

# DESENVOLVIMENTO DE SUPERFÍCIES SUPERHIDROFÓBICAS COM EFEITO AUTOLIMPANTE PARA APLICAÇÕES EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

**Aline Geice Vitor Silva** – alinegeice@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais

**Angela de Mello Ferreira** – angelamello@des.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais  
Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Recursos Minerais, água e Biodiversidade. INCT-Acqua

**Lucélio Oliveira Lemos** – lucelio59@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Materiais

**Magnum Augusto Moraes Lopes de Jesus** – mamlopes@hotmail.com

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química

**Resumo.** *O aproveitamento da energia solar que chega na superfície da terra, tanto como fonte de calor quanto de luz é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras. Os módulos fotovoltaicos estão sujeitos a ação da poluição, empoeiramento e demais fatores naturais, que dificultam ou reduzem a incidência dos raios solares nas células, prejudicando seu rendimento. O desenvolvimento de superfícies de vidro hidrofóbicas e autolimpantes apresenta grande interesse na comunidade científica devido às suas diversas possibilidades de aplicações tecnológicas, dentre as quais vidros para módulos fotovoltaico. Neste estudo, uma superfície super-hidrofóbica foi desenvolvida através da deposição de um filme fino sobre superfície de um substrato de vidro utilizando-se tecnologia sol-gel. Um sol estável foi obtido usando tetraetilortossilicato (TEOS) como precursor e as deposições foram realizadas pelo processo de recobrimento por imersão (dip-coating). O efeito super-hidrofóbico foi obtido pela deposição de filmes finos de  $\text{SiO}_2$  e funcionalização subsequente utilizando um tensoativo como agente de acoplamento. O revestimento depositado foi caracterizado em relação à energia de superfície através da avaliação do ângulo de contato e quanto à transmitância óptica por espectrofotometria UV-Vis. As medidas de ângulo de contato dos filmes finos antes e após funcionalização foram menores que  $5^\circ$  e  $134^\circ$ , respectivamente, confirmando o caráter hidrofílico inicial e hidrofóbico após funcionalização. A transmitância de vidro aumentou após o revestimento. Neste trabalho, um filme fino de sílica transparente e super-hidrofóbico livre de rachaduras foi obtido por uma rota simples, com boa propriedade de autolimpeza.*

**Palavras-chave:** *Acúmulo de Sujidade, Filmes finos Autolimpantes, Funcionalização, Sílica.*

## 1. INTRODUÇÃO

A comunidade científica possui grande interesse na nanotecnologia devido às novas propriedades adquiridas pelos materiais antes não observadas em escala macroscópica. Um aspecto interessante e motivador para o estudo e desenvolvimento dos nanomateriais é a possibilidade de diminuição do seu tamanho mantendo a sua capacidade de operação. Esses materiais funcionais são projetados para aplicações específicas que requerem controle da sua estrutura em escala atômica com morfologia e dimensões controladas de acordo com as propriedades desejadas, como ressaltado por Ferreira et al, (2014).

Uma forma interessante de trabalhar com os nanomateriais é através da síntese de filmes finos nanoestruturados, onde as propriedades de superfície podem ser modificadas pela incorporação de grupos funcionais específicos ou pela introdução controlada de porosidade. Os revestimentos nanoestruturados se destacam por apresentarem novas propriedades físicas e químicas. De acordo com Zhang (2014), revestimentos com propriedade de autolimpeza, por exemplo, tem atraído atenção significativa da comunidade científica devido aos seus aspectos fundamentais e às amplas aplicações práticas. Dentre elas podem-se citar vidros de janelas para ambientes climatizados, coletores solares, módulos fotovoltaicos, telas de dispositivos eletrônicos, etc.

Nesse sentido, os revestimentos autolimpantes podem prevenir ou minimizar o acúmulo de sujidades em painéis fotovoltaicos, além de aumentar a transmitância dos vidros destes módulos.. Uma boa transmitância da superfície que recobre os módulos é fundamental o desempenho das células solares. A deposição da poeira produzida nos arredores devido à poluição ou fenômenos naturais está relacionada às condições ambientais nas quais a superfície está exposta. Normalmente onde os níveis de radiação são mais elevados existe baixo índice de precipitação de chuva e o efeito do acúmulo de sujidade, também conhecido como efeito *soiling*, é mais grave. A chuva pode reduzir a sujeira, pois produz a limpeza natural da superfície. De acordo com Sarver et al. (2013) e Sayyah et al. (2014), um dos problemas não considerados na implantação e operação da maioria dos sistemas solares é o impacto do acúmulo de sujidades como

partículas de poeira ou sujeira em superfícies expostas ou intermediárias. Estes autores ainda ressaltam que o acúmulo de poeira e outras partículas em coletores solares pode provocar perdas significativas de transmissão em sistemas fotovoltaicos.

