

Prototipagem e avaliação de uma célula de combustível direta de amônia com eletrólitos alcalinos

João Vitor Gaspar Oliveira, Bruno Ramos
Departamento de Engenharia Química, Centro Universitário FEI
uniejooliveira@fei.edu.br, brunoramos@fei.edu.br

Resumo: Desde a Revolução Industrial, a produção de energia tem sido fundamental para o progresso de qualquer país, tornando-se um pilar essencial de todas as economias globais. Manter uma geração constante e confiável de energia é crucial para alcançar uma economia e um setor industrial sustentáveis e estáveis. Dessa forma, este projeto tem como objetivo apresentar e estudar uma geração de energia que não dependa da utilização de combustíveis fósseis: células de combustível para conversão direta de amônia em energia elétrica.

1. Introdução

A necessidade de fontes de energia limpa e renovável está cada vez mais urgente à medida que enfrentamos os desafios das mudanças climáticas, provenientes de emissões de gases de efeito estufa, principalmente da queima de combustíveis fósseis, e a diminuição dos recursos naturais, uma vez que estes vêm se esgotando devido ao uso desenfreado.

A busca por fontes de energia limpa nos leva a observar a amônia, que está emergindo como uma opção promissora de combustível alternativo. Isso se deve ao fato de que a amônia pode ser produzida a partir de fontes renováveis, e quando queimada, libera apenas água e hidrogênio, eliminando as emissões de dióxido de carbono (CO_2) associadas à queima dos combustíveis fósseis, além de possuir uma alta densidade energética, se tornando uma opção viável para armazenamento e transporte de energia. [1]

A amônia pode ser utilizada como armazenamento de energia em três cenários principais: como combustível direto, em motores a combustão, como combustível eletroquímico, em células a combustível diretas; e como portador de hidrogênio, em células de combustível indiretas. [2]

Destes usos, as células a combustível se mostram como os mais promissores, por fazerem uso de uma tecnologia já bem estabelecida pela indústria do hidrogênio, que requer poucas atualizações tecnológicas em contraste com a necessidade de desenvolver novos motores a combustão interna capazes de lidar com a amônia e seu complexo processo de queima.

Assim, como dito no tema deste projeto, a ideia é prototipar uma célula direta de amônia com eletrólitos alcalinos, e avaliá-la, já que é uma tecnologia muito promissora. As células de combustível alcalinas, também conhecidas por “AFC”, utilizam um eletrólito líquido alcalino, como uma solução de hidróxido de potássio

(KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH). A amônia pode ser decomposta externamente em hidrogênio e nitrogênio e, em seguida, o hidrogênio é oxidado no ânodo para produzir elétrons. [3]

Dessa forma, diante das baixas emissões de carbono, dos possíveis altos níveis de eficiência energética que as células de combustível de amônia podem alcançar, da “facilidade” de se armazenar a amônia (devido a sua alta densidade energética), e, principalmente a redução da dependência de combustíveis fósseis, o estudo das células a combustível de amônia é extremamente relevante dentro do panorama atual de transição energética. Essa conclusão, portanto, ressalta a importância deste trabalho, que busca enaltecer e comprovar a utilização da amônia como um combustível alternativo, a fim de atender às crescentes demandas por energia de forma eficiente, limpa e sustentável.

2. Metodologia

Assim, a fim de seguir com o projeto, um software de modelagem computacional (NX, Siemens Inc.) foi utilizado para prototipar duas placas da célula, uma para a alimentação de amônia, e a outra, com as mesmas dimensões, para a alimentação de oxigênio. Após os desenhos estarem prontos, estes foram levados e, então, impressos em uma impressora 3D polimérica por fusão de filamentos (3D Pro, GTMax3D Ltda.) utilizando filamento de Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS).

Paralelamente, estavam em desenvolvimento os eletrocatalisadores, catódicos e anódicos, que compõem os eletrodos, são dois elementos importantes da célula de combustível.

Tipicamente, esses eletrodos são estruturados com metais preciosos ancorados em uma matriz de carbono (e.g. Ir/C, Pt/C, Pt-Rh/C, Pt-Au/C, Pd/C [10]), o que tem motivado esforços em busca de materiais de menor custo e maior abundância, como ligas metálicas. Para a produção destes, foram seguidos os seguintes passos: em relação ao eletrocatalisador catódico, será sintetizado a partir de uma rota hidrotérmica, como se segue: $\text{Co}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (63,5 mg) e Vulcan XC-72 (pré-aquecido a 110 °C, 60,0 mg) serão adicionados a água ultrapura (30 mL). Após uma mistura ultrassônica por 15 minutos, 0,5 mL de $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ será adicionado sob agitação magnética, seguido pela adição de solução aquosa de $\text{Mn}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (62,5 mg dissolvidos em 5 mL de água). A mistura é mantida a 60°C sob agitação magnética por 2 horas. Após isso, a suspensão será sonicada novamente por 10 minutos, e então transferida para uma autoclave de Teflon de 40 mL para reação hidrotérmica a 150 °C por 3 horas. O produto resultante

deve ser coletado por centrifugação e lavado com água, e em seguida resfriado abaixo de 0 °C até a utilização.

Já em relação ao eletrocatalisador anódico [15]: Já o catalisador anódico será composto por uma liga de NiCu dopada com Co ancorados em carbono (Co_{1,5}-Ni₄Cu/C). Tipicamente, 50 mg de Vulcan XC-72, pré-tratado para criação de sítios ácidos, são impregnados com 20 mL de água DI e sonificados por 20 min. Em seguida, NiSO₄·6H₂O, CuSO₄·5H₂O e CoSO₄·7H₂O (proporcionalmente dosados) são adicionados à suspensão de Vulcan e sonificados por mais 20 min. A mistura será então colocada em um banho de gelo e água. Subsequentemente, 20 mL de solução de NaBH₄ (6 mmol) gelada serão adicionados gota a gota na solução acima sob agitação magnética.

