

SUPERFÍCIE SELETIVA SOLAR A BASE DE CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR VIA DEPOSIÇÃO POR PINTURA

SELECTIVE SOLAR SURFACE BASED ON SUGARCANE BAGASSE ASH WITH PAINT DEPOSITION

Kelly Cristiane Gomes¹

Ithyara Dheylyle Machado de Medeiros²

Kerolayne Santos Leite³

Gabriela Oliveira Galvão⁴

Aline Karla Barbosa da Silva⁵

RESUMO

Os materiais alcalinamente ativados têm ocupado um espaço significativo na literatura científica mundial, principalmente devido às suas qualidades frente ao comportamento mecânico e a sua durabilidade. Neste trabalho foi avaliado o potencial do filme obtido a base de cinza residual do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), um dos principais resíduos sólidos da agroindústria brasileira, na produção de materiais alcalinamente ativados. O objetivo do filme é atuar como superfície absorvedora solar para a produção de energia por meio da conversão térmica. Para isso, a cinza foi obtida a partir de uma usina do Estado da Paraíba e passou por dois processos de beneficiamento (peneiramento e moagem de alta energia). Em seguida a cinza moída foi ativada alcalinamente, tendo seu filme depositado pela técnica de Pintura sobre dois tipos de substratos (aço inoxidável e cobre). A avaliação dos filmes foi feita por análise do comportamento ótico e caracterização microestrutural da superfície. Observou-se que a absorvidade dos filmes obtidos por ativação alcalina da cinza do bagaço de cana-de-açúcar é influenciada pelo tipo de substrato, pelo comportamento rugoso da superfície do filme e pela espessura do filme.

¹ Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Docente da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: gomes@cear.ufpb.br

² Doutoranda em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: ithyaramachado@gmail.com

³ Mestranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: kerolayne15@hotmail.com

⁴ Graduanda em Engenharia de Energias Renováveis pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: gabriela.galvao@cear.ufpb.br

⁵ Mestranda em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: alinekarla.akbs@gmail.com

Palavras-chave: Energia solar. Ativação alcalina. Superfície seletiva.

ABSTRACT

The alkaline activated cementitious materials have occupied a significant space in the world scientific literature, mainly due to its qualities against the mechanical behavior and its durability. This work evaluated the potential of the film obtained from sugarcane bagasse ash (SBA), one of the main solid waste of the Brazilian agroindustry, in the production of alkaline activated materials. The objective of the film is to act as a solar absorber surface for the production of energy by means of thermal conversion. For this, the ash was obtained from a power plant in Paraíba and passed through two processes of beneficiation (sieving and high energy grinding). The ground ash was activated alkaline, its film deposited by technique of painting on two types of substrates (stainless steel and copper). The evaluation of the films were done by optical behavior analysis and surface microstructural characterization. It was observed that the absorbance of the films obtained by alkaline activation of sugarcane bagasse ash is influenced by the type of substrate, the rough behavior of the film surface and by the thickness of the film.

Keywords: Solar energy. Alkaline activation. Selective surface.

INTRODUÇÃO

Os Materiais Alcalinamente Ativados, também denominados de MAA, são materiais com características que vêm despertando o interesse da comunidade científica, principalmente pela sua capacidade de contribuir para a redução da emissão de poluentes, imobilização de resíduos industriais e ainda mantendo propriedades termomecânicas eficientes, o que permite seu uso tanto em estruturas como em compósitos (PANDEY *et al.*, 2000).

Dado a natureza dos materiais precursores empregados na síntese dos MAA's, o entendimento dos mecanismos de síntese traz consigo um desafio acadêmico com repercussões importantes para a comunidade científica, tendo em vista que a vasta maioria dos trabalhos publicados aborda aspectos inerentes aos materiais precursores da síntese alcalina já tradicionalmente reconhecidos (PRATESI *et al.*, 2014). Desta maneira, estudos de utilização de outros tipos de materiais aluminosilicosos têm um grande potencial para fornecer respostas importantes para o desenvolvimento de tecnologias eficientes, sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente, principalmente quando correlacionados ao aproveitamento de resíduos, como é o caso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (PAYÁ *et al.*, 2002).