A Fig. 1 apresenta os módulos fotovoltaicos (PV) instalados na “University of Bahrain” (UoB). Segundo ALNASER et al. (2015) essa região é composta por 2.088 painéis fotovoltaicos, com área total de 3.400 m<sup>2</sup> cuja limpeza manual apresenta elevado custo para ser realizada.



Figura 1: Módulos fotovoltaicos PV instalados na “University of Bahrain” (UoB). Composta por 2.088 painéis fotovoltaicos (policristalino), área total de 3.400 m<sup>2</sup>. FONTE: ALNASER et al, (2015).

A solução para minimizar o efeito da sujeira seria produzir uma superfície autolimpante para que, mesmo em regiões de pouca chuva, houvesse acúmulo menor de sujidades nos vidros e outras superfícies que estão sujeitas a esse tipo de aplicação. Segundo Vivar et al. (2008), as sujidades diminuem a transmitância dos módulos fotovoltaicos devido ao espalhamento da radiação incidente, reduzindo a intensidade que chega à célula. Em particular, painéis fotovoltaicos com sistema ópticos concentradores (CPV) podem apresentar perda de até 26% de corrente gerada quando o painel está sujo.

Os recobrimentos autolimpantes estão divididos em duas categorias: superhidrofílico e superhidrofóbico. Os recobrimentos de ambos os tipos apresentam o efeito autolimpante com a ação da água, sendo o primeiro pelo espalhamento de água que carregam a sujeira para fora da superfície e o segundo pela formação de gotículas de água rolantes, como pode ser visto na Fig. 2.

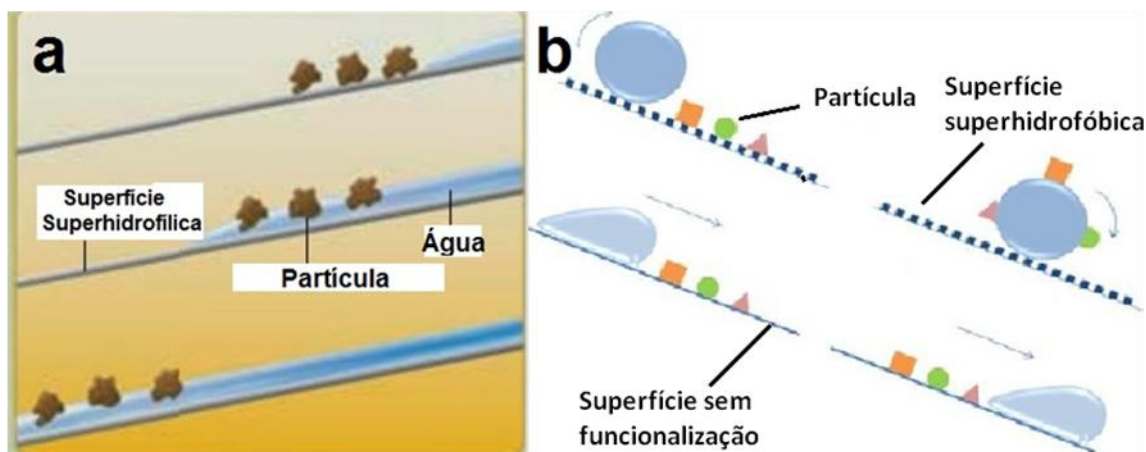


Figura 2– Recobrimento autolimpante superhidrofílico (a) e superhidrofóbico (b).

As superfícies autolimpantes apresentam uma molhabilidade especial (superhidrofilicidade ou superhidrofobicidade) e sua obtenção pode contribuir grandemente para a diminuição do acúmulo de sujidades sobre a superfície. A molhabilidade é uma propriedade importante de uma superfície sólida e o ângulo de contato é comumente utilizado para caracterizar sua molhabilidade, Fig 3. Uma superfície pode apresentar diferentes características dependendo da sua natureza física, como tensão superficial, ou dependendo da rugosidade e topologia da superfície.

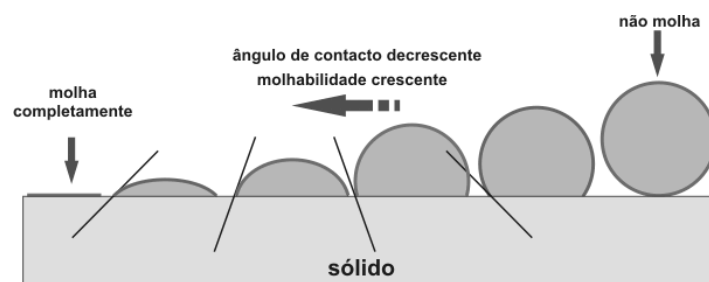


Figura 3: Molhabilidade e ângulo de contato. FONTE: NETO, 2012.

