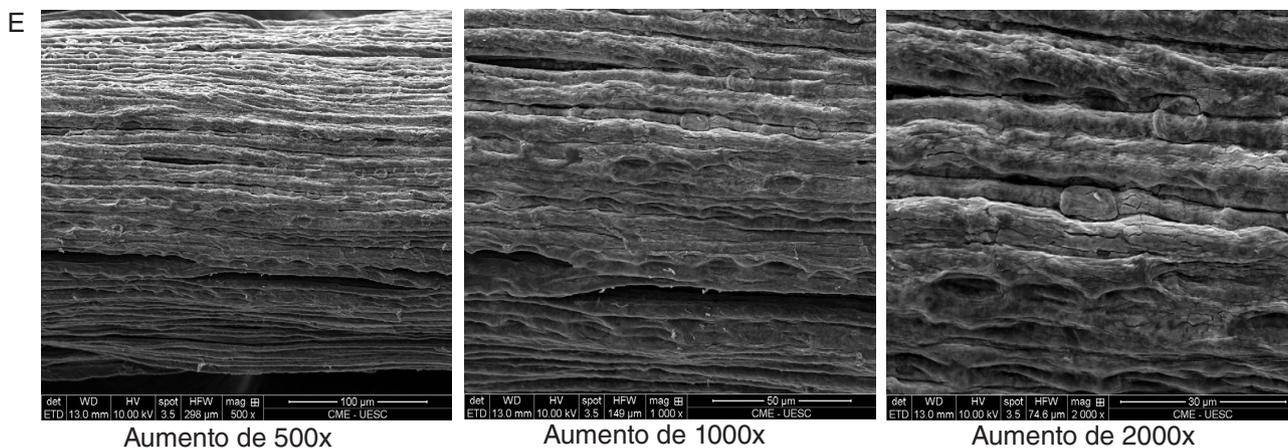


Figura 5 - Imagens das fibras de coco após o período de imersão em solução alcalina, tratamentos A-00 (A); A-10 (B); A-30 (C); A-50 (D) e A-30140 (E).

Figure 5 - Images of coconut fibres after the period of immersion in an alkaline solution, treatments A-00 (A), A-10 (B), A-30 (C), A-50 (D) and A-30140 (E).

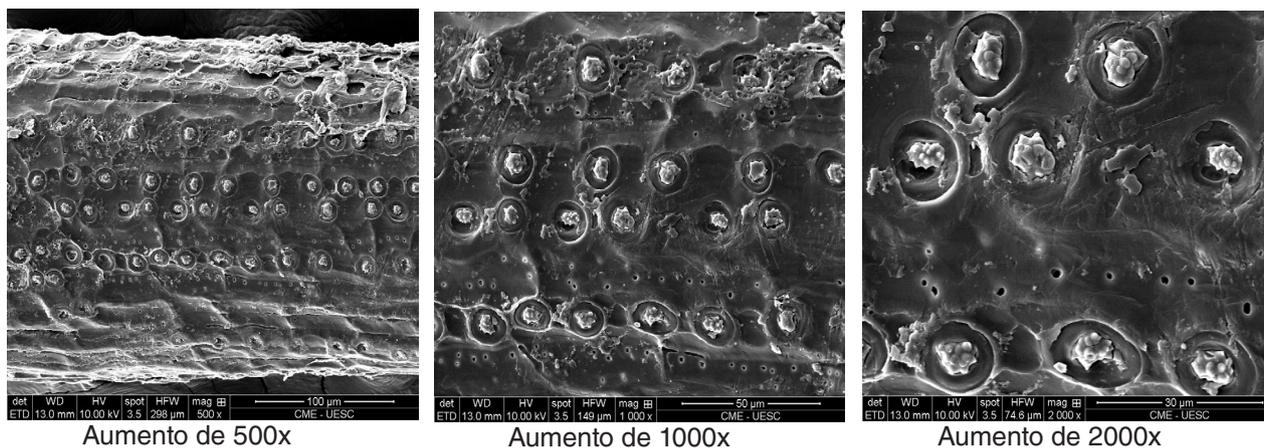


Figura 6 - Tratamento A-00 antes de ser submetida a solução alcalina.

Figure 6 - Treatment A-00 before submersion in an alkaline solution.

