

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO SUPERFICIAL E DOS PARÂMETROS DE DEPOSITAÇÃO NA ABSORTÂNCIA E MORFOLOGIA DE FILMES ABSORVEDORES A BASE DE CROMO ELETRODEPOSITADO

Tiago Oliveira de Belmont Fonsêca¹
Ronny Peterson da Nobrega Goncalves²
Gabriela Oliveira Galvao³
Aline da Silva Oliveira⁴
Kelly Cristiane Gomes⁵

RESUMO

As fontes energéticas mais utilizadas atualmente são as fontes de energia não renováveis, que contribuem para o efeito estufa. Neste sentido, as energias renováveis se mostram como alternativas às fontes convencionais, com destaque para a energia solar. A energia solar térmica é uma das formas de aproveitamento desta energia, onde a radiação é utilizada para o aquecimento de fluidos, através das tecnologias de concentração solar ou em coletores solares planos para o aquecimento de água até médias temperaturas, que para otimizar sua eficiência utilizam de dispositivos conhecidos como Superfície Solar Seletiva. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tratamento superficial dos substratos utilizados e dos parâmetros de eletrodeposição na absorção e morfologia de filmes absorvedores a base de cromo. Desta forma, foram realizados dois tipos de tratamentos superficiais em substratos de aço inoxidável AISI 304 (limpeza por hexano e tratamento mecânico via lixamento), bem como foram utilizados dois tipos de banhos eletrolíticos (B1 e B2) a base de cromo, variando o tempo de eletrodeposição (60, 120 e 300 s). Os filmes produzidos foram caracterizados pelas técnicas de Espectroscopia no UV-Vis-NIR, Perfilometria Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura. Através dos resultados das caracterizações, óptica e morfológica, percebeu-se que o tempo de deposição e o tipo de banho eletrolítico apresenta grande influência nos percentuais de absorção dos filmes produzidos, onde foi observado que tempos de deposição de 120 s são mais viáveis em termos de economia e absorção, bem como o banho tipo 2 apresentou os melhores resultados com percentuais na ordem de 97% de absorção. Foram observados ainda que o banho promoveu uma morfologia que possibilitou o fenômeno de armadilhas ópticas favorecendo uma rugosidade mais adequada para a absorção solar. Ao final do trabalho, observou-se que os melhores filmes produzidos, em termos de economia e propriedades ópticas, foram os Filmes F8 e F9.

Palavras-chave: Tratamento superficial, Morfologia, Rugosidade, Filmes de cromo, Superfície solar seletiva.

¹ Mestrando do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, thyagobelmont@hotmail.com;

² Mestrando do Curso de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, ronnypng@gmail.com;

³ Mestrando do Curso de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, gabriela.galvao@cear.ufpb.br;

⁴ Mestrando do Curso de Pós-graduação em Energias Renováveis da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, aline.oliveira@cear.ufpb.br;

⁵ Professor orientador: Doutora em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, gomes@cear.ufpb.br.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda energética no país eleva as fontes renováveis a um papel primordial para o suprimento de energia. Tendo em vista que o grande consumo energético associado a falta de investimento no setor e ao consumo indiscriminado dos combustíveis fósseis podem culminar em um desabastecimento de energia que atingirá toda a sociedade, as energias renováveis vêm ganhado espaço no setor energético pela sua diversidade, sustentabilidade e capacidade de geração de energia com menor agressão ao meio ambiente (COSTA; PRATES, 2005; VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Entre os meios de produção energética, a energia solar térmica ou conversão solar térmica vem recebendo grande destaque devido tanto a sua aplicação no aquecimento de fluídos, bem como para a geração de eletricidade, através da utilização de sistemas solares térmicos (GOLDEMBERG, 2012; GOMES et al., 2017; MEDEIROS, 2016).

No entanto, uma das limitações destes dispositivos refere-se a sua estabilidade nas temperaturas de trabalho acima de 100 °C. Neste sentido, visando minimizar estas limitações, são aplicados revestimentos absorvedores com propriedades seletivas que possuem a função principal de aumentar a eficiência de absorção da radiação solar e minimizar as perdas térmicas, sendo estes revestimentos denominados de Superfície Seletiva Solar – SSS (GOMES, 2001).