O ângulo de contato ( $\theta$ ) CA que define a molhabilidade de uma superfície plana pode ser calculado pela expressão de Young, Eq. (1).

$$\cos \theta = \frac{(\gamma_{SG} - \gamma_{SL})}{\gamma_{LG}} \quad (1)$$

Onde  $\gamma_{SG}$  é a tensão superficial interfacial para S(sólido)-G(gasoso),  $\gamma_{SL}$  para L(líquido)-G(gasoso) e  $\gamma_{LG}$  para G(gasoso)-L(líquido). O ângulo de contato é o ângulo entre a tangente da superfície da gota de água na interface líquido-gás e a superfície do material. Para o ângulo de contato ( $\theta$ ) maior que  $90^\circ$  a superfície é dita como hidrofóbica, se menor que  $90^\circ$  é dita hidrofílica, se maior que  $150^\circ$  é superhidrofóbica e se abaixo de  $5^\circ$  é superhidrofílica.

A partir dessa perspectiva, espera-se que os filmes finos de sílica modificados ( $\text{SiO}_2$ ) possam proporcionar o efeito autolimpante durável aos painéis fotovoltaicos sem afetar significativamente a transmitância dos mesmos. Muitas estratégias têm sido desenvolvidas através da aplicação de filmes finos para modificar as propriedades de superfícies e interfaces, tais como as técnicas sol-gel e evaporação e-beam. Entre elas, a tecnologia sol-gel se destaca devido à operação simples e por apresentar custo e impacto ambiental relativamente baixos. Segundo Brinker & Scherer (1990) a formação da película fina pelo método sol-gel envolve a preparação de um sol, deposição do sol sobre uma superfície, formação de um estado gel e secagem do gel. Para obtenção de recobrimentos com propriedades autolimpantes é importante que os reagentes utilizados na síntese sol-gel tenham elevada pureza. O processo sol-gel permite a produção de materiais cerâmicos, vidro, vitrocerâmica e compósitos a baixa temperatura, com elevada pureza e homogeneidade. Este processo ocorre à baixa temperatura, possibilita o controle da morfologia e, sobretudo a porosidade do produto final. Devido a essas vantagens, ele tem sido bastante utilizado na área de recobrimento.

A grande contribuição desse trabalho está em desenvolver uma superfície super-hidrofóbica para a aplicação em painéis solares. Nesse sentido, estão sendo estudadas possibilidades de modificação das superfícies dos vidros via funcionalização por meio da deposição de filmes funcionais capazes de conferir à superfície a propriedade autolimpante, minimizar o efeito do acúmulo da sujeira e aumentar a refletância em painéis solares. Além desses efeitos este recobrimento deve apresentar características tais como durabilidade; transparência no intervalo de 300-1700 nm, que é a região do espectro importante para o funcionamento da célula fotovoltaica; baixo custo; facilidade de aplicação em longas superfícies, entre outras.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de filmes finos de sílica funcionalizada através da tecnologia sol-gel visando obter superfícies superhidrofóbicas e autolimpantes para aplicações em módulos fotovoltaicos.

## 3. METODOLOGIA

A obtenção dos filmes finos hidrofóbicos foi realizada em duas etapas. Primeiramente pela deposição de  $\text{SiO}_2$  sobre substratos de vidro a partir do método sol-gel via imersão por processo de *dip-coating* para obtenção de filmes hidrofílicos. Em seguida, foi realizada a funcionalização da superfície hidrofílica utilizando-se composto organossilano. Os substratos de vidro utilizados foram previamente limpos com água e detergente para remoção da gordura e embebidos em etanol sob ultrassom por 15 minutos. Para obtenção dos filmes de sílica, uma solução utilizando tetraetilortosilicato (TEOS) foi preparada de acordo com a rota estabelecida por Lopes de Jesus (2015). Nessa solução, foi utilizado TEOS como precursor, isopropanol como solvente e ácido clorídrico como catalisador. As amostras foram recobertas por *Dip-coating* utilizando-se um equipamento da Marconi (MA 765), como ilustrado na Fig. 4. Os substratos de vidro foram imersos na solução de TEOS a uma velocidade constante de 3,7 mm/s. Após esta etapa, os filmes foram secos em estufa a  $100^\circ\text{C}$ . Após a deposição dos filmes foi feito o tratamento térmico das amostras a  $500^\circ\text{C}$  por 2 horas.

