

PRODUTO E PROCESSO NA OBTENÇÃO DE CATALISADOR COM VISTAS À SÍNTESE DE HIDROGÊNIO VERDE

MARIANA GONÇALVES BENEVENTANA¹; JULIO PINTO OLIVEIRA²; ISADORA ATRIB GARCIA³; ALINE JOANA ROLINA WOHLMUTH ALVES DOS SANTOS⁴

¹Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Curso de Bacharelado em Química Forense – marianagbgt@gmail.com

²UFPel, Curso de Bacharelado em Química Forense – oliveira.p.julio@gmail.com

³UFPel, Programa de Pós-Graduação em Química - PPGQ – isadoraatrib@hotmail.com

⁴UFPel, Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos - CCQFA – alinejoana@gmail.com

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Este texto refere-se a um produto e processo desenvolvido na obtenção de um catalisador formado por nanopartículas de óxido de cobre(I) (Cu_2O), sendo que a inovação ou diferencial do trabalho está na utilização de um agente estabilizante, que nesse caso é a gelatina. O Cu_2O é extremamente instável em meio aquoso e facilmente oxidado a Cu(II) (GVOZDENKO, SIDDIQUI, BLINOV *et al.*, 2022), por isso o agente estabilizante faz-se necessário, sendo o estado de oxidação (I) do cobre importante para a atividade catalítica em síntese orgânica.

As nanopartículas de Cu_2O obtidas apresentaram coloração alaranjada, como esperado para o óxido em questão. Este material é semicondutor do tipo p, amplamente estudado devido às suas propriedades eletrônicas, ópticas e catalíticas (BECERRA-PANIAGUA *et al.*, 2023). Sua estrutura cristalina, seu baixo custo de obtenção e baixa toxicidade tornam o óxido de cobre(I) um material promissor em processos relacionados à catálise e à produção sustentável de energia, como a geração de hidrogênio (H_2) verde. Dessa forma, o Cu_2O tem sido obtido com vistas à aplicação na síntese de H_2 com características sustentáveis. O H_2 revela-se como a alternativa viável de fonte de energia em grande escala. Sabe-se que o H_2 só é considerado verde quando é produzido a partir da eletrólise da água, de modo que a emissão de carbono seja próxima de zero. Do ponto de vista econômico, o hidrogênio verde tem um potencial de geração energética três vezes maior que a gasolina, podendo ser utilizado na indústria, na geração de energia e no transporte. (DONATO, 2025)

2. ANÁLISE DE MERCADO

O público-alvo baseia-se em diferentes setores que também podem se beneficiar com o uso de cobre(I), abrangendo tanto indústrias quanto setores em que a demanda é a geração de energia sustentável. De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), as empresas geradoras de energia e gás natural estão investindo na produção e distribuição de H_2 como vetor energético limpo. Exemplos incluem grandes empresas como Shell e Eletrobras que já vem financiando projetos de H_2 verde (IEA, 2021). As indústrias químicas também se caracterizam como público alvo, uma vez que, o H_2 é matéria-prima essencial na produção de amônia, metanol e outros compostos químicos. Logo, grandes grupos estão buscando substituir o hidrogênio cinza pelo hidrogênio verde, para reduzir a pegada de carbono e conseguir atender as regulamentações ambientais (HYDROGEN COUNCIL, 2023). Além disso, setores cosméticos também podem fazer uso do óxido obtido, visando suas propriedades antimicrobianas

(BEHZADINASAB *et al.*, 2022). Como a baixa estabilidade de Cu_2O em meios ácidos e básicos é uma limitação ao seu uso, a adição do agente estabilizante em questão (gelatina) foi proposta para agregar inovação, sem alteração das propriedades do óxido metálico. A gelatina é um reagente amplamente utilizado em aplicações alimentícias (SANTOS, 2022), portanto atóxica.

