AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE USO DE H2 VERDE: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA CERÂMICA

Sergio Luiz Pinto Castiñeiras-Filho, Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio e Instituto de Energia da PUC-Rio, +55 (21) 995307210, [sergiocastfh@gmail.com](mailto:sergiocastfh@gmail.com)

Guilherme Fortunato, Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio e Instituto de Energia da PUC-Rio, [fortunato345@gmail.com](mailto:fortunato345@gmail.com)

Sidnei Cardoso, IAG PUC-Rio, [sidnei.cardoso@phd.iag.puc-rio.br](mailto:sidnei.cardoso@phd.iag.puc-rio.br)

Luis Fernando Mendonça Frutuoso, Instituto de Energia da PUC-Rio, [lmenodnca@puc-rio.br](mailto:lmenodnca@puc-rio.br)

Florian Pradelle, Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio e Instituto de Energia da PUC-Rio, [pradelle@puc-rio.br](mailto:pradelle@puc-rio.br)

Edmar Fagundes de Almeida, Instituto de Energia da PUC-Rio, [edmar@puc-rio.br](mailto:edmar@puc-rio.br)

Eloi Fernández y Fernández, Instituto de Energia da PUC-Rio, [eloi@puc-rio.br](mailto:eloi@puc-rio.br)

# Introdução

A indústria de cerâmica pode ser dividida em duas classes principais: cerâmica vermelha e cerâmica branca. A cerâmica vermelha geralmente associa-se a usos de larga escala e estruturais da construção civil (tijolos, telhas, etc.) e predomina-se o uso de lenha em sua matriz energética. A cerâmica branca constitui-se em geral de produtos mais nobres (pisos, azulejos, louças, ...) e de funções mais particulares, envolvendo uma intensidade energética superior, usualmente atendida pelo uso de gás natural, para etapas de conformação e secagem do material, por exemplo. Dentre os usos emergentes de H2, processos envolvendo calor sob elevadas temperaturas (acima de 400 ºC) podem se favorecer deste insumo como uma maneira de se descarbonizá-los, sendo uma alternativa potencialmente competitiva em relação à de eletrificação (IEA, 2023). O H2 verde, derivado da eletrólise da água, utilizando-se energia renovável (como solar e eólica), torna-se um insumo energético capaz de atender a essa classe de processos, em substituição ao gás natural fóssil. Assim, esse trabalho visa avaliar a substituição de gás natural por H2 verde no setor de cerâmica branca, em um processo de secagem da Delta Porcelanato. A análise técnica é conduzida assumindo-se um nível de substituição factível, conforme anunciado em projetos no exterior pela indústria de cerâmica, e introduzindo-se um eletrolisador capaz de atender à substituição para a escala do processo do estudo de caso. As variáveis em torno dessa substituição são avaliadas com o modelo H2V-IEPUC, permitindo realizar uma análise de sensibilidade e sondar um cenário determinístico atrativo para companhias do setor, segundo métricas técnicas, econômicas e ambientais.

# Método

A fábrica de cerâmica da empresa Delta contém diversos processos em que se utiliza gás natural para fins de atendimento a demandas térmicas, como fornos e secadores. Em especial, um ramal de gás atende a um conjunto de secadores, que totalizam um consumo anual de 6,9 milhões de m3 de gás natural. Segundo projetos internacionais do setor de cerâmica, que visam a incorporação de H2 de baixo carbono em suas operações em substituição ao gás (Iberdrola, 2021), adotou-se o dimensionamento de sistema de eletrólise capaz de substituir 15% do conteúdo energético (em termo de poder calorífico inferior) do gás por H2. Através da ferramenta H2V-IEPUC, foi feito um diagnóstico preliminar desta substituição, sendo conduzida a instalação de um eletrolisador de 2,5 MW. As seguintes variáveis técnicas foram consideradas: consumo específico de energia elétrica igual a 62,00 kWh/kg H2, o consumo específico de água do eletrolisador igual a 16,92 L/kg, coprodução de 8 kg de O2/kg H2, taxa de degradação de 1 %a.a. do *stack* do eletrolisador, dentre outras. Custos de CAPEX e OPEX baseados na literatura foram incorporados (Khan et al., 2021), assim como preços de energia elétrica e gás natural indicados como representativos dentro das operações da empresa contemplada no estudo de caso. Diante da proximidade da produção de H2 por eletrólise junto a um uso final, o O2 coproduzido da eletrólise foi considerado para fins de queima aprimorada (em inglês, *enhanced oxygen combustion*) (CSN, 2022; Wu et al., 2010). A economia adicional que esse coproduto promove sobre o consumo de gás natural traz benefícios para o projeto de substituição, visto que proporciona redução nas emissões de CO2 (receita potencial na forma de créditos de carbono) e no custo direto de uso do gás como insumo. Um fluxo de caixa descontado foi calculado, sendo avaliado indicadores de sua performance econômico-financeira tais como VPL, TIR, custo nivelado do H2, dentre outros. A decomposição do custo do H2 é apresentada, além do custo de competitividade do gás natural sendo utilizado atualmente. Uma análise de sensibilidade é realizada a fim de se sondar cenários de viabilidade, segundo o acesso a custos competitivos de energia elétrica, ao CAPEX do eletrolisador, e a competitividade de preço do gás natural.