As SSS são produzidas através de diversas técnicas de obtenção, tais como: Sol-gel, Magnetron Sputtering, Deposição química por vapor, Evaporação pirolise, Pintura, Eletrodeposição, entre outros (KENNEDY, 2002; MEDEIROS et al., 2019).

Devido a sua versatilidade, baixo custo e obtenção de grandes áreas de deposição simultânea, a Eletrodeposição é uma das técnicas com maior emprego para a obtenção das SSS (AGUILAR et al., 2003; DARYABEGY e MAHMOODPOOR, 2006; MEDEIROS et al., 2019; WINDOW; RITCHIE; CATHRO, 1978). Além destes citados anteriormente, a eletrodeposição é um processo de deposição eletroquímica que consiste em uma técnica direcionada a formação de revestimento metálico com elevada aderência e propriedades físico-químicas de grande interesse a seletividade solar (PECEQUILO; PANOSSIAN, 2010).

O desempenho da SSS obtida via eletrodeposição podem ser afetados por vários parâmetros da técnica aplicada, tais como: tipo de limpeza do substrato, tempo de eletrodeposição, rugosidade dos substratos, o tipo de banho eletrolítico utilizado, entre outros (AGUILAR et al., 2003; BHOWMIK et al., 2001; CAO et al., 2014; GOMES et al., 2017; LAMPERT e WASHBURN, 1979; MOISE; CLOOTS; RULMONT, 2001; PIRATELLI

FILHO, 2011; PROTSENKO et al., 2011; SHEU et al., 2016; SMITH; TEYTZ; HILLERY, 1983; SMITH; MCPHEDRAN; DERRICK, 1985).

Desta forma, para montar um processo eletroquímico reproduzível de um filme absorvedor seletivo, adesivo e homogêneo sobre um substrato metálico com propriedades ópticas e mecânicas bem definidas, é preciso controlar todos os parâmetros eletroquímicos e entender sua influência (JAFARI; ROZATI, 2011).

Além do tipo de técnica utilizada para a obtenção das SSS, o tipo de material utilizado na sua produção é relevante nas propriedades ópticas e mecânicas dos filmes. A Tabela 1 apresenta os principais tipos de materiais depositados pelas técnicas supracitadas, assim como os tipos de substratos utilizados e os níveis de absorvância e emitância normalmente atingidos.

Tabela 1. Métodos de fabricação de superfície seletiva solar. Adaptado de Kennedy (2002).

Material	Substrato	Processo de fabricação	Absortância (%)	Emitância a 100°C (%)
Cr:SiO ₂	Cu	DC (<i>Direct Current</i>)	90-96	3-14
	Al	Sputtering		
NiCrOx	Aço	Sputtering	80	14
CuFeMnO ₄ /silica	Vidro Si	Sol-gel	60	29-39
Cromo negro	Cu	Eletrodeposição	97	9
	Aço			
Cr, Fe, Mo, SS, Ta, Ti, W	Cu	DC Sputtering	84-90	3,5-6
Ge	Cu	Pintura	91	7
	Si			
	Aço		83	7

Após avaliar os dados apresentados na literatura, bem como o exposto na Tabela 1, optou-se neste estudo pelo emprego da técnica de Eletrodeposição e a utilização do cromo como material seletivo absorvedor, em virtude, especialmente, das propriedades ópticas (absortância e emitância) dos filmes obtidos.

Desta forma, neste trabalho serão avaliados a influência do tratamento superficial dos substratos que receberão o filme absorvedor, o tempo de deposição, bem como o tipo de banho eletrolítico, correlacionando os mesmos com a absorvância e morfologia dos filmes obtidos.

METODOLOGIA

Para concretizar o objetivo da pesquisa, foi estabelecido o programa experimental descrito a seguir:

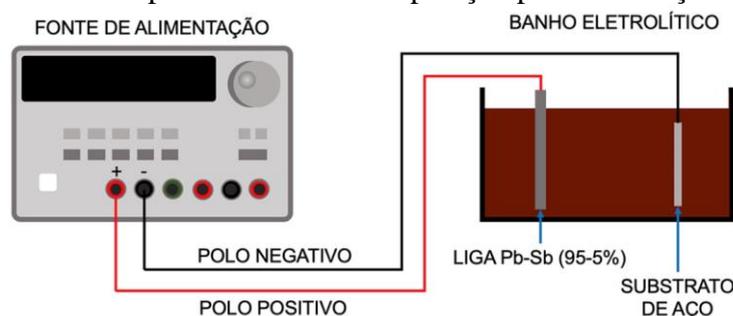
- a) Determinação dos parâmetros de deposição;
- b) Preparo dos banhos eletrolíticos;
- c) Tratamento Superficial dos Substratos;

- d) Obtenção dos filmes absorvedores;
- e) Caracterização óptica e morfológica.

