

ESTUDO SISTEMÁTICO DA CAMADA DE BLOQUEIO NA EFICIÊNCIA DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES (DSSCs): ANÁLISE DE PARÂMETROS ESTRUTURAIS, ÓPTICOS E ELETRÔNICOS

GABRIEL MARTINS DOS SANTOS¹; CRISTIANE WIENKE RAUBACH²; MATEUS MENEGHETTI FERRER³; PEDRO LOVATO GOMES JARDIM⁴; SÉRGIO DA SILVA CAVA⁵; MARIO LUCIO MOREIRA⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – gabrielmartinsantos1@gmail.com

²Universidade federal de Pelotas – cricawr@gmail.com

³Universidade federal de Pelotas – mmferrer@ufpel.edu.br

⁴Universidade federal de Pelotas – pedro.lovato@ufpel.edu.br

⁵Universidade federal de Pelotas – sergio.cava@ufpel.edu.br

⁶Universidade federal de Pelotas – mlucio3001@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por energia, associada à urgência de reduzir os impactos ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis, tem motivado muitas pesquisas em fontes alternativas e renováveis de energia. Nesse contexto, a energia solar se apresenta como uma alternativa promissora, especialmente em países como o Brasil, com alta disponibilidade de radiação solar, que varia entre 4,5 e 6,3 kWh/m² (EPE, 2025), (FERREIRA, 2018), (FIGUEIREDO, 2014).

Entre as tecnologias emergentes, as células solares sensibilizadas por corante (DSSCs) se destacam como dispositivos fotovoltaicos de terceira geração, de baixo custo, flexibilidade estrutural e potencial aplicação em dispositivos transparentes. Contudo, uma das principais limitações dessas células está relacionada à recombinação eletrônica entre os elétrons do eletrodo condutor e os íons do eletrólito, fenômeno que reduz sua eficiência global.

Para mitigar esse problema, é empregada a camada de bloqueio, posicionada entre o substrato condutor (FTO - *Fluorine-doped Tin Oxide*) e a camada semicondutora de TiO₂. Essa barreira atua prevenindo a recombinação indesejada, favorecendo o transporte eficiente de cargas. A qualidade dessa camada — determinada por sua espessura e morfologia — exerce impacto direto sobre o desempenho fotovoltaico das DSSCs.

O presente trabalho, ainda em fase inicial do doutorado, propõe a investigação sistemática de diferentes técnicas de deposição de camadas de bloqueio, com vistas a compreender sua influência nos parâmetros estruturais, ópticos e eletrônicos das células solares produzidas, bem como avaliar sua espessura e estrutura para determinar a melhor condição de deposição e sua correlação com os parâmetros fotovoltaicos.

2. METODOLOGIA

Este projeto será realizado em três etapas: (i) preparação das camadas de bloqueio por diferentes métodos de deposição; (ii) fabricação das células solares sensibilizadas por corante (DSSCs) usando filme semicondutor de TiO₂ sobre o FTO; (iii) caracterização estrutural, morfológica, elétrica e fotovoltaica das amostras, além de uma análise detalhada da contribuição de cada parâmetro sobre a resposta fotovoltaica. A seguir, serão descritos os procedimentos

experimentais de forma sucinta, os quais podem e devem ser adequados a cada etapa do estudo.

1. **Substratos condutores:**

Serão utilizados substratos de vidro revestidos com óxido condutor transparente FTO, com espessura e área padrão, previamente limpos por ultrassom em soluções sequenciais de detergente neutro, água destilada e álcool isopropílico, sendo colocado na estufa para secagem no fim do ciclo.

2. **Preparação das camadas de bloqueio por diferentes métodos de deposição:**

Serão investigadas duas abordagens distintas para a deposição da camada de bloqueio:

- **Deposição Física de Vapor (PVD):** Será utilizada a técnica de evaporação térmica resistiva, onde o material precursor (PTFE - Politetrafluoretileno) será aquecido até a evaporação e posterior deposição sobre os substratos (SHAHIDI et al. 2015). Parâmetros como tempo de deposição, distância entre o alvo e o substrato e taxa de deposição serão controlados para garantir a formação de filmes uniformes.
- **Spin Coating:** A deposição será realizada por *spin coating*, utilizando solução de TiO_2 . A solução será depositada sobre o substrato e espalhada por rotação em alta velocidade durante um tempo específico (TEIXEIRA, 2022). Após a deposição, as amostras serão tratadas termicamente para remoção do solvente e aderência da camada.