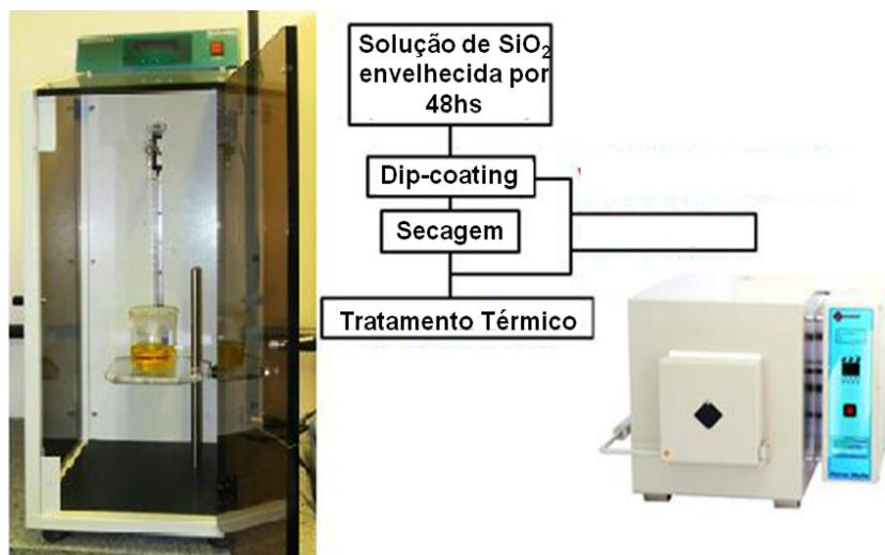


Figura 4 – Fluxograma do processo de recobrimento dos filmes de SiO<sub>2</sub>. FONTE: NETO, 2012.

O procedimento de funcionalização foi realizado a partir da imersão dos substratos recobertos por filmes de sílica em solução alcoólica de organossilano, onde as amostras foram imersas por 30 min. Após a funcionalização as amostras foram colocadas em ultrassom por 5min em acetona e em água destilada, sequencialmente para retirada do excesso de reagente modificador e maior durabilidade das mesmas.

Os filmes foram caracterizados quanto às propriedades ópticas através das medidas da transmitância no espectrofotômetro de luz UV/VIS VARIAN CARY 50 na região ultravioleta/visível (200-1000nm). As medidas do ângulo de contato foram obtidas a partir de um medidor de ângulo de contato da marca KRUSS DS 100. O volume da gota utilizado foi de 2 a 5µL. A medida foi realizada após a estabilização do valor de ângulo de contato da gota sobre a superfície para avaliação do caráter hidrofílico e hidrofóbico.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 5 mostra a comparação entre as superfícies antes e após a funcionalização, sendo a Fig. 5a o substrato de vidro sem revestimento, a Fig. 5b após a deposição de sílica, tornando a superfície do vidro superhidrofílica e a Fig. 5c após a funcionalização da superfície de sílica com tensoativo como agente de acoplamento, tornando-a hidrofóbica.

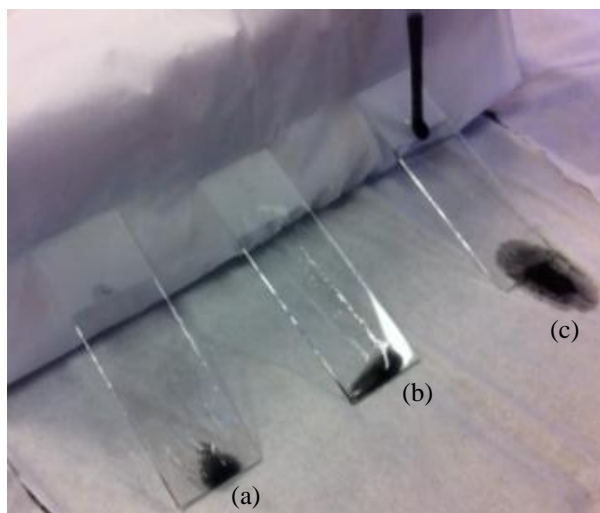


Figura 5 – (a) Vidro sem recobrimento. (b) Vidro com 1 camada de sílica. (c) Vidro com 1 camada de sílica funcionalizado com organossilano.

Após simular a deposição de sujeira com partículas de carvão ativado, observa-se nitidamente o caráter autolimpante da superfície hidrofóbica, pois toda a sujeira inserida na superfície não se acumula sobre o vidro, escorrendo totalmente, deixando-o sempre limpo.

#### 4.1 Filmes superhidrofílicos de SiO<sub>2</sub>

A solução se apresentou bastante homogênea e estável, confirmando a estabilidade e a reprodutibilidade dessa rota. Após o recobrimento via sol-gel, as amostras se mostraram superhidrofílicas. As amostras de SiO<sub>2</sub> produzidas a partir da solução de TEOS, após 48 horas de envelhecimento em temperatura ambiente, se mostraram livres de trincas, e transparentes. Medidas de ângulo de contato (AC) das amostras foram realizadas após recobrimento de SiO<sub>2</sub>, como pode ser observado na Fig. 6.