Determinação dos parâmetros de deposição

Para a realização da eletrodeposição foi utilizado um eletrodo inerte de Pb-Sb (95-5%) conectado ao polo positivo (ânodo), enquanto o substrato foi conectado ao polo negativo (cátodo) da fonte de alimentação, tendo os mesmos sido imersos nos banhos eletrolíticos propostos no trabalho. A corrente do sistema foi oriunda de uma fonte de tensão da marca Agilent modelo E3631A. O arranjo físico do processo de deposição está apresentado na Fig. 1.

Figura 1. Esquema físico do processo de eletrodeposição para a obtenção dos filmes.



Para a realização do experimento foram mantidas fixas uma corrente de 5A e distância de trabalho de 15 mm com base nos trabalhos de Medeiros et al. (2019). A variação de tempo (60, 120 e 300 s) de deposição teve como objetivo determinar as melhores condições de realização do processo para obtenção de filmes mais absorvedores.

Preparo dos banhos eletrolíticos

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dois tipos de banhos eletrolíticos de cromo com o objetivo de avaliar a influência dos banhos na absorvância e morfologia dos filmes. O primeiro banho (B1), utilizou 700 ml de água destilada, 247 g/L de Trióxido de Cromo (CrO_3) e 0,854 g/L de Ácido hexafluorossilícico (H_2SiF_6), baseado nos trabalhos de Daryabegy e Mahmoodpoor (2006). Para o segundo banho (B2), foi utilizado 400 ml de água destilada, 364 g/L de Trióxido de Cromo (CrO_3) e 1,8 ml/L de Ácido hexafluorossilícico (H_2SiF_6), 9,1 g/L de Carbonato de Bário (BaCO_3) e 2,3 g/L de Nitrato de Potássio (KNO_3), baseado nos trabalhos de Aguilar et al. (2003).

Tratamento Superficial dos Substratos

Nesse estudo, foram utilizados substratos com dimensões de 30 x 30 mm de aço inoxidável AISI 304. Antes da eletrodeposição, os substratos passaram por dois tipos de

tratamentos superficiais, visando avaliar a influência deste parâmetro na rugosidade superficial final e aderência dos filmes produzidos. Neste sentido, parte dos substratos foram submetidos a limpeza desengordurante com hexano (LH) durante 15 min e posterior lavagem em água destilada, seguido de banho ultrassônico por 15 min em uma solução de álcool isopropílico, de acordo com a metodologia de Vilela (1985).

A segunda parte dos substratos passaram por processos mecânicos de lixamento (TM), sendo utilizado uma lixa de 400 mesh, conforme os trabalhos de Axelbaum e Brandt (1987) e Quintana e Sebastian (1994). O procedimento de lixamento foi realizado em uma politriz lixadeira de velocidade variável (PVV) da marca Teclago, tendo os substratos sido lixados com uma rotação de 100 rpm durante 1 min em sua posição vertical e em seguida rotacionados a 90° e submetidos novamente a 1 min de lixamento. Após esse procedimento, os substratos foram embebidos em álcool isopropílico e realizado banho ultrassônico durante 15 min a fim de eliminar quaisquer impurezas que viessem a influenciar nos resultados.

A Tabela 2 apresenta a nomenclatura adotada para as amostras após a determinação dos parâmetros de deposição, o preparo dos banhos eletrolíticos e o tratamento superficial dos substratos. A fim de garantir a confiabilidade dos resultados finais das análises aos quais os filmes foram submetidos, foram realizadas réplicas e tréplicas de cada condição de amostra.

Tabela 2. Nomenclatura adotada para as amostras e os parâmetros de eletrodeposição.

Amostras*	Banho eletrolítico	Tratamento Superficial do Substrato	Corrente (A)	Distância eletrodos (mm)	Tempo de eletrodeposição (seg)
<i>F1</i>	B1	LH	5	15	60
<i>F2</i>					120
<i>F3</i>					300
<i>F4</i>		TM			60
<i>F5</i>					120
<i>F6</i>					300
<i>F7</i>	B2	LH	5	15	60
<i>F8</i>					120
<i>F9</i>					300
<i>F10</i>		TM			60
<i>F11</i>					120
<i>F12</i>					300

*Cada condição de amostra teve suas respectivas duplicatas e triplicatas confeccionadas.