3. **Deposição da camada fotoativa:**

Sobre as amostras contendo a camada de bloqueio será depositada a camada fotoativa de dióxido de titânio (TiO_2), utilizando-se pó comercial disperso em solução líquida. A deposição será feita por eletroforese, uma técnica que permite controlar a espessura e a uniformidade do filme por meio da aplicação de um campo elétrico. Ainda podem vir a ser objeto de estudos outros compostos para a camada fotoativa, a depender do andamento do trabalho.

4. **Montagem das células DSSC:**

A sensibilização da camada de TiO_2 será realizada por imersão das amostras em solução de corante (rutênio). O eletrólito redox (baseado em iodeto/triiodeto) será inserido entre os eletrodos. Entre o eletrodo e o eletrólito será incluída a camada de bloqueio, evitando que os elétrons fluam do eletrodo de volta para o eletrólito. O contraeletrodo de platina será posicionado sobre a célula, formando o dispositivo.

5. **Caracterização das amostras:**

- **Estrutural:** Microscopia eletrônica de varredura (MEV), para informações de forma, tamanho, homogeneidade, possíveis fissuras e porosidade da superfície da amostra. Difração de Raios-X (DRX), para determinação da estrutura cristalina, para isso a difração será de ângulo rasante devido a espessura dos filmes. Interferometria de luz branca com varredura (WLI), para análise da textura, rugosidade e espessura da superfície do substrato. Espectroscopia Raman, com objetivo de realizar uma análise complementar a difração de raios-x. Espera-se ainda a possível utilização de microscopia de força atômica de modo a corroborar os dados de WLI e analisar a superfície referente a sua estrutura.
- **Óptica:** Elipsometria, para determinação de parâmetros dielétricos. Espectroscopia UV-Vis, para análise da interação da luz com o substrato, análise do índice de refração e a análise de como o coeficiente de absorção se comporta com diferentes comprimentos de onda.
- **Elétrica:** Medidas de ($I \times V$) com auxílio de potenciostato. Medidas da eficiência da célula, por meio de uma comparação entre dados obtidos e os valores disponíveis na literatura.

Até o momento, os esforços estão concentrados na revisão bibliográfica, escolha metodológica e preparação para os primeiros testes experimentais de deposição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como o projeto encontra-se em fase inicial, ainda não há resultados experimentais consolidados. Entretanto, nesta etapa inicial do projeto foi realizada uma revisão da literatura tanto para a elaboração do projeto enviado à coordenação do programa de pós-graduação em física quanto para a elaboração deste resumo.

Contudo, espera-se que a comparação sistemática entre os métodos de deposição na fabricação da camada de bloqueio permita melhorar a eficiência de conversão energética das DSSCs.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho de doutorado, em fase inicial de desenvolvimento, visa compreender a influência da camada de bloqueio fabricada por diferentes métodos de deposição sobre a eficiência das células solares sensibilizadas por corante. Embora os resultados experimentais ainda estejam por vir, a fundamentação teórica e metodológica construída até o momento oferece um caminho promissor para:

- Otimizar técnicas de deposição de filmes finos aplicados como camadas de bloqueio.
- Compreender como variáveis estruturais e ópticas das camadas de bloqueio impactam na eficiência das DSSCs.

A expectativa é que, ao longo do doutorado, os resultados obtidos possam consolidar um modelo comparativo bem elaborado entre diferentes técnicas de deposição.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Acessado em: 20 ago. 2025. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>.

FERREIRA, A. et al. Economic Overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 181 191, 2018.

FIGUEIREDO, F. S. **Geração e transmissão de energia elétrica: um olhar pela sustentabilidade**. Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2014. 22 p.

SHAHIDI, Sheila; MOAZZENCHI, Bahareh; GHORANNEVISS, Mahmood. A review-application of physical vapor deposition (PVD) and related methods in the textile industry. **The European Physical Journal Applied Physics**, v. 71, n. 3, p. 31302, 2015.

TEIXEIRA, Edwalder Silva. **Fotoeletrodo híbrido formado por TiO₂/lignina depositados por spin coating com aplicação em células solares sensibilizadas por corante (CSSC)**. 2022.