

## DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS DE DEPOSIÇÃO PARA DIFERENTES NANOPARTICULAS DE OXÍDO DE NIQUEL UTILIZADAS COMO HTL DE CÉLULAS DE PEROVSKITA

Maria L. P. Vilela<sup>1\*</sup>, Adriano S. Marques<sup>1</sup>, David C. Pereira<sup>1</sup>, Yasmin D. R. Tadim<sup>1</sup>, Jair F. Rodrigues<sup>1</sup>, Gabriela A. Soares<sup>1</sup>, Diego Bagnis<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Oninn Centro de Inovações, Belo Horizonte, MG, Brasil, 31035-536.

\*e-mail: mluiavilela@oninn.com

As perovskitas (PVSK) de haleto organometálico são uma promissora tecnologia para a próxima geração de energia fotovoltaica por apresentar características físicas e químicas singulares, que permite a produção de células solares por técnicas de impressão de alto rendimento com baixos custos. Com eficiências recordes certificadas de 26,1% para células de laboratório<sup>1</sup>, a PVSK apresenta crescentes esforços de pesquisa sobre a composição de materiais, arquitetura de dispositivos e métodos de fabricação. Atualmente a ONINN trabalha no desenvolvimento de PVSK de estrutura invertida (P-I-N) por apresentar vantagens em relação a estrutura regular (N-I-P), como a possibilidade de utilizar materiais de transporte de lacunas (HTL) sem dopantes e fabricação em baixas temperaturas<sup>2</sup>. O óxido de níquel (NiOx) é um HTL inorgânico promissor por apresentar baixo custo, alto band gap (3.5–3.9 eV), resistência química, térmica e à luz. Ele é utilizado em conjunto com as monocamadas automontadas (SAMs) de modo corrigir defeitos inerentes ao NiOx como baixa condutividade, que prejudica a transferência de buracos, e consequentemente o fator de preenchimento e corrente de curto-circuito<sup>3</sup>. Mesmo se tratando de um material promissor, no mercado existe sempre a possibilidade de um produto ser descontinuado, por isso ao decorrer das pesquisas existe sempre a necessidade de validar mais de um fornecedor para um mesmo material, além de sempre avaliar melhorias de performance e redução de custo. A validação de um novo fornecedor de NiOx da América Latina, exigiu a modificação de parâmetros de processo para alcançar resultados similares ao padrão, devido a modificação de características como solventes, concentração e/ou tamanho de nanopartículas. A validação foi feita inicialmente utilizando a técnica de deposição por *blade coating*, gerando células com 0,55 cm<sup>2</sup> de área ativa. Após a definição de uma janela de processos, promoveu-se o escalonamento da fabricação por processos rolo a rolo, aumentando-se a área ativa de forma gradativa (8,94 e 26,82 cm<sup>2</sup>). Os dispositivos solares foram avaliados em performance elétrica, utilizando um simulador solar AAA AM 1.5G com intensidade luminosa de 1000 W/m<sup>2</sup>. Durante os testes iniciais, foram observadas dificuldades de formação de menisco devido à natureza aquosa da solução. Foram adotadas modificações no processo para minimizar estes problemas e permitir a transferência para o processo rolo a rolo. Com o processo todo otimizado, foi observado que os resultados se mantiveram consistentes em dispositivos de pequenas e grandes áreas, indicando uniformidade e reprodutibilidade na deposição do filme de NiOx. A nova nanopartícula, em solvente aquoso, quando devidamente diluída e processada em maiores temperaturas atingiu 13,58 % de eficiência, resultados superiores aos observados com a solução padrão 12,88% de eficiência que utiliza álcool como solvente.

[1] Best Research-Cell Efficiency Chart. National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 15 de julho 2025. Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency> Acesso em: 21 de agosto 2025.

[2] CAO, Li; TONG, Yu; KE, Yewen; ZHANG, Wen; LI, Tianxiang; KANG, Ziyong; WANG, Hongqiang; WANG, Kun. Modification of Nickel Oxide via Self-Assembled Monolayer for Enhanced Performance of Air-Processed FAPbI<sub>3</sub> Perovskite Solar Cells. ACS Applied Energy Materials, Washington, v. 7, p. 1508-1516, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsaem.3c03076>.

[3] JIANG, Ting; YANG, Yajie; HAO, Xia; FAN, Jingya; WU, Lili; WANG, Wenwu; ZENG, Guanggen; HALIM, Mohammad Abdul; ZHANG, Jingquan. Self-Assembled Monolayer Hole Transport Layers for High-Performance and Stable Inverted Perovskite Solar Cells. Energy & Fuels, Washington, v. 38, n. 21, p. 21371-21381, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.4c03889>.