Em todas as amostras foi utilizada a metodologia de “batente”, na qual somente uma parte do substrato sofre deposição. Essa metodologia foi empregada com o objetivo de proporcionar a determinação da espessura do filme e pode ser observada na Fig. 2.

Figura 2. Metodologia da construção de batente: (A) Substrato antes do tratamento mecânico; (B) Após tratamento mecânico e com batente; (C) Substrato eletrodepositado com batente.



Caracterização dos filmes produzidos

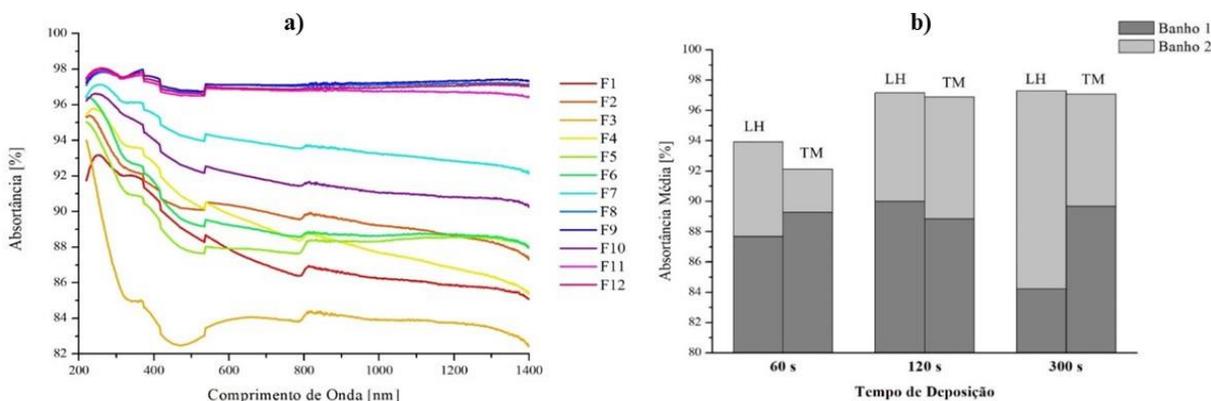
As medidas de absorvância e refletividade dos filmes foram acessadas pela Espectrofotometria de UV-Vis-NIR operando na região de 220 nm a 1400 nm, utilizando o acessório de esfera de integração em espectrofotômetro da Shimadzu, modelo UV-2600. A rugosidade e espessura dos filmes foram obtidas pela Perfilometria Óptica com o auxílio de um perfilômetro óptico sem contato modelo CCI MP, fabricado pela Taylor Hobson. A análise morfológica dos filmes foi realizada em Microscópio Eletrônico de Varredura LEO1430. A amostra foi metalizada de modo a promover uma melhor visualização de sua morfologia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espectroscopia de UV-Vis-NIR

A Figura 3 apresenta a distribuição espectral dos percentuais de absorvância para os filmes produzidos neste trabalho, bem como sua relação com o tipo de banho utilizado.

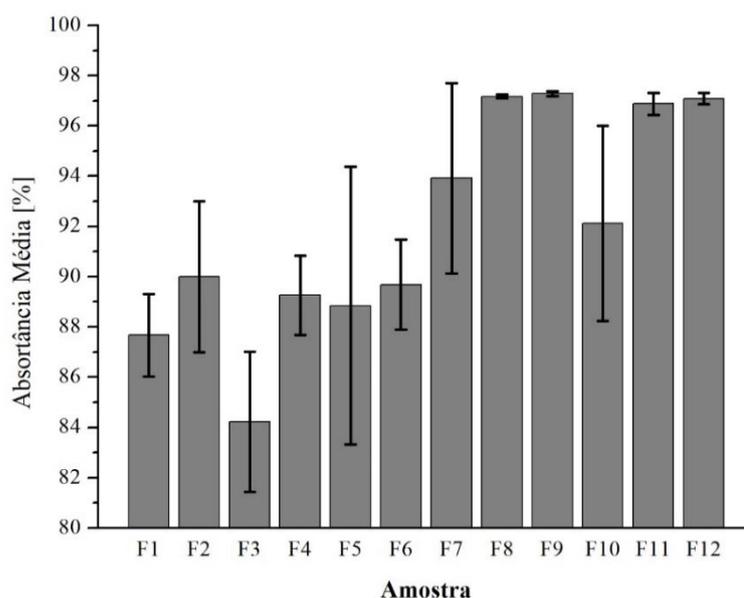
Figura 3. Espectro da absorvância dos Filmes produzidos e sua influência com o Tipo de Banho Eletrolítico.