DISCUSSÃO

A diferença gravimétrica entre as fibras (com e sem revestimento) pode ser verificada antes do início do ensaio, isto é, antes do contato com a solução, onde as amostras A-30, A-30140 e A-50 apresentam-se com um aumento de massa em relação à massa inicial (Figura 1). Isso se deve ao filme de PS depositado na superfície da fibra de coco. Essas amostras, após o revestimento, tiveram aumentos de 8,15; 8,95 e 35,88%, respectivamente. É verificado que, de acordo com o aumento da concentração da solução de revestimento, maior a massa apresentada pela fibra de coco tratada na respectiva solução.

Após sete dias de imersão na solução alcalina, todas as amostras registraram queda em relação à massa inicial. As perdas mais significativas foram das amostras sem revestimento (A-00) e das revestidas com a solução de 1,0% (A-10). Isso pode ser atribuído à menor proteção da A-10, a que é relativamente delgada para promover uma proteção efetiva como barreira física, enquanto que a A-00 não continha nenhum tratamento ou barreira protetora. A amostra A-50 demonstrou a menor perda de massa em relação às demais. Após o intervalo de sete dias, a sua massa diminuiu 6,1% em relação à massa original de fibra de coco.

Ao longo do tempo de ensaio, a gravimetria continuou indicando perda de massa para todas as amostras ensaiadas,

entretanto a amostra A-00 sofreu as maiores diminuições. Ao final de 63 dias de ensaio, os resultados apontaram para A-00 com a maior perda de massa dentre todas as amostras ensaiadas.

A Figura 2 revela que todas as fibras de coco revestidas mostraram maior quantidade relativa de massa em relação à fibra sem revestimento. Após 63 dias em contato com a solução, a amostra A-00 manteve 19,8% da sua massa inicial, diminuindo assim, aproximadamente 80% da sua massa original. De acordo com o teste de Duncan, a amostra A-30140 foi significativamente superior às demais. As amostras A-30 e A-50, por suas vezes, não apresentaram diferenças entre elas, mas mostraram significativa superioridade às amostras A-00 e A-10. Por outro lado, a amostra A-10 apresentou diferença significativa em relação à amostra sem tratamento (A-00). Esses resultados permitem inferir que os tratamentos propostos melhoraram a capacidade de redução da degradabilidade das amostras após 63 dias de imersão em solução alcalina.

Ramakrishna e Sundararajan (2005) investigaram a variação da composição química e da resistência à tração da fibra de coco e outras fibras naturais. Foram utilizados três meios de imersão das fibras: água pura, água saturada de cal e hidróxido de sódio. Os autores concluem que a solução de hidróxido de sódio promove maior alteração da composição química e, também, maior perda de resistência à tração dentre os meios estudados. Em outro trabalho, que segue na mesma direção, Gu (2009) tratou fibras de coco com soluções de NaOH, cuja concentração variou de 2 a 10%, por quatro semanas. O autor detectou tendência de diminuição da resistência à tração das fibras de coco de acordo com o aumento da concentração de NaOH.

Essa redução de resistência em função do aumento da porcentagem de NaOH, constatada por Ramakrishna e Sundararajan (2005) e Gu (2009), pode estar associada a maior perda de massa (maior grau de degradação) verificada na amostra sem revestimento.

A partir da regressão não linear da curva de porcentagem de massa em função do teor de PS (Figura 3), pode-se afirmar que há uma dependência da perda de massa em relação ao teor de PS com coeficiente de determinação de aproximadamente 95%. Verifica-se que a partir de 4%, não há incrementos significativos no aumento do percentual de massa, ou seja, há uma tendência de estabilização da capacidade protetora do PS em relação à fibra de coco, visto que o aumento da espessura da camada de revestimento, a partir de um determinado valor, não contribui para melhoria da manutenção de massa final das amostras.

Ao se considerar todas as amostras estudadas, constatou-se que a menor perda de massa ou melhor desempenho, portanto, é atribuído à fibra de coco com 3% de revestimento de PS submetido ao aquecimento posterior de 1 hora, à temperatura de 140 °C (Figura 4). É provável que a condição energética proporcionada pela temperatura de

140 °C permitiu o amolecimento da camada de PS e melhor condição de moldagem sobre a fibra de coco, formando um filme mais acomodado e acoplado na superfície.