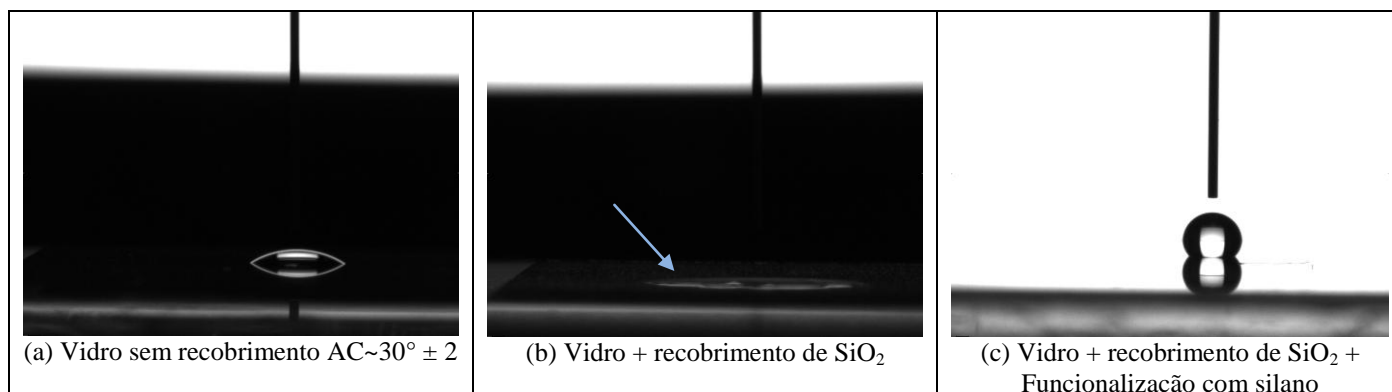


Figura 6 – Medidas de ângulo de contato das amostras de vidro antes (a) e após recobrimento com filme fino de SiO<sub>2</sub> (b) e após funcionalização com organossilano (c).

As amostras com 1 camada de sílica apresentaram medidas de ângulos de contato abaixo de 5° (Fig. 6b), o que caracteriza superhidrofilicidade, como mencionado por Yao e He, (2014), e sugere a disponibilidade das hidroxilas (OH) que servirão de pontos de ancoramento ao processo posterior de funcionalização. O vidro utilizado como substrato sem recobrimento (Fig. 6a) apresentou ângulo de contato de 30°. O revestimento do substrato de vidro com os filmes finos de SiO<sub>2</sub> mudou claramente a hidrofilicidade do mesmo.

Após a funcionalização dos filmes de sílica através da imersão das amostras em solução contendo a solução alcoólica do organossilano, as amostras se mostraram livres de trincas e transparentes. Além disso, o comportamento hidrofóbico desejado foi obtido, conforme pode observado através da Fig. 6c. Após a funcionalização das amostras, foram encontrados ângulos de 134°. Segundo Ajami et al. (2011), Wang e Lieberman (2003) e Li et al. (2012), a introdução de organossilanos na superfície do vidro proporciona valores de ângulos de contato de 108° a 120°. De fato esses valores foram encontrados no presente trabalho, porém após a lavagem com água e acetona em ultrassom, o valor do ângulo de contato se elevou ainda mais.

#### 4.2 Transmitância e Refletância

De acordo com Nascimento (2007) os filmes de SiO<sub>2</sub> podem conferir propriedade anti-refletores ao vidro, aumentando a sua transmitância na região do visível. Essa propriedade foi avaliada para as amostras de vidro com recobrimento de filmes finos de SiO<sub>2</sub> obtidas. A Fig. 7 mostra o espectro de transmitância das amostras na região de 200 a 1000nm. Observou-se que a amostra com 1 recobrimento de SiO<sub>2</sub> apresentou um ganho em torno de 2% de transmitância ao longo do espectro e, após a funcionalização, os filmes de sílica não apresentaram perda de transmitância. Alguns autores também reportaram ganhos de transmitância expressivos com a aplicação de uma camada de SiO<sub>2</sub>. Fujishima et al. (2008) obtiveram um ganho de 4,4% na transmitância do vidro com a aplicação de uma camada de nanopartículas de SiO<sub>2</sub> de 123nm. Çamurlu et al. (2009) obtiveram um ganho de 6% na transmitância do vidro com a aplicação de uma camada de SiO<sub>2</sub> de 89nm.