# Resultados

As diversas variáveis econômicas que compõem o projeto de substituição devem ser trabalhadas para se otimizar os custos e receitas (ou custos evitados). Dentre os resultados, são apontadas as combinações que tornam viável a substituição parcial do gás natural por H2 verde, na escala apresentada. Como componentes principais do projeto que visa descarbonização, demonstram-se os impactos que são proporcionados pelos possíveis créditos de carbono e da oportunidade tecnológica de aproveitamento do O2 no projeto. Uma análise de sensibilidade é realizada a fim de se verificar a variação do VPL do projeto de substituição com relação ao CAPEX e ao custo do gás natural. A análise de sensibilidade com o CAPEX do eletrolisador fornece uma perspectiva sobre os efeitos de estímulos ou financiamentos que podem ser buscados junto a linhas de crédito dedicadas à sustentabilidade, de modo a contribuir à viabilidade da produção de H2 verde. Por fim, a análise de sensibilidade contemplando a variação do custo do gás natural visa verificar os preços com os quais o H2 pode competir diretamente com a fonte fóssil atualmente empregada no processo. Por fim, as análises de sensibilidade são apresentadas segundo o preço de gás natural, que é a fonte fóssil principal sendo substituído no processo.

**Conclusões**

Os resultados obtidos para um estudo de caso realizado junto à indústria cerâmica fornecem uma quantificação e uma percepção de valor para outros subsetores industriais, relativas ao potencial do H2 verde de adentar suas matrizes energéticas, sem negligenciar os aspectos econômicos dentro da agenda da transição energética. Ressalta-se o papel preponderante dos custos de capital relacionados à tecnologia da eletrólise e da energia elétrica para auxiliar na viabilidade do processo, e a importância de valorizar o aproveitamento do O2 em casos em que o H2 produzido por eletrólise encontra-se próximo a seu uso final, conforme demonstrado na decomposição do custo nivelado do H2. Estudos futuros nesta linha podem ser ampliados para outros setores industriais e aplicações envolvendo H2 ou produtos derivados, de modo a se enxergar cenários de viabilidade técnica e econômica e direcionar as políticas públicas de financiamento ou desoneração de projetos de descarbonização.

# Referências

CSN. **Relatório de Ação Climática**. 2022. Disponível em: https://www.csn.com.br/quem-somos/sustentabilidade/relatorios-2020/

Iberdrola. **A Iberdrola e a empresa Porcelanosa abordam a primeira solução para eletrificar a fabricação de revestimentos cerâmicos, combinando energias renováveis, hidrogênio verde e bomba de calor**. 2021. Disponível em: https://www.iberdrola.com/sala-comunicacao/noticia/detalhe/iberdrola-empresa-porcelanosa-abordam-primeira-solucao-para-eletrificar-fabricacao-revestimentos-ceramicos-combinando-energias-renovaveis-hidrogenio-verde-bomba-calor

IEA. **Global Hydrogen Review**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023>.

Khan, M. H. A., et al. **Designing Optimal Integrated Electricity Supply Configurations for Renewable Hydrogen Generation in Australia.** iScience 24, 102539. 2021.10.1016/j.isci.2021.102539.

Wu, K. et al. **High-efficiency combustion of natural gas with 21–30% oxygen-enriched air**. Fuel 89, 2455-2462. 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236110000517>