No Brasil, a produção atual de cana-de-açúcar é superior a 612 milhões de toneladas por ano (UNICA, 2010), sendo uma matéria-prima utilizada para a fabricação de açúcar e álcool. Durante o processo de extração da fase líquida, o bagaço é deixado como um resíduo. Esse resíduo é mais utilizado como combustível de biomassa em vários processos, resultando em cinzas residuais e equivale a cerca de 4 milhões de toneladas por ano. A composição química pode variar de acordo com o processo tecnológico instalado em cada planta. A presença de sílica ocorre em ambas as fases cristalina e amorfa (SHI; YANG, 1999). Do ponto de vista prático, a cinza residual gerada do processo de produção de açúcar e álcoois (etanol, principalmente veículos) é mais frequentemente lançada em grandes depósitos ou, na melhor das hipóteses, utilizada como um elemento de correção de acidez.

No entanto, a falta de investigação científica adequada no que diz respeito ao papel tóxico potencial de potássio oriundo deste resíduo, bem como a presença de metais pesados a partir de produtos químicos, pesticidas e outros produtos utilizados para controlar o amadurecimento de cana-de-açúcar, caracteriza uma das grandes preocupações ambientais (KADIRGAN; SÖHMEN, 1999).

Alguns estudos mostraram que o resíduo apresenta potencial de atividade pozolânica (KENNEDY, 2002). Logo, um fator motivacional estratégico e importante de extrema relevância, neste projeto, é o desenvolvimento de pesquisas com a utilização de resíduos agroindustriais da região nordeste para o desenvolvimento de MAA com propriedades especiais (alta resistência mecânica, alta resistência ao intemperismo, aderência a substratos metálicos em elevadas temperaturas em torno de 1 000°C), e que além de contribuir para a redução dos impactos ambientais, propicia uma alternativa viável para o desenvolvimento socioeconômico da região (GOMES, 2008).

Além dos fatores citados acima, a importância do presente estudo também pode ser perceptível ao se analisar a necessidade do uso de fontes renováveis de energia, com destaque para a energia solar, associada à redução da disponibilidade dos recursos fósseis, e vinculada a existência de muitas limitações no processo de conversão solar térmica, ligadas principalmente aos materiais envolvidos.

OBJETIVOS

Esse trabalho apresentou os seguintes objetivos:

- (i) Determinar a influência do tipo de substrato em relação ao nível de absorção do filme;
- (ii) Verificar se a modificação do traço (relação silicato de sódio: água destilada) modifica a porcentagem de absorção do filme; e
- (iii) Observar a morfologia dos filmes depositados estabelecendo uma relação com o nível de absorção obtido.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A quantidade de recursos fósseis, tais como as reservas de petróleo, gás e carvão tem diminuído ao longo dos anos (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Esse fato se tornou um problema que necessita ser tratado devidamente. Isso fez com que, associado a essa necessidade, surgissem outros tipos de preocupações, como os debates relativos à diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. A partir disso, determinou-se que é fundamental uma redução em torno de 50%, para os próximos 50-100 anos, da emissão de gases que causam o efeito estufa (BARSHILIA *et al.*, 2008).

Dessa forma, a solução encontrada voltou-se para o estudo e exploração de fontes alternativas e renováveis de energia, dentre essas fontes, destaca-se o aproveitamento da energia solar incidente no planeta.

No entanto, cabe ao homem determinar a forma mais eficiente de utilizar essa energia em função da necessidade atual e futura. Entre as diversas formas que a energia solar pode ser empregada, a conversão da energia do Sol em energia térmica é a maneira mais fácil e acessível, por se tratar da aplicação do calor fornecido pela radiação solar (KATUMBA *et al.*, 2008).

Apesar desse tipo de conversão de energia solar ser bastante empregado em ambiente doméstico para o aquecimento de água, o emprego de trocadores de calor, denominados coletores solares, também podem ser empregados objetivando atingir patamares de média (entre 100°C e 400°C) e alta (acima de 400°C) temperatura (JUANG *et al.*, 2010). Porém, ao se trabalhar com níveis de média e alta temperaturas, ocorre o problema de aumento da emissividade térmica do material absorvedor empregado no coletor solar, o que provoca a perda de calor, diminuindo assim a eficiência da conversão de energia e, conseqüentemente, o processo de captação da energia solar (NIKLASSON; GRANQVIST, 1983).