Os filmes de SiO<sub>2</sub> tratados antes e após funcionalização com o organossilano apresentaram transmitância elevada (> 80%) na região do visível e infravermelho próximo (370-2100 nm), cuja propriedade é fundamental na aplicação na área de energia solar. O objetivo principal do presente trabalho é a autolimpeza e os resultados de transmitância revelam que a hidrofobicidade proporcionada pelo filme não comprometeu a transmitância do vidro e ainda a aumentou. Esse resultado é muito significativo, visto que recobrimentos semelhantes utilizando dióxido de titânio, por exemplo, que também são utilizados para autolimpeza, segundo Lopes (2015), comprometem a transmitância reduzindo-a em até 10%.

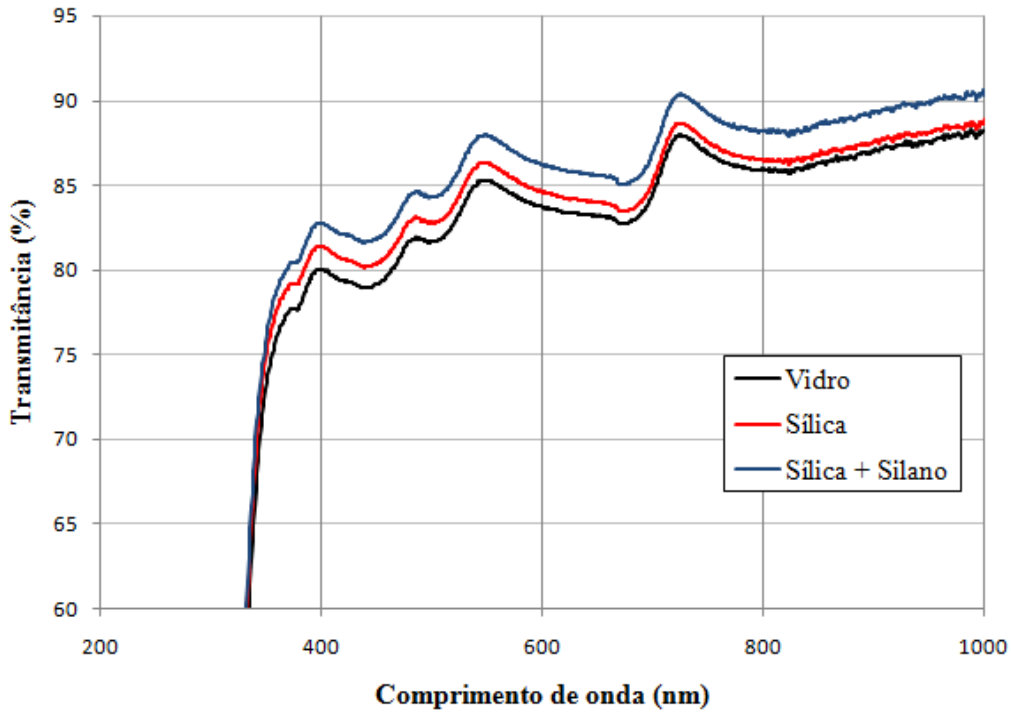


Figura 7 – Espectro de transmitância UV-Vis dos filmes de SiO<sub>2</sub>, antes e após funcionalização com tensoativo em função do comprimento de onda (nm).

O espectro de refletância total dos filmes de SiO<sub>2</sub> antes e após funcionalização pode ser visto na Fig. 8. Foi observado que deposição da camada de sílica proporciona o aumento da transmitância dos filmes e a diminuição da refletância. Isso ocorre porque o material depositado é menos denso que o substrato e essa densificação aumenta o índice de refração do material. Um maior índice de refração do material resulta em uma menor transmitância e torna o material mais reflexivo, como mencionado por Luo et al. (2011).

À medida que a quantidade de SiO<sub>2</sub> (índice de refração SiO<sub>2</sub> = 1,45) aumenta nos filmes, os filmes se tornam menos reflexivos, pois o índice de refração dos filmes também diminui (índice de refração do substrato de vidro = 1,5).

Esse efeito pode ser explicado a partir do desenvolvimento da Eq. (2).

$$A + R + T = 1 \quad (2)$$

Onde A é a absorvância, R reflectância e T transmitância.

Considerando que os filmes finos têm uma absorção desprezível a Eq. (2) se torna a Eq. (3), isolando-se T:

$$T = 1 - R \quad (3)$$

A partir do desenvolvimento de algumas equações (FANDERLIK, 1983), a reflectância R do material pode ser definida pela Eq. (3):

$$R = \left( \frac{n_1^2 - n_0 \cdot n_2}{n_1^2 + n_0 \cdot n_2} \right)^2 \quad (4)$$

Onde  $n_1$  = índice de refração do filme,  $n_0$  = índice de refração do ar e  $n_2$  = índice de refração do vidro.