Pode-se observar pela Figura 3(a) que os filmes F8 e F9 da limpeza com hexano e F11 e F12 do tratamento mecânico, apresentaram os melhores resultados de percentuais de absorvâncias. Neste sentido, observa-se que os tempos de 120 e 300 s promoveram melhores resultados de absorvância para esses tratamentos, destacando-se um incremento na absorvância de 60 s para 120 s, bem como de 120 s para 300s. Estes resultados também foram observados por Lee et al. (2000) e Lee (2007), que analisou as características ópticas de superfícies solares de cromo negro. Pela Figura 3 (b), pode-se observar que o Banho 2 promoveu melhores resultados de absorvância, independente do tipo de tratamento superficial dos substratos, bem como do tempo de deposição.

Para facilitar a comparação dos filmes, foram calculadas as suas médias de absorvância ao longo do espectro e suas respectivas faixas de tolerância (desvio padrão), como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. Média de absorvância e desvio padrão dos filmes produzidos.



Pela Figura 4 pode-se observar que os Filmes F8 e F9 apresentaram as maiores absorvâncias médias, na ordem de 97%, bem como os Filmes F11 e F12. Contudo os dois primeiros filmes (tratamento com hexano) apresentaram os menores percentuais de desvio padrão, que foram na ordem de $\pm 0.1\%$.

Perfilometria Óptica

A Tabela 3 exhibe os valores dos parâmetros de rugosidade R_p (máxima altura de pico do perfil da rugosidade), R_v (máxima profundidade de vale do perfil da rugosidade) e R_a (desvio

médio aritmético do perfil da rugosidade) dos filmes eletrodepositados, bem como as espessuras dos mesmos e os valores de absorvância observados para cada filme produzido.

Tabela 3. Relação entre os parâmetros de Rugosidade, as espessuras dos filmes e os valores de percentuais de absorvância com desvio padrão observados.

Amostras	Ra (μm)	Rv (μm)	Rp (μm)	Espessura (μm)	Absorvância Média (%)	Desvio Padrão (%)
<i>F1</i>	0,114	0,422	0,411	0,785	87,67	1,64
<i>F2</i>	0,150	0,848	0,623	-	90,00	3,01
<i>F3</i>	0,348	0,917	1,588	1,247	84,23	2,79
<i>F4</i>	0,222	0,814	0,897	-	89,26	1,57
<i>F5</i>	0,151	0,659	0,758	0,737	88,84	5,53
<i>F6</i>	0,471	1,808	1,975	-	89,68	1,78
<i>F7</i>	0,434	1,900	2,048	-	93,92	3,79
<i>F8</i>	0,477	1,888	1,833	-	97,17	0,07
<i>F9</i>	0,462	1,466	1,411	2,207	97,28	0,10
<i>F10</i>	0,233	1,079	0,886	-	92,12	3,88
<i>F11</i>	0,285	1,348	1,404	3,263	96,88	0,44
<i>F12</i>	0,409	1,598	1,713	8,333	97,09	0,23