A alternativa encontrada para reverter esse problema de perda por emissão foi a aplicação de superfícies que tem a capacidade de absorver os comprimentos de onda que promovem a conversão solar térmica e não absorver a região do espectro solar que promove a emissão, ou seja, superfícies que têm seletividade à radiação incidente, assim denominada de superfície seletiva (KIVAIKI, 1981).

Neste trabalho, busca-se o desenvolvimento de um novo tipo de superfície seletiva, sintetizada a partir de MAA à base de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC). Os MAA's são materiais que apresentam boa estabilidade térmica em elevadas temperaturas, além de poderem ser fabricados a partir de resíduos agroindustriais, o que reduz seu custo de fabricação e ao mesmo tempo, bem como o impacto ambiental pela diminuição do descarte de resíduos sólidos na natureza (MIHELICIC *et al.*, 2015).

Dessa forma, os MAA's se apresentam como uma alternativa bastante viável do ponto de vista da matriz energética de produção. Isto permite o uso de sistemas de aquecimento por energia solar, fonte obviamente renovável e não poluente. Outro aspecto importante do ponto de vista tecnológico reside no fato de que esses materiais

podem ser desenvolvidos a partir de diversas matérias primas precursoras, como a CBC, o que permite agregar valor a esse tipo de resíduo que é abundante no Brasil.

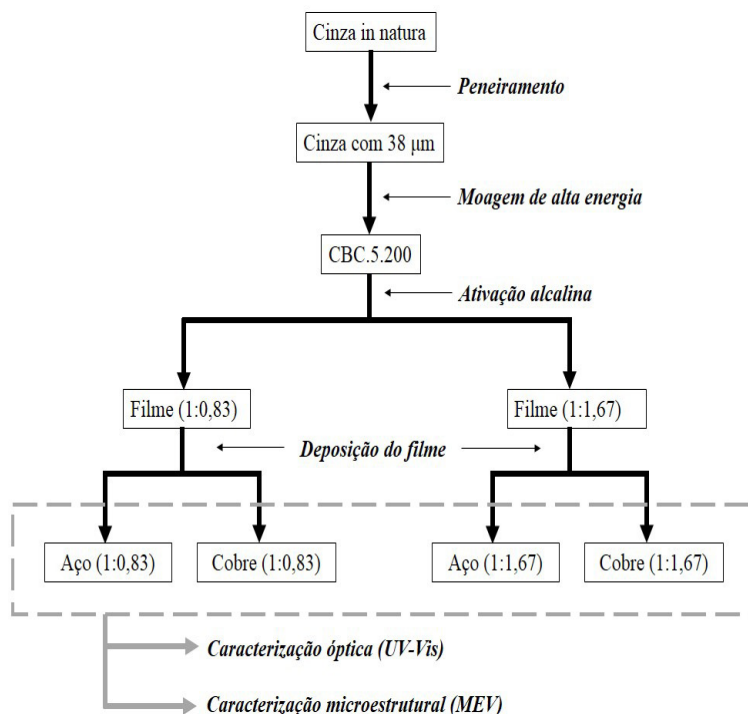
O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar com um cultivo de aproximadamente 8 milhões de hectares e uma produção aproximada de 612 milhões de toneladas de cana por ano, para diversas finalidades como a produção de aguardente, forragem e, principalmente, como matéria prima para a indústria sucroalcooleira, onde destaca-se que a Paraíba ocupa o 3º lugar em produção no norte/nordeste com safra 2009/2010 aproximada de 6,2 milhões de toneladas (MAPA, 2011).

O bagaço é gerado durante a extração do caldo por meio da moagem da cana-de-açúcar. Aproximadamente 95% de todo o bagaço produzido no Brasil é queimado em caldeiras para geração de vapor, formando a cinza residual do bagaço que, segundo Cordeiro *et al.* (2010), representa 2,5% em peso do bagaço. Dessa forma, para cada tonelada de bagaço queimado são produzidos em torno de 25 kg de cinza. Assim, tem-se em torno de 155 mil toneladas de cinza disponíveis anualmente na Paraíba.

METODOLOGIA

O planejamento experimental desenvolvido na pesquisa está ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Planejamento experimental.