Apesar da possibilidade de que o tratamento térmico realizado nessa amostra tenha melhorado a interação do revestimento com a superfície da fibra, esse efeito não foi suficiente para impedir que uma parcela significativa do revestimento da fibra de coco fosse degradada na solução ao longo da execução do ensaio. A camada de PS se deslocou da superfície da fibra, devido a ação da solução, que se posicionou entre a fibra e a camada.

Os tratamentos A-30 e A-50 também se mostraram capazes de resistir ao ataque da solução alcalina às fibras de coco quando comparados com a amostra sem tratamento. Elas apresentaram diminuição de 45,9 e 45% da massa inicial, respectivamente. Provavelmente a proteção do revestimento de PS não foi mais efetiva devido a pequenas aberturas ou falhas do revestimento existentes entre a camada de PS e a fibra de coco, permitindo a passagem da solução de hidróxido de sódio para a superfície da fibra. Além disso, é possível que essa infiltração tenha deslocado a camada protetora e provocado o inchamento da fibra pela água. Posteriormente, isso iniciaria o processo de degradação da lignina, através da reação de hidrólise básica, conforme demonstra Albinante *et al.* (2013).

Ao se analisar a Figura 5, todas as amostras de fibra de coco apresentaram uma exposição dos feixes celulósicos e a ausência da lignina, o que já havia sido confirmado nos ensaios gravimétricos. É possível verificar que a superfície das fibras apresenta apenas as estruturas fibrosas celulósicas. A lignina que interliga os feixes celulósicos não pode ser observada na imagem, expondo os feixes da fibra vegetal. Além disso, a camada de PS também foi removida em algumas regiões da superfície da fibra, muito provavelmente pela ação conjugada entre a lavagem com agitação através do ultrassom e o ataque químico da solução de hidróxido de sódio.

O tratamento A-00 (Figura 5A), que apresentou maior perda de massa, aparece com as microfibras mais afastadas entre si em relação às demais, indicando perda mais acentuada de lignina quando imersa em soluções alcalinas (SALMAH *et al.*, 2013). Por outro lado, os tratamentos A-30 e A-50 (Figuras 5C e 5D) aparecem com as microfibras sutilmente mais unidas onde os espaços entre o feixe de fibras é menos profundo, indicando terem sido protegidas, isto é, menor degradação em relação à amostra A-10 (Figura 5B).

De acordo com a Figura 5E, o tratamento A-30140 apresentou uma diferença em relação às demais amostras. A quantidade de material ligante entre as microfibras é maior, não permitindo observar sulcos mais profundos entre os feixes fibrosos. É possível que o tratamento térmico associado com a camada de PS tenha agido no sentido de favorecer a adesão do PS na superfície da fibra de coco, o

que resultou em maior dificuldade de contato e ação por parte da solução alcalina.

No entanto, quando se analisa as imagens de uma amostra de fibra de coco *in natura* (Figura 6), observa-se pequenas incrustações contidas originalmente na superfície da fibra de coco, como cutículas, partículas globulares e cavidades (NAM *et al.*, 2011).

A partir de uma análise correlacional bivariada com coeficiente de Spearman, relacionando essas incrustações à visualização dos feixes celulósicos, verificou-se que as partículas globulares mostraram correlação significativa com a menor presença de feixes celulósicos e com as maiores quantidades de cavidades (nível de confiança de 0,01) e cutículas (nível de confiança de 0,05).

As cutículas apresentaram correlação significativa de 0,05 de probabilidade com a menor quantidade de feixes celulósicos e a maior proporção de particulares globulares. Um comportamento similar das cutículas foi obtido para as cavidades, mas com nível de significação superior a 0,01.

Dessa forma, constata-se que as incrustações das fibras de coco foram removidas tanto da amostra sem revestimento quanto das amostras revestidas, indicando que, embora o revestimento tenha promovido melhoria na manutenção da massa, isso não fora suficiente para garantir a integridade orgânica estrutural da fibra de coco.

Apesar da possibilidade de um efeito de compatibilização entre o PS e a celulose através de uma adesão superficial, verificou-se nesse trabalho que, em contato com solução

alcalina e posterior lavagem com ultrassom, o revestimento de PS não permaneceu totalmente aderido à superfície da fibra, o que prejudicou seu efeito protetor.