Substituindo a Eq. (4) na Eq. (3) se obtém a Eq. (5), conhecida como equação de Fresnel (FANDERLIK, 1983).

$$T = 1 - \left( \frac{n_1^2 - n_0 \cdot n_2}{n_1^2 + n_0 \cdot n_2} \right)^2 \quad (5)$$

A partir da Eq. (4), observou-se que o índice de refração do filme está relacionado de forma diretamente proporcional à sua refletância. Assim, filmes com maior quantidade de sílica apresentam menor índice de refração e, consequentemente, menor refletância (de acordo com a Eq. (4)) e maior transmitância (de acordo com a Eq. (5)).

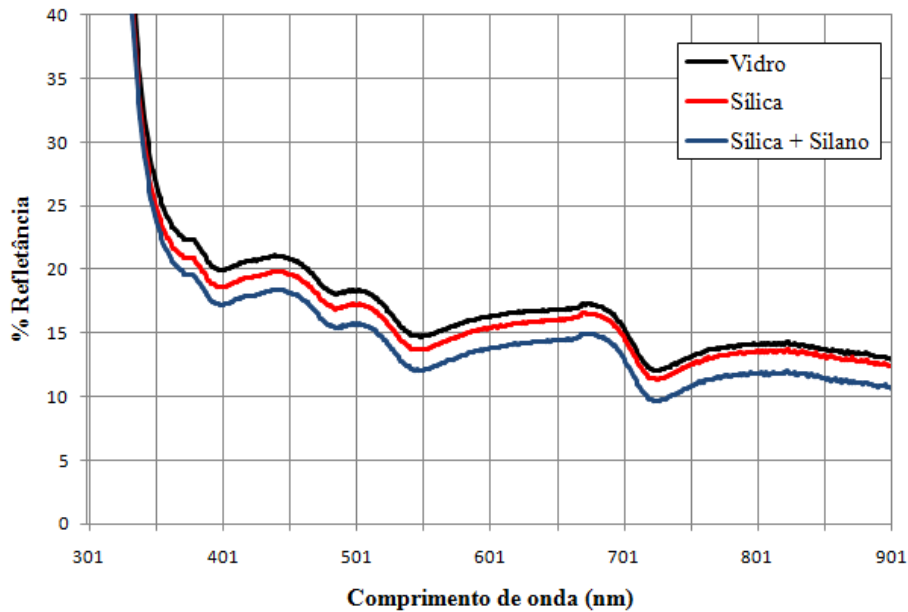


Figura 8 – Curva da variação de reflectância em função do comprimento de onda (nm).

## 5. CONCLUSÃO

O recobrimento de sílica funcionalizado de caráter superhidrofóbico, capaz de tornar a superfície do vidro autolimpante para utilização principal em painéis fotovoltaicos foi obtido com sucesso. O processo de modificação da superfície do vidro tornando-o autolimpante é relativamente simples e promove a redução de sujeira acumulada em período de pouca chuva, pois esta superfície se limpa apenas com poucas gotículas de água. Os filmes desenvolvidos poderão reduzir os custos de manutenção de limpeza de sistemas fotovoltaicos instalados devido à prevenção ou minimização do acúmulo de neve, sujidades e poluentes presentes no ar.

O recobrimento autolimpante apresenta grande potencial de aplicações em diversos setores como automotivo (vidros, carrocerias de automóveis, coberturas de lâmpadas e espelhos); construção (vidros, fachadas, portas e perfis de janelas, telhados de plástico e pérgulas); domésticos (acessórios de cozinha e torneiras); aplicações marítimas (proteção anti-corrosão); aeroespacial (antiaderente e superfícies gelofóbicas); aplicações ópticas (câmeras, lentes, telescópios, sensores ópticos, painéis solares). Este trabalho continua com os testes *soiling*, ou seja, avaliação de desempenho das superfícies autolimpante com amostras expostas às intempéries numa região urbana, no caso, Belo Horizonte, no Campus II do CEFET-MG, ao lado de uma avenida de grande tráfego com emissões consideráveis de poluentes. Além disso, os autores deste projeto continuam avaliando as propriedades mecânicas deste recobrimento a fim de avaliar sua resistência ao risco e sua aderência à superfície.

### Agradecimentos

À CAPES e ao CEFET/MG pelo apoio financeiro e ao INCT-Acqua pela infraestrutura concedida.