Beneficiamento da matéria-prima

A cinza residual do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) foi selecionada, a partir de uma indústria produtora do Estado da Paraíba, sendo utilizadas fontes do material precursor obtidas do filtro do forno e classificadas como cinzas leves. A cinza *in natura*

passou pelo mecanismo de peneiramento, que consistiu em um processo mecânico cujo objetivo foi separar as partículas de acordo com o tamanho das mesmas, sendo dessa forma submetida a uma peneira com abertura de malha de 38 μm . Em seguida, a cinza de 38 μm foi processada por moagem de alta energia com carga de bolas 5:1 e rotação de 200 rpm.

Ativação alcalina

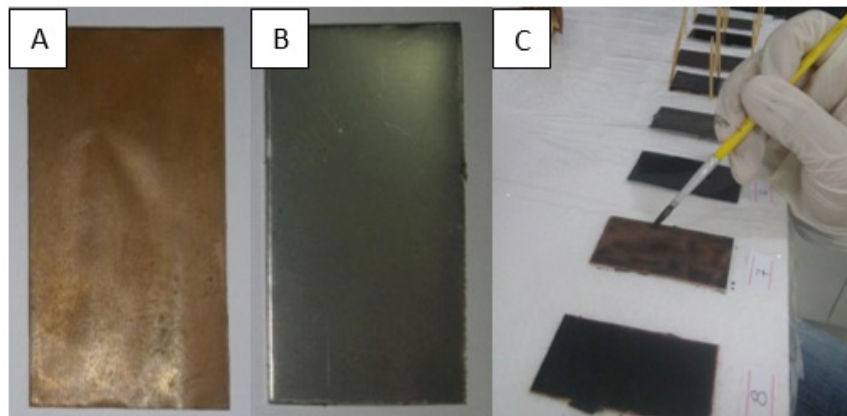
Uma vez realizada a moagem de alta energia, foram estabelecidos como parâmetros fixos da síntese as razões molares de S/A (Sílica/Alumina) variando de 36 a 38 e M/S (Álcali/Sílica) variando de 0,21 a 0,25.

Inicialmente, o silicato de sódio foi dissolvido em água destilada nas proporções 1:0,83 e 1:1,67 a fim de avaliar o comportamento do filme a base de MAA em função do grau de diluição. Em seguida, adicionou-se o precursor do MAA (cinza moída) e realizou-se a sua dissolução em solução alcalina, por meio de um processo de mistura por 10 minutos.

Deposição via pintura

Após a ativação alcalina da cinza moída (CBC.5.200), os filmes sintetizados foram depositados via pintura sobre 02 (dois) tipos de substrato (cobre e aço inoxidável), como pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2. (a) Substrato de cobre; (b) Substrato de aço inoxidável; (c) Deposição do filme via pintura.