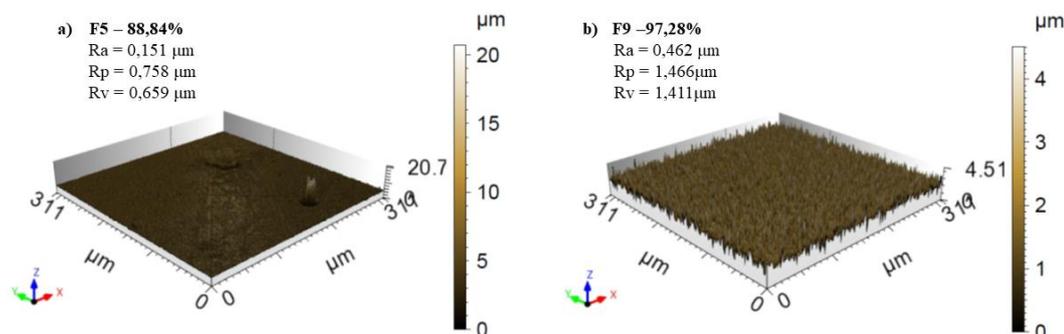
Pela Tabela 3, pode-se observar um incremento nos valores de rugosidade dos filmes produzidos com o aumento do tempo de eletrodeposição independente do tipo de tratamento superficial do substrato. Estes resultados foram observado por Window, Rirchie e Cathro (1978) que avaliaram o crescimento dos valores do parâmetro Ra com o aumento do tempo de deposição na obtencao de superfícies seletivas de cromo negro em substratos de metal polido com valores de Ra na ordem de 0,12 μm para filmes eletrodepositados por 55 segundos, e que estão compatíveis com os observados neste trabalho. Pode-se observar, que quando comparado os tipos de banhos, o banho 2 (B2) apresentou os maiores valores de rugosidades médias, bem como os maiores percentuais de absorvâncias, evidenciando que a composição química do banho afeta o tipo de morfologia dos filmes produzidos.

Analisando o tipo de tratamento, observou-se que o Tratamento Mecânico (TM) não apresentou relevância significativa nos perfis de rugosidades dos filmes produzidos, onde foram observados valores de rugosidade semelhantes para ambos os tipos de banhos. Isto pode está relacionado, tanto a granulometria utilizada para a realização do lixamento, quanto ao tempo empregado no mesmo, e que podem não ter sido os mais adequados.

Já quando analisado os resultados obtidos para o tratamento a base de hexano, o mesmo sofreu influência do tipo de banho eletrolítico, apresentando uma maior interação com este, e produzindo rugosidades com valores variando entre 0,11 a 0,48 μm .

A Figura 5 exhibe a microestrutura em 3D dos Filmes F5 e F9.

Figura 5. Perfilometria de superfície dos filmes eletrodepositados F5 e F9.

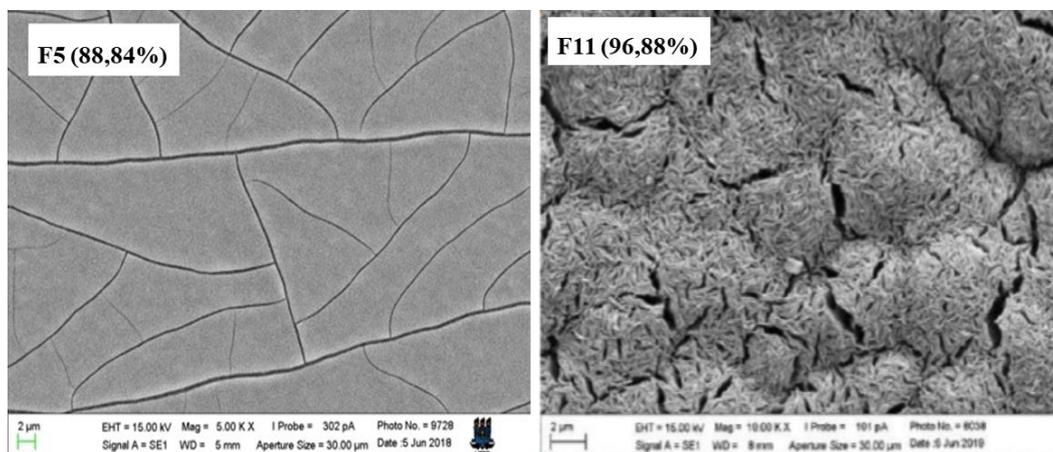


Pela Figura 5 é possível notar que a morfologia dos filmes apresenta grande influência nos percentuais de absorção obtidas. Segundo Cuomo et al. (1975), uma superfície constituída por uma rigorosa floresta de agulhas alinhadas com diâmetros de mesma dimensão que o comprimento de onda da luz visível e com distanciamento da ordem de muitos comprimentos de onda permite a absorção com elevada eficiência em função das múltiplas reflexões à proporção que os fótons penetram o labirinto de agulhas. Dessa maneira, observando a Figura 5, é possível constatar que o aumento dos parâmetros Rp, Rv e Ra podem ter promovido essa construção de “labirinto de agulhas” que favoreceu a absorção.