Após agitar a 0 °C por 2 horas, a solução aquosa será transferida para uma autoclave revestida de Teflon de 100 mL para reação hidrotérmica a 150 °C por 4 horas. Então, o catalisador será coletado por centrifugação e lavado cinco vezes com água DI antes de ser armazenado a temperaturas abaixo de 0 °C. Nestes ensaios, a quantidade molar de cátion metálico no precursor será de 2 mmol com a proporção molar Ni:Cu:Co sendo de 4:1:1,5. [4]

3. Resultados

Projeto e prototipagem da célula.

Após as placas serem desenhadas no software NX, com as dimensões 50x50 mm, e pesando, respectivamente estas foram impressas em uma impressora 3D polimérica por fusão de filamentos (3D ro, GTMax3D Ltda.) utilizando filamento de 12,21 e 12,39 gramas. Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS), como dito na metodologia. O tempo de impressão das peças foi de aproximadamente duas horas. Estas peças foram impressas para obtenção de um protótipo para avaliação preliminar de dimensões e conectividades.



Figura 1 – desenho das placas de alimentação de oxigênio e de hidrogênio no NX

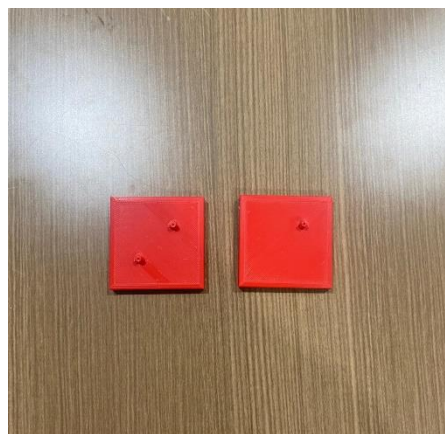


Figura 2 – Placas após impressão 3D

Síntese dos eletrocatalisadores

Após as etapas de desenvolvimento dos eletrocatalisadores, descritas na metodologia, serem realizadas, obtivemos nosso produto, que será caracterizado e utilizado posteriormente na composição da célula.

O eletrocatalisador catódico foi pesado e o produto obtido chegou a 46,7 mg.



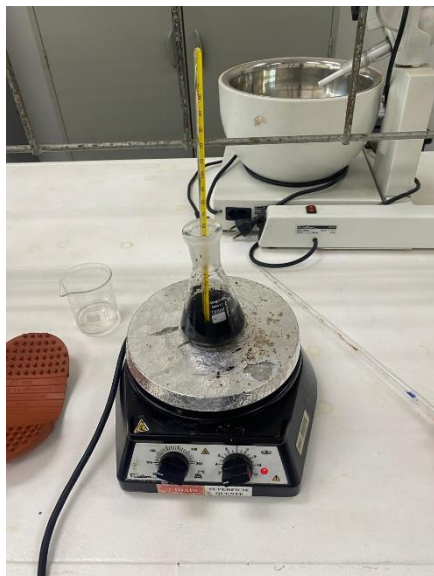


Figura 3 – Desenvolvimento do eletrocatalisador catódico

conhecimento/veja-como-funciona-e-quais-aplicacoes-da-celula-a-combustivel-de-hidrogenio/#:~:text=Princ%C3%ADpio%20de%20funcionamento,%20%3D%3E%20H2O%20%2B%20energia. Acesso em 19 de abril de 2024.

- [4] Z. Hu et al., “Synthesis of Anti-poisoning Spinel Mn–Co–C as Cathode Catalysts for Low-Temperature Anion Exchange Membrane Direct Ammonia Fuel Cells”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 13, no 45, p. 53945–53954, nov. 2021, doi: 10.1021/acsami.1c16251.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pelo suporte para a realização do projeto.

1 Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 03/2024 a 02/2025.

4. Conclusões

O interesse na utilização de amônia como combustível vem crescendo exponencialmente no cenário atual. Tal fato que vai de encontro à busca por energias limpas, renováveis, e principalmente que não dependam de combustíveis fósseis, uma vez que estes são os maiores causadores de emissões de gases poluentes, bem como à diminuição de recursos naturais.

Paralelamente, para que de fato as células a combustível de amônia sejam implementadas em larga escala, como dito anteriormente, estas devem superar desafios técnicos e algumas limitações. Uma vez que superados, tal tecnologia poderá ser implementada, e os objetivos citados finalmente serão atingidos.

No entanto, neste projeto, ainda não é possível apresentar resultados, uma vez que a célula ainda está sendo desenvolvida, como dito anteriormente.

4. Referências

- [1] PANORAMA. Disponível em: <https://www.comerc.com.br/panorama/conhe%C3%A7a-a-am%C3%B4nia-verde-e-a-sua-rela%C3%A7%C3%A3o-com-a-descarboniza%C3%A7%C3%A3o>
- [2] IPEN. “Amônia como fonte de hidrogênio para utilização em células a combustível”. Disponível em: <https://repositorioapi.ipen.br/server/api/core/bitstreams/e5c52677-73db-4c52-b4f8-da172a530410/content>. Acesso em 22 de abril de 2024
- [3] CEMIG. “Funcionamento e aplicações de células a combustível” Disponível em: <https://www.cemig.com.br/usina-do->