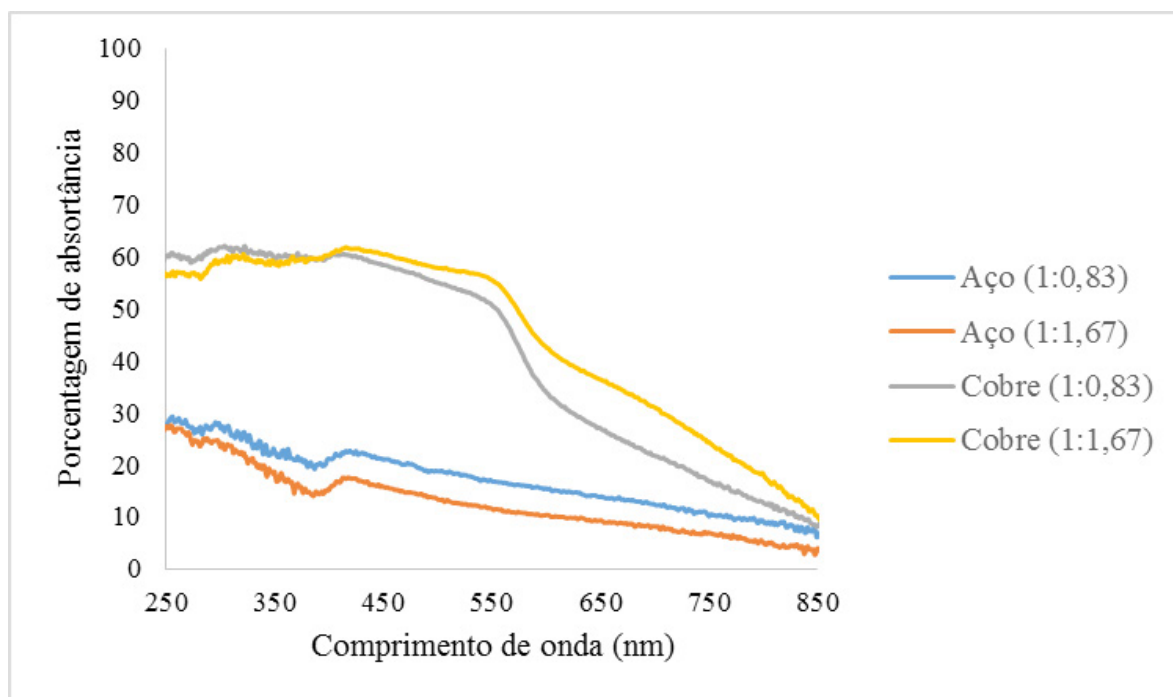


RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espectroscopia de absorvância na região do Ultravioleta-Visível (UV-Vis)

A Figura 3 apresenta os espectros de UV-Vis em termos de percentagem de absorvância dos filmes obtidos e depositados sobre substratos de cobre e aço inoxidável.

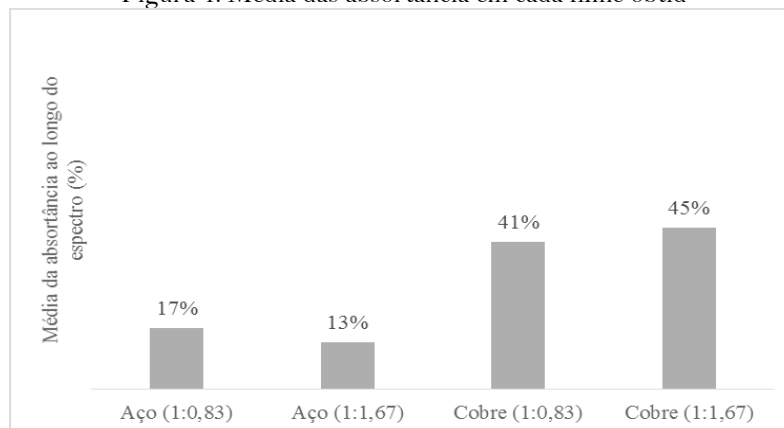
Figura 3. Espectro Absortância na região do UV-Vis dos filmes produzidos e depositados em substratos de aço inoxidável e cobre.



Por meio da Figura 3, é possível perceber que a quantidade de água aplicada no processo de ativação alcalina da CBC moída não causou influência significativa sobre o nível de absorção do filme depositado, uma vez que o comportamento dos filmes em termos de absorção são muito parecidos sob o mesmo tipo de substrato.

Já quando avaliado o tipo de substrato, observa-se uma diferença de percentagem de absorção entre os filmes, como pode ser observado tanto pela Figura 3 quanto pela Figura 4, a qual esquematiza as médias de absorvância obtidas pelos filmes ao longo de todo o espectro em estudo (faixa entre 250 nm e 850 nm).