Microscopia Eletrônica de Varredura

A Figura 6 apresenta a morfologia dos filmes F5 e F11, obtidos pela técnica de eletrodeposição durante 120 s para os banhos B1 e B2, respectivamente.

Figura 6. Micrografias dos filmes F5 e F11, eletrodepositados com os banhos B1 e B2, respectivamente.



Pela Figura 6, percebe-se que apesar da estrutura dos filmes serem a base de cromo, sua morfologia apresenta algumas semelhanças, em termos de se tratar de uma estrutura microfissurada ao longo da sua superfície, conforme observados em trabalhos semelhantes (MEDEIROS et al., 2019). Contudo, o filme F5 oriundo do banho B1, apresenta uma morfologia superficial mais lisa, quando comparado ao filme F11 que apresenta ao longo da sua superfície numerosos cristais lamelares homogêneos, que podem ter vindo a contribuir para a elevada absorção do filme.

Outro fator relevante que pode ter tido um papel importante para o elevado percentual de absorção do filme F11, pode está relacionado ao fenômeno de armadilhas ópticas, no qual as múltiplas reflexões da radiação incidente aumentam a probabilidade de absorção. Esta mesma morfologia do filme F11 foi observada por Aguilar et al. (2003) trabalhando com filmes absorvedores a base de cromo utilizando o mesmo tipo de banho eletrolítico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os filmes de cromo produzidos mostraram-se favoráveis à sua aplicação como revestimento seletivo de coletores solares, dados os altos níveis de absorção obtidos. Mostrou-se que a formulação do banho 2 possibilitou a obtenção de filmes com melhores propriedades ópticas, em termos de absorção, e menores desvios em relação aos filmes obtidos através do banho 1.

Em relação aos tratamentos superficiais do substrato, não foram observadas diferenças significativas em suas influências na absorção dos filmes. Entretanto percebe-se que o tratamento com hexano mostrou-se ligeiramente mais eficaz que o tratamento mecânico em termos de apresentarem menos desvio padrão nos percentuais de absorção, se tratando de um tratamento mais homogêneo.

O tempo de eletrodeposição de 120 s mostrou-se o mais viável para a produção comercial desses revestimentos, uma vez que apresentou resultados tão satisfatórios quanto o tempo de 300 s, porém com uma maior economia de recursos energéticos. Esses parâmetros também proporcionaram os menores desvios padrão, evidenciando assim a homogeneidade das propriedades dos filmes obtidos pelo processo de eletrodeposição.

Observou-se que os filmes cuja morfologia apresentaram os maiores valores de rugosidade foram também aqueles que promoveram os melhores valores de absorção, provenientes dos “labirintos de agulhas” que aprisionam a radiação em suas estruturas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte técnico dos Laboratórios LABFILM, TECNOM e LABIO da UFPB. Agradecem ainda às instituições brasileiras de fomento CAPES e CNPq.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, M.; BARRERA, E.; PALOMAR-PARDAVÉ, M.; HUERTA, L.; MUHL, S. Characterization of black and white chromium electrodeposition films: surface and optical properties. **Journal of non-crystalline solids**, v. 329, n. 1-3, p. 31-38, 2003.

AXELBAUM, R.L.; BRANDT, H. The effect of substrate surface preparation on the optical properties of a black chrome solar absorber coating. **Solar Energy**, vol. 39, n.3, pp. 233-241, 1987

BHOWMIK, N.C.; RAHMAN, J.; KHAN, M.A.; MAZUMDER, Z.H. Preparation of selective surfaces and determination of optimum thickness for maximum selectivity. **Renewable energy**, v.24, n.3-4, p.663-666, 2001.

CAO, F.; MCENANEY, K.; CHEN, G.; REN, Z. A review of cermet-based spectrally selective solar absorbers. **Energy & Environmental Science**, v. 7, n. 5, p. 1615-1627, 2014.

COSTA, R.C.; PRATES, C.P.T. **O Papel das Fontes Renováveis de Energia no Desenvolvimento do Setor Energético e Barreiras à sua Penetração no Mercado**. BNDES Setorial, RJ, n.21, p. 5-30, 2005.

CUOMO, J.J.; ZIEGLER, J.F.; WOODALL, J.M. A new concept for solar energy thermal conversion. **Applied Physics Letters**, v. 26, n. 10, p. 557-559, 1975.