CONCLUSÕES

A utilização de solução aquosa de hidróxido de sódio resulta em modificações superficiais das fibras de coco;

A associação do revestimento de poliestireno (3%) com posterior tratamento térmico a 140 °C aumenta a durabilidade das fibras de coco em aproximadamente 30% em relação às fibras sem tratamento;

O poliestireno promove a proteção física e química na superfície da fibra de coco submetida à solução de hidróxido de sódio;

O tratamento proposto pode contribuir para a diminuição dos impactos ambientais gerados pela disposição inadequada de resíduos de coco, reduzir a utilização de insumos minerais não renováveis no setor construtivo e desenvolver materiais sustentáveis com propriedades específicas;

Novos estudos utilizando poliestireno como revestimento da fibra vegetal devem ser realizados diretamente em matrizes cimentícias para avaliação do seu comportamento frente ao ataque alcalino promovido durante as reações de hidratação do cimento.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 114-122, 2013.

ALI, M.; LI, X.; CHOUW, N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete. **Materials and Design**, v. 44, p. 596-605, 2013.

AZAMBUJA, R. R.; LILGE, D. S.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Performance of two types of cement in production of Cement bonded wood panels combined with rice hull. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 715-724, 2014.

DITTENBER, D. B.; GANGARAO, H. V. S. Critical review of recent publications on use natural composites in infrastructure. **Composite: Part A**, v. 43, n. 8, p. 1419-1429, 2012.

GU, H. Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment. **Materials and Design**, v. 30, p. 3931-3939, 2009.

LECOMPTE, T.; PERROT, A.; SUBRIANTO, A.; LE DUIGOU, A.; AUSIAS, G. A novel pull-out device used to study the influence of pressure during processing of cement-based material reinforced with coir. **Construction and Building Materials**, vol. 78, p. 224-233, 2015.

MAGALHÃES, W. L. E.; SILVA, R. R. Treatment of Caribbean Pine by In Situ polymerization of Styrene and Furfuryl Alcohol. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 91, p. 1763-1769. 2004.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M., DRZAL, L. T. **Natural fibers, biopolymers, and biocomposites**. 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. 896 p.

- MUENSRI, P.; KUNANOPPARAT, T.; MENUT, P.; SIRIWATTANAYOTIN, S. Effect of lignin removal on the properties of coconut coir fiber/wheat glúten biocomposite. **Composites: Part A**, v. 42, p. 173-179, 2011.
- NAM, T. H.; OGIHARA, S.; TUNG, N. H.; KOBAYASHI, S. Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites. **Composites: Part B**, v. 42, p. 1648-1656, 2011.
- PEREIRA, C. L. **Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.
- PEREIRA, C. L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; PAYÁ, J.; SANTOS, S. F.; BORRACHERO, M. V.; MONZÓ, J.; SORIANO, L. Use of highly reactive rice husk ash in the production of cement matrix reinforced with green coconut fiber. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 88-96, 2013.
- RAMAKRISHNA G.; SUNDARARAJAN, T. Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, p. 575-582, 2005.
- RAMLI, M.; KWAN, W. H.; ABAS, N. F. Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 554-566, 2013.
- SALMAH, H.; MARLIZA, M.; TEH, P. H. Treated coconut shell reinforced unsaturated polyester composites. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 13, p. 94-103, 2013.
- SANTOS, S. F.; TONOLI, G. H. D.; MEJIA, J. E. B.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JUNIOR, H. Non-conventional cement-based composites reinforced with vegetable fibers: a review of strategies to improve durability. **Materiales de Construcción**, v. 65, n. 317, 2015.
- SILVA, E. J.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1555-1561, 2012.
- SILVA, E. J.; SILVA, P. D.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. C. M.; VELASCO, F. G.; LUZARDO, F. M. Resistência à compressão da argamassa em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1268-1273, 2014.
- WEI, J. MEYER, C. Degradation rate of natural fiber in cement composites exposed to various accelerated aging environment conditions. **Corrosion Science**, v. 88, p. 118-132, 2014.
- YAN, L.; CHOUW, N. A comparative study of steel reinforced concrete and flax fibre reinforced polymer tube confined coconut fibre reinforced concrete beams. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 32, p. 1155-1164, 2013.