Figura 4. Média das absorvância em cada filme obtid



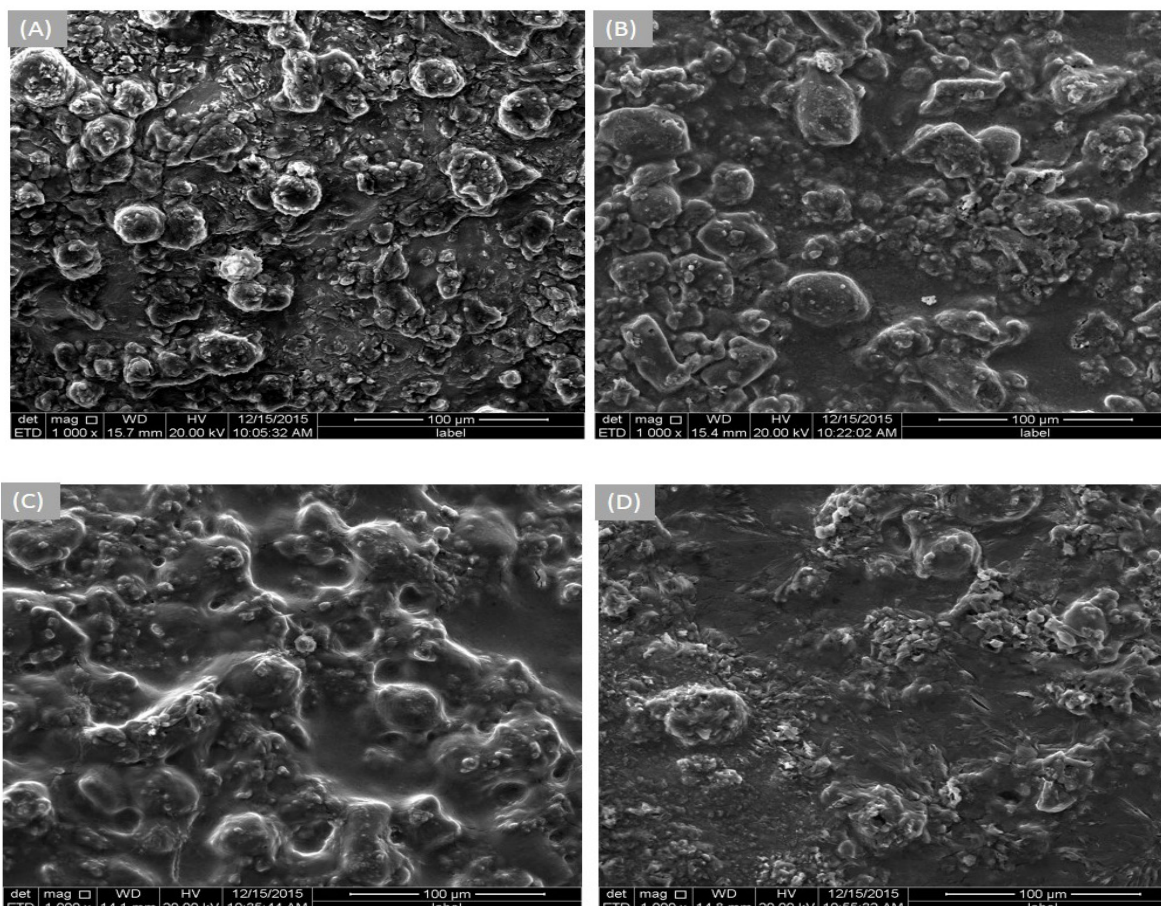
Pela Figura 4, nota-se que ocorreu um aumento percentual de 141,18% na absorvância do filme ativado com traço de 1:0,83 quando esse passou a ser depositado sobre o substrato de cobre. Essa elevação também ocorreu no filme que foi ativado à 1:1,67, sendo que o acréscimo foi de 246,15% em relação ao substrato de aço que recebeu o mesmo filme.

Dessa forma, percebe-se que a influência do tipo de substrato e sua interação com o filme depositado é significativa em termos de percentagem de absorção da superfície solar produzida.

Microscopia eletrônica de varredura – MEV

A Figura 5 apresenta as micrografias das superfícies dos filmes obtidos.

Figura 5. Micrografias dos filmes depositados: (a) Cobre (1:0,83); (b) Cobre (1:1,67); (c) Aço (1:0,83); (d) Aço (1:1,67).