Empresas internacionais consolidadas no mercado como Sigma-Aldrich (Merck), já sintetizam e comercializam o Cu_2O no valor de R\$ 60,00 cada grama (SIGMA- ALDRICH, 2025), mas nada é mencionado sobre ser em escala manométrica (FISPQ, 2025). No entanto, deve-se ressaltar que a obtenção deste nanopartículas deste óxido é um processo simples e de baixo custo, sendo obtido pelo nosso grupo no Laboratório de Sólidos Inorgânicos, com rendimento de 26% para Cu_2O sem gelatina e 39,98% para Cu_2O como gelatina como aditivo estabilizante. Desta forma, o diferencial deste trabalho encontra-se na adição do agente estabilizante, que é inócuo ao meio ambiente e à saúde, garantindo os quesitos de sustentabilidade associados à síntese, uso de H_2 e manejo dos resíduos e subprodutos de reação. Em complementação, nosso diferencial está na proposição de produtos e processos que acompanham quesitos de sustentabilidade com fins a aplicações, também sustentáveis, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ONU, 2025).

Além de aplicações catalíticas em síntese orgânica, nanomateriais com Cu_2O , evidenciam interesse em setores de revestimento, energia solar e aplicações biomédicas. Espera-se que até 2030, o mercado global de nanomateriais movimente 38 bilhões de dólares, com aumento crescente a cada ano (MARKET ANALYSIS REPOR, 2024). Até o momento, as análises de mercado total endereçável (TAM), de mercado endereçável acessível (SAM) e de mercado acessível (SOM) ainda não foram realizadas.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Não há intenção em patentear o produto e processos desenvolvidos, já que a literatura traz ampla descrição neste tema. A metodologia de obtenção de Cu_2O foi adaptada de CUATTO *et al.* (2023). Já a idealização da inclusão de gelatina, como agente estabilizante, foi adaptada de GVOZDENKO, SIDDIQUI, BLINOV (2022). Ainda não temos um modelo de negócio definido, visando comércio com empresas que produzem hidrogênio verde, sendo que estas mesmas poderiam se tornar parceiras nas ações deste projeto de síntese do catalisador, o que poderia ocorrer mediante acordos favoráveis a ambos os lados.

O Nível de Prontidão Tecnológica (TRL - Technology Readiness Level) para a aplicação do catalisador na síntese de H_2 verde é 2, pois ainda não houve a provação. Já para os processos de obtenção do catalisador, o TRL é 6, indicando processo bem-sucedido e replicável dentro da instituição de pesquisa. As etapas de desenvolvimento/processos da obtenção do catalisador seguem os seguintes passos: **1. Pesquisa por referencial teórico precedente:** busca por artigos para a síntese (TRL 1 e 2). **2. Processo inicial de síntese:** seguindo referencial teórico e implementando a inovação referente à adição do agente estabilizante, o produto Cu_2O foi obtido com sucesso e rendimento de 26,6%, calculado a partir do cobre, partindo-se de sulfato de cobre(II) hexahidratado. (TRL 3). **3. Avaliação da reprodutibilidade dos processos:** a síntese foi realizada 5 vezes, com resultados de rendimento semelhantes entre si. (TRL 4 e 5). **4. Obtenção do catalisador:** Nanopartículas de óxido de cobre(I) foram obtidas, com coloração laranja característica e aspectos compatíveis com a literatura. Esse produto foi

caracterizado por análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia de dispersão eletrônica (EDS) e espectroscopia na região do infravermelho (IV). (TRL 6). TRL 7 a 9 não foram realizados, bem como nenhum teste de mercado.

A utilização da gelatina conseguiu estabilizar o Cu_2O em meio neutro e aquoso. O principal desafio está sendo estabilizar o cobre no estado de oxidação (I) em meios fortemente ácidos e básicos, mesmo com a adição do agente estabilizador. Para mitigar este problema associado ao produto estamos estudando a possibilidade de alterar os processos, incluindo outros agentes estabilizantes. Nenhuma avaliação em relação aos riscos associados ao lançamento da inovação foi realizada.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

A literatura relata que o Cu_2O tem uma excelente capacidade catalítica na aplicação de decomposição de água para geração de H_2 verde (BECERRA-PANIAGUA *et al.*, 2023). Este é um ponto positivo em comparação com o hidrogênio cinza, que é produzido a partir de gás natural. O hidrogênio verde é 100% limpo, com grande apelo sustentável, contribuindo para redução direta da emissão de gás CO_2 nos processos, logo é uma tecnologia extremamente importante e necessária para as indústrias que necessitam desse combustível (LARA; RICHTER, 2023), com benefícios sociais e ambientais.