DARYABEGY, M.; MAHMOODPOOR, A.R. Method of manufacturing absorbing layers on copper for solar applications (I). **IESCO Jour. of Science and Technology**, v.2, n.1, p.35-39, 2006.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2011.

GOMES, C.A.S. **Estudo Comparativo de Superfícies Seletivas para Coletores Solares**. 2001. Dissertação (Mestrado Eng. e Ciências de Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

GOMES, K.C.; MEDEIROS, I.D.M.; GALVÃO, G.O.; LEITE, K.S.; SILVA, A.K.B. Avaliação das características da cinza do bagaço da cana-de-açúcar obtida por moagem de alta energia. **Revista InterScientia**, v.5, n.2, p. 39-50, 2017.

JAFARI, S.; ROZATI, S.M. Characterization of black chrome films prepared by electroplating technique. In: **World Renewable Energy Congress-Sweden; 8-13 May; 2011; Linköping; Sweden**. Linköping University Electronic Press, p. 3999-4005, 2011.

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

LAMPERT, C.M.; WASHBURN, J. Microstructure and optical properties of black chrome before and after exposure to high temperatures. In: **Second Annual Conference on Absorber Surfaces for Solar Receivers**, 1979.

LEE, K.D.; JUNG, W.C.; KIM, J.H. Thermal degradation of black chrome coatings. **Solar energy materials and solar cells**, v. 63, n. 2, p. 125-137, 2000.

LEE, K.D. Preparation and characterization of black chrome solar selective coatings. **Journal of Korean Physical Society**, v. 51, p. 135, 2007.

MEDEIROS, I.D.M. **Superfícies seletivas a base de polímeros inorgânicos para coletores solares de média e alta temperatura**. 2016. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

MEDEIROS, I.D.M.; GOMES, K.C.; GONÇALVES, R.P.N., GALVÃO, G.O. Selective solar surface solar based on black chromium: influence of electrodeposition parameters in the absorption of surfaces. **Materials Research**, v.22, n.2, 2019.

MOISE, V.; CLOOTS, R.; RULMONT, A. Study of the electrochemical synthesis of selective black coatings absorbing solar energy. **Intern. Jour. Inorganic Materials**, v. 3, n. 8, p. 1323-1329, 2001.

PECEQUILO, C.V.; PANOSSIAN, Z. Estudo do mecanismo de eletrodeposição do cobre a partir do HEDP por meio da técnica eletroquímica de medição do potencial de circuito aberto. In: Congresso Brasileiro de Corrosão, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2010.

PIRATELLI FILHO, A. Rugosidade superficial. **Seminário de Metrologia**, v. 3, 2011.

PROTSENKO, V.S.; DANILOV, F.I.; GORDIENKO, V.O.; KWON, S.C.; KIM, M.; LEE, J.Y. Electrodeposition of hard nanocrystalline chrome from aqueous sulfate trivalent chromium bath. **Thin Solid Films**, v. 520, n. 1, p. 380-383, 2011.

QUINTANA, J.; SEBASTIAN, P.J. The influence of various substrate treatments on morphology and selective absorber characteristics of electrochemical black chrome. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, v.33, pp. 465-474, 1994.

SHEU, H.H.; LU, C.E.; LEE, H.B.; PU, N.W.; WU, P.F.; HSIEH, S.H.; GER, M.D. Electrodeposition of black chromium–cobalt alloy based on trivalent sulfate electrolyte. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 59, p. 496-505, 2016.

SMITH, G.B.; TEYTZ, K.; HILLERY, P. The substrate impact on the structure and thermal stability of solar selective black chrome. **Solar Energy Materials**, v.9, n. 1, p. 21-41, 1983.

SMITH, G.B.; MCPHEDRAN, R.C.; DERRICK, G.H. Surface structure and the optical properties of black chrome. **Applied Physics A**, v. 36, n. 4, p. 193-204, 1985.

VILELA, M.F. **Obtenção de uma superfície seletiva de cromo negro depositada em um substrato de aço inoxidável (AISI 304) para conversão térmica de energia solar**. 1985. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1985.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J.R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª Edição. São Paulo. EditoraÉrica, 2012.

WINDOW, B.; RITCHIE, I. T.; CATHRO, K. Selective electroplated chromium blacks. **Applied optics**, v. 17, n. 16, p. 2637-2644, 1978.