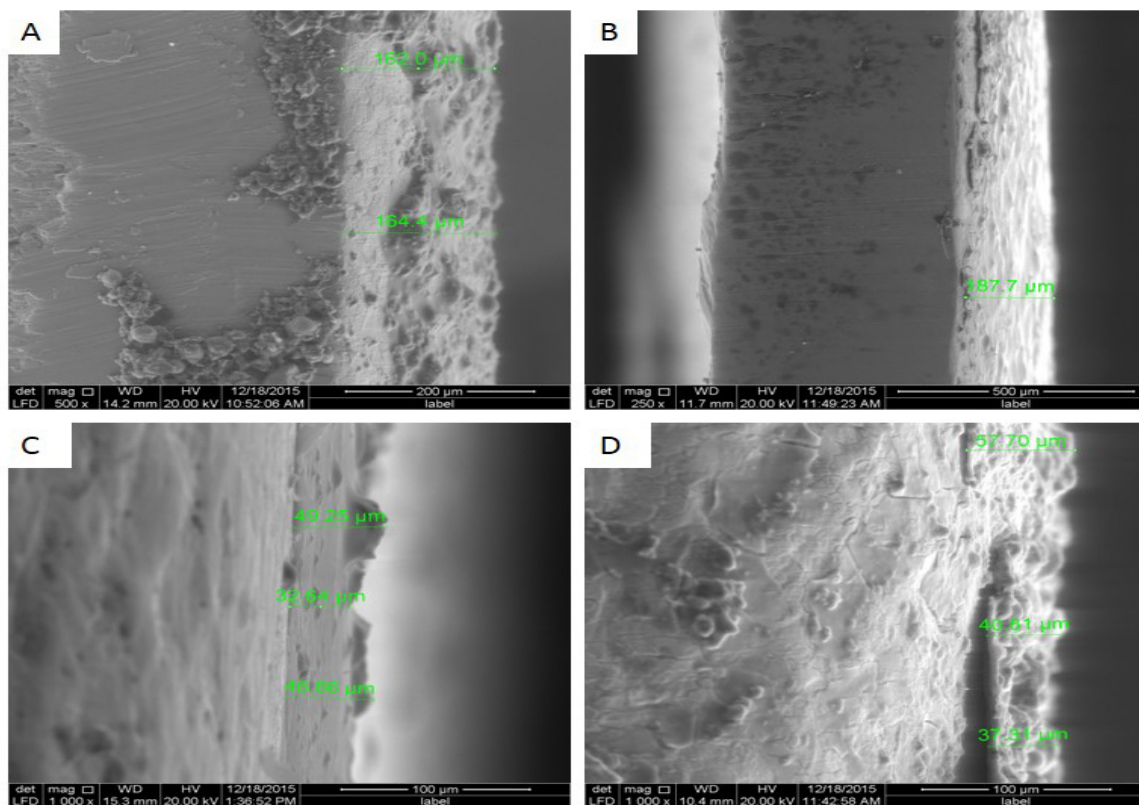
Percebe-se que o substrato de cobre proporcionou um filme, com superfície mais rugosa, quando comparado aos filmes depositados sobre o substrato de aço, fato esse que pode ter influenciado o aumento nos níveis de absorção. Uma vez que a rugosidade age como armadilhas óticas na superfície do filme, ou seja, promove

o aprisionamento e reflexão da radiação incidente de interesse (fato que aumenta a eficiência de conversão térmica) e possibilita a reflexão da faixa do espectro solar que promove a emissão térmica.

Além disso, ao comparar as micrografias dos filmes produzidos com menor traço em relação aos de maior, percebe-se uma concentração maior da CBC no primeiro, no entanto essa aglutinação não foi significativa em termos de absorção, como exposto na Figura 6.

Após a análise superficial, a técnica de MEV foi empregada com foco nas espessuras com o objetivo de analisar se as mesmas possuíam dimensões que contribuíam para a transmissão da energia absorvida para o substrato. Assim, a Figura 6 apresenta as micrografias das espessuras dos filmes obtidos.

Figura 6. Micrografias da espessura dos filmes depositados: (a) Aço (1:0,83); (b) Aço (1:1,67); (c) Cobre (1:0,83); (d) Cobre (1:1,67).



Como, pela Figura 6, a cotagem feita nas espessuras dos filmes não está de fácil visualização, as cotas foram expostas na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1. Cotas das espessuras dos filmes.

Nome da amostra	Espessuras medidas (°m)
Aço (1:0,83)	162; 164,4
Aço (1:1,67)	187,7
Cobre (1:0,83)	49,25; 32,64; 46,66
Cobre (1:1,67)	57,7; 40,81; 37,81

Observa-se que as espessuras obtidas permitiram a influência do substrato sob o filme depositado, uma vez que se encontram na escala micrométrica. Também é de interesse notar que os filmes de menor espessura (depositados sobre substratos de cobre) foram os que obtiveram os maiores níveis de absorção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da caracterização dos filmes, foi possível identificar que sobre um mesmo tipo de substrato o traço utilizado para a ativação alcalina da CBC não influencia nos níveis de absorção do filme, levando em consideração a faixa do espectro analisada (250 nm a 850 nm). Enquanto que, mantendo constante o traço, e modificando o tipo de substrato, observou-se um acréscimo de 141,18% e 246,15%, entre os níveis de absorção do aço para o cobre, em 1:0,83 e 1:1,67, respectivamente.