Já uma análise dos benefícios financeiros precisa ser feita com cautela, apesar da síntese do catalisador em questão ser de baixo custo. Um estudo mostrou, que em 2020, o custo médio de produção de hidrogênio verde estava em torno de 4 a 6 dólares o quilo, e que em 2023 esse custo caiu para 2,50 dólares o quilo, com projeções de cair ainda mais por conta na queda do preço da energia solar (IEA, 2023). Além disso, neste trabalho ainda não foi considerada a possibilidade de aperfeiçoamento dos processos com o desenvolvimento de materiais híbridos com nanopartículas de Cu_2O (BECERRA-PANIAGUA *et al.*, 2023), e até mesmo integrar essas nanopartículas em filmes finos de quitosana (WANG *et al.*, 2021) ou outros polímeros orgânicos.

5. CONCLUSÕES

O produto e processos indicados nesta proposta, tem foco no emprego de gelatina como agente estabilizante de óxido de cobre(I) e pesquisas futuras do grupo apontam para a utilização de polímeros orgânicos também. A síntese e caracterização desse catalisador visa a produção de hidrogênio verde, com relação direta com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS).

Neste momento, a maior necessidade do grupo é colaboração e investimento para aperfeiçoamentos no catalisador, com vistas a melhorar sua estabilidade, bem como dar sequência na sua avaliação como catalisador na síntese de H_2 verde. Como ação para a chamada de investidores ou potenciais parceiros, sugerimos a participação em feiras/eventos com foco na promoção, não somente do produto, mas também, dos processos para este fim. Além disso, deve-se ressaltar que feiras/eventos têm grande potencial na promoção e divulgação da ciência produzida na Universidade a público diverso e investidores, o que dá visibilidade ao que é produzido na academia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BECERRA-PANIAGUA, Dulce K. *et al.* Facile and green synthesis of Cu/Cu₂O composite for photocatalytic H₂ generation. **Materials Science In Semiconductor Processing**, v. 162, p. 107485, ago. 2023.

BEHZADINASAB, Saeed *et al.* Antimicrobial activity of cuprous oxide-coated and cupric oxide-coated surfaces. **Journal Of Hospital Infection**, v. 129, p. 58-64, nov. 2022.

CUATTO, Giulia *et al.* Standardization of Cu₂O nanocubes synthesis: role of precipitation process parameters on physico-chemical and photo-electrocatalytic properties. **Chemical Engineering Research And Design**, v. 199, p. 384-398, nov. 2023.

DONATO, Vitório *et al.* Resiliência da cadeia de suprimentos do hidrogênio verde. **Revista Foco**, v. 16, n. 1, p. 01-16, 24 jan. 2023.

FISPQ - Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico. Sigma Aldrich. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/sds/sial/566284?userType=anonymous>. Acessado em 30 jun. 2025.

GVOZDENKO, A.; SIDDIQUI, S.; BLINOV, A.; Synthesis of CuO nanoparticles stabilized with gelatin for potential use in food packaging applications. **Scientific Reports**, v. 12, 12843, 2022.

<https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-022-16878-w>

HYDROGEN COUNCIL. **Hydrogen Insights 2023**. Brussels: Hydrogen Council, 2023. Disponível em: <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-2023/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

IEA - AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Global Hydrogen Review**, Paris: IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>. Acessado em: 17 jun. 2025.

IEA - AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities**. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em: 12 jun. 2025.

LARA, Daniela Mueller de; RICHTER, Marc François. Hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro. **Novos Cadernos NAEA**, v. 26, n. 1, abr. 2023.

MARKET ANALYSIS REPORT: 2024-2030. 5. ed. **Grand View Research**. Estados Unidos: 2024. 135 p. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/>. Acessado em: 17 jun. 2025

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **ODS 7: energia acessível e limpa**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7>. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS, Jheimisson Luiz *et al.* Desenvolvimento de barra de cereais com aproveitamento de resíduo de mosturação de cerveja desidratado e incorporação de proteína hidrolisada de soja e gelatina. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 2, p. 01-16, 18 jan. 2022.

SIGMA-ALDRICH. Óxido de Cobre(I). Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/search/cu2o?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=Cu2O&type=product>. Acessado em: 30 jun. 2025.

WANG, Lu *et al.* Preparation of composite films composed of polyvinyl alcohol, shellac and carboxymethyl chitosan-CuO nanoparticles and their application in food preservation. **Journal of Polymer Research**, v. 30, n. 2, p. 15-21, 12 jan. 2023.