## REFERÊNCIAS

- Ajam, E., Francois, K., Aguey, Z., 2011. Formation of OTS self-assembled monolayers at chemically treated titanium surfaces, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, vol. 22, pp. 1813-1824.
- Alnaser, N. W., Dakhel A. A., Al Othman, M. J., Batarseh, I., Lee, J.K., Najmail, S., Alnaser, W. E., 2015. Dust Accumulation Study on the Bapco 0.5 MW PV Project at University of Bahrain., *International Journal of Power and Renewable Energy Systems*, vol. 2, pp. 38-54.
- Brinker, C., Scherer, G., 1990. *The Physics and Chemistry of Sol-Gel Processing*. Academic Press.
- Çamurlu, H. E., Kesmez, O., Burunkaya, E.; Arpaç, E., 2009. Sol-gel preparation and characterization of anti-reflective and self-cleaning SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> double-layer nanometric films, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 93, pp. 1833-1839.
- Fanderlik, I., 1983. *Optical properties of glass*. *Glass Science and Technology*, vol.5.
- Ferreira, A. M., Silva, G. C., Duarte, H. A., 2014. *Materiais Funcionais para a Proteção Ambiental*. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, vol. 8, pp. 30-38.
- Fujishima, A., Liu, Z., Zhang, X., Murakami, T., 2008. Sol-gel SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> bilayer films with self-cleaning and antireflection properties, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 92, pp. 1434-1438.

- Li, Z., Yoon, R., 2012. Thermodynamics of hydrophobic interaction between silica surfaces coated with silanes, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 392, pp. 369-375.
- Lopes de Jesus, M. A. M., 2015. Desenvolvimento de superfícies autolimpantes superhidrofílicas e fotocatalíticas obtidas pela deposição de filmes finos de TiO<sub>2</sub> e TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> pelo método sol-gel, Dissertação de Mestrado, DEMAT, CEFET/MG, Belo Horizonte.
- Lopes de Jesus, M. A. M., Ferreira, A. M., Neto, J. T. S., Timò, G. Paiva, P. R. P., Dantas, M., 2015. Superhydrophilic self-cleaning surfaces based on TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> composite films for photovoltaic module cover glass, *Applied Adhesion Science*, vol. 3, pp.3-5.
- Luo, C., Chuang, L., Yang, S., 2011. The structure and mechanical properties of thick rutile-TiO<sub>2</sub> films using different coatings treatments, *Applied Surface Science*, vol. 258, p. 297-303.
- Nascimento, G. L. T., 2007. Caracterização de ORMOSILs na forma de monólitos e filmes finos preparados pelo processo sol-gel para aplicações ópticas, Tese de Doutorado, Química, UFMG, Belo Horizonte.
- Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., Kazmerski, L., 2013. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 698–733.
- Sayyah, A., Horenstein, M., Mazumder, M., 2014. Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy*, vol. 107, pp. 576–604.
- SILVA NETO, J. T., 2013. Propriedades ópticas e estruturais de filmes finos de TiO<sub>2</sub> produzidos pelo processo sol-gel. Dissertação de Mestrado DEMAT, CEFET/MG, Belo Horizonte.
- Vivar, M., Herrero, R., Moretón, R., Moreno, F. M., Sala, G., 2008. Effect of soiling on PV concentrators: Comparison with flat modules, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Wang, Y., Lieberman, M., 2003. Growth of Ultrasoother Self-Assembled Monolayers on SiO<sub>2</sub>, *Langmuir*, vol. 19, pp. 1159-1167.
- Yao & He, 2014. Recent progress in antireflection and self-cleaning technology – From surface engineering to functional surfaces, *Progress in Materials Science*, vol. 61, pp. 94–143.
- Zhang, et al., 2014. Multifunctional antireflection coatings based on novel hollow silica – silica nanocomposites. *Applied Materials and Interfaces*, vol. 3, pp. 1415-1423.

#### DEVELOPMENT OF SUPERHYDROPHOBIC SURFACES WITH SELF-CLEANING EFFECT FOR PHOTOVOLTAIC MODULES APPLICATIONS

**Abstract.** *The utilization of solar energy reaching the earth's surface, both as a source of heat and light, is now one of the most promising energy alternatives. The photovoltaic modules are exposed to the action of pollution, dusting and other natural factors that reduces the sunlight onto the cells, impairing their performance. The development of hydrophobic self-cleaning glazed surfaces is of great interest because of their various technological applications such as glasses for photovoltaic modules, cell phone, windshields of mobiles. In this study, a super-hydrophobic surface was developed by sol-gel technology. A stable sol was obtained using tetraethylorthosilicate (TEOS) as precursor and the depositions were performed by dip-coating process on a slide microscope glass as substrate. The super-hydrophobic effect was obtained by deposition of SiO<sub>2</sub> thin film and subsequent funcionalization using a surfactant as a coupling agent. The deposited coating was characterized in relation to contact angle and optical transmittance by UV-Vis spectrophotometry. The contact angle measurements of thin film before and after funcionalization was lower than 5° and 134° respectively, confirming the initial hydrophilicity and the hydrophobicity after funcionalization. The glass transmittance has been improved by the coating. In this work a transparent and super-hydrophobic thin film, free of cracks, has been obtained by a simple route with good self-cleaning property.*

**Key words:** *Self-Cleaning Thin Film, Funcionalization, Silicon oxide*