Em termos de análise microestrutural, foi observado que o substrato de cobre proporcionou um filme com superfície mais rugosa, quando comparado aos filmes depositados sobre o substrato de aço, fato esse que pode ter influenciado o aumento nos níveis de absorção. E em termos de espessura, os filmes de menor espessura (depositados sobre substratos de cobre) foram os que obtiveram os maiores níveis de absorção.

REFERÊNCIAS

BARSHILIA, H. C.; SELVAKUMAR, N.; RAJAM, K. S.; BISWAS, A. Structure and optical properties of pulsed sputter deposited $\text{Cr}_x\text{O}_y/\text{Cr}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ solar selective coatings. **Journal of Applied Physics**, v. 103, p. 130-143, 2008.

CORDEIRO, C. G.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Ultrafine sugar cane bagasse ash: high potential pozzolana material for tropical countries. **Revista Ibracom de Estruturas e Materiais**, v. 3, n. 1, p. 50-67, 2010.

GOMES, K. C. **Potencial de ativação alcalina de materiais residuais aluminosilicosos no desenvolvimento de matrizes cimentícias**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, 2008.

JUANG, R. C.; YEH, Y. C.; CHANG, B. H.; CHEN, W. C.; CHUNG, T. W. Preparation of solar selective absorbing coatings by magnetron sputtering from a single stainless steel target. **Thin Solid Films**, v. 518, p. 5501-5504, 2010.

KADIRGAN, F.; SÖHMEN, M. Development of black cobalt selective absorber on copper for solar collectors. **Tübitak**, Kacoeli, n. 23, p. 345-351, 4 jul. 1999.

KATUMBA, G.; OLUMEKOR, L.; FORBES, A.; MAKIWA, G.; MWAKIKUNGA, B.;

LU, J.; WACKELGARD, E. Optical, thermal and structural characteristics of carbon nanoparticles embedded in ZnO and NiO as selective solar absorbers. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 92, p. 1285-1292, 2008.

KENNEDY, C. E. **Review of mid- to high-temperature solar selective absorber materials**. EUA: National Renewable Energy Laboratory, 2002.

KIVAIKI, R. T. Optical properties of selectively absorbing chromium films deposited at oblique angle of incidence. **Solar Energy Materials**, 1981.

MAPA. **Evolução da produtividade e da produção de cana de açúcar no Brasil por safra**. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Secretaria de produção e agroenergia. Departamento da cana de açúcar e agroenergia, 2011.

MIHELICIC, M.; FRANČETIC, V.; KOVAC, J.; VUK, A. S.; OREL, B.; KUNIC, R.; PEROS, D. Novel sol-gel based selective coatings: from coil absorber coating to high power coating. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 140, p. 232-248, 2015.

NIKLISSON, G. A.; GRANQVIST, C. G. Solar absorptance and thermal emittance of coevaporated Co-Al₂O₃ cermet films. **Solar Energy Materials**, v. 7, p. 501-510, 1983.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T.; VANDENBERGHE, L. P. S. Biotechnological potential of agro-industrial residues: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, v. 74, p. 69-80, 2000.

PAYÁ, J.; MONZÓ, J.; BORRACHERO, M. V.; DÍAZ-PINZÓN, L.; ORDÓÑEZ, L. M. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production, **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v. 77, n. 1, p. 321-325, 2002.

PRATESI, S.; SANI, E.; LUCIA, M. Optical and structural characterization of nickel coatings for solar collector receivers. **International Journal of Photoenergy**, Firenze, 2014.

SHI, Y.; YANG, X. Selective absorbing surface for evacuated solar collector tubes. **Renewable Energy**, v. 16, n. 1, p. 632-634, 1999.

ÚNICA - União da Indústria da Cana de Açúcar, 2010.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica**. São Paulo: Érica, 2012.

Recebido em: 18/09/2017.

Aceito em: 28/11/2017.