

CÉLULAS ELETROQUÍMICAS: FUNDAMENTOS, APLICAÇÕES E A IMPORTÂNCIA DO ELETRODO DE DISCO ROTATÓRIO

Ana Beatriz Gonçalves Marculino de Sousa¹, Gabriel Andrade da Paixão Cunha¹,
Letícia Coelho dos Santos Porto¹, Rycharda Clayde Medeiros Salles¹, Deumara Galdino
de Oliveira¹, Nathália de Almeida Leite da Silva¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Rio de Janeiro, Brasil (beatrizga16gm@gmail.com)

Resumo: Este trabalho foi desenvolvido por alunos de iniciação científica do IFRJ, a partir de revisão bibliográfica sobre células eletroquímicas e eletrodos de disco rotatório. O estudo ampliou conhecimentos em eletroquímica e suas aplicações, evidenciando a importância das células eletroquímicas na transferência de elétrons, conversão de energia e no desenvolvimento de baterias, sensores e células a combustível, contribuindo para soluções sustentáveis.

Palavras-chave: Células eletroquímicas; Eletrodo de disco rotatório; Eletroquímica.

INTRODUÇÃO

A eletroquímica é o ramo da química que estuda a transferência de elétrons e a conversão de energia química em elétrica, e vice-versa, sendo fundamental para o patamar tecnológico da sociedade contemporânea. Como um segmento da Físico-Química, ela analisa a relação entre energia elétrica e as transformações químicas que ocorrem de forma espontânea para gerar eletricidade (Brady, 1996; Atkins e Jones, 2012). Estudos nessa área são essenciais para a investigação de materiais sofisticados e para a compreensão detalhada da termodinâmica de processos redox e da cinética de reações de transferência de carga (Voigt, 2018).

As aplicações industriais e tecnológicas dessa ciência são extremamente vastas, abrangendo o desenvolvimento de aparelhos eletrônicos movidos a pilhas e baterias, como celulares, controles remotos e brinquedos, além do uso de baterias de chumbo-ácido na indústria automobilística (Zanoni, 2017). Outro destaque são as células de combustível, que produzem energia elétrica e térmica a partir do hidrogênio e oxigênio, representando uma alternativa promissora de energia limpa (Ticianelli e Gonzalez, 2005). O panorama mais recente da área no Brasil destaca o papel estratégico da eletroquímica no desenvolvimento de sensores, monitores, analisadores e na eletrossíntese de produtos orgânicos (Zanoni, 2017).

Nesse contexto, as células eletroquímicas atuam como dispositivos fundamentais, constituídos por dois eletrodos em contato com uma solução eletrolítica (Feltre, 1988). Diversos projetos de células eletroquímicas foram desenvolvidos nas últimas décadas, incorporando diferentes

configurações de eletrodos. De modo geral, e por conveniência, essas configurações podem ser classificadas, segundo sua geometria, em três categorias principais: eletrodos estacionários, rotativos e tridimensionais, sendo esta última especialmente importante em processos que exigem alta área superficial e elevada eficiência de transferência de massa. (Marshall e Walsh, 1985).

Para avaliar a cinética desses sistemas e superar as limitações de transporte de massa, o uso de dispositivos hidrodinâmicos de geometria controlada, como eletrodos de disco rotatório (EDR), torna-se indispensável. Os EDR foram utilizados em estudos que deram origem a uma teoria hidrodinâmica sólida, cujas raízes remontam à solução clássica de von Kármán de 1921, sendo aplicados há décadas em pesquisas que vão desde a corrosão até a estabilidade de fluxos em asas de aviões (Leite, 2012).

O objetivo deste trabalho é apresentar um compêndio das constatações discentes sobre o funcionamento de células eletroquímicas que utilizam EDR em sua composição. Pretende-se também destacar a importância desses sistemas no desenvolvimento de sensores, baterias e tecnologias sustentáveis no meio industrial e acadêmico.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa e exploratória, fundamentada em uma revisão bibliográfica sobre células eletroquímicas e EDR. O levantamento de informações foi realizado por meio de buscas em bases científicas, com destaque para o Google Acadêmico, contemplando artigos científicos, livros, teses e dissertações relacionados ao funcionamento,

aplicações e fundamentos desses sistemas. Os materiais selecionados foram analisados buscando compreender os princípios eletroquímicos envolvidos, o funcionamento das células eletroquímicas, as características do eletrodo de disco rotatório e sua importância em estudos de transporte de massa, cinética de reações e aplicações tecnológicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma célula é classificada como galvânica quando opera gerando energia elétrica a partir de transformações químicas que ocorrem de forma espontânea. Esse processo é um segmento da Físico-Química que analisa a relação entre a energia elétrica e a transformação química, sendo um exemplo comum as células padrão de 1,5 volt utilizadas para alimentar aparelhos como controles remotos e relógios (Atkins e Jones, 2012).

Em contrapartida, temos as células eletrolíticas, que funcionam consumindo energia elétrica para promover transformações químicas, processo conhecido como eletrólise. Nesse sistema a eletricidade é utilizada para provocar o aumento de energia necessário para o rompimento de ligações químicas e a formação de novos produtos (Ticianelli e Gonzalez, 2005).

A distinção entre esses sistemas e o controle rigoroso de seus processos são cruciais para o desenvolvimento tecnológico atual, abrangendo desde baterias modernas até o uso de sensores e células a combustível (Souza et al., 2014). O avanço desses estudos permitiu que a sociedade atingisse o atual patamar tecnológico, embora traga desafios contemporâneos relacionados ao descarte e reciclagem do lixo eletrônico (Souza et al., 2014).

As células eletrolíticas, também denominadas reatores eletroquímicos, são dispositivos nos quais uma fonte externa de energia elétrica promove reações químicas não espontâneas. O desenvolvimento desses sistemas nas últimas décadas levou ao surgimento de diversas configurações geométricas destinadas a otimizar a transferência de massa, a distribuição de corrente, o consumo energético e a produtividade do processo. A literatura especializada costuma classificar esses reatores em três grandes grupos: células com eletrodos estacionários, células com eletrodos rotatórios e células com eletrodos tridimensionais. Essa classificação foi proposta para organizar a ampla variedade de projetos desenvolvidos para aplicações industriais, ambientais e energéticas (Marshall e Walsh, 1985).

Na Figura 1, pode-se observar o esquema representativo de uma célula eletroquímica, exibindo três eletrodos: um eletrodo de referência, um eletrodo de trabalho e um contra-eletrodo. De modo geral, nos experimentos, o eletrodo de referência é responsável por fornecer um ponto de referência de potencial estável, enquanto que o contra eletrodo é responsável por equilibrar o fluxo de corrente (Pontes, 2010). O Potenciostato controla a diferença de potencial (voltagem) entre os eletrodos e possibilita medir a corrente que passa por eles. O eletrodo de trabalho é o eletrodo principal onde acontece a reação eletroquímica. É nele que a espécie de interesse oxida ou reduz, gerando a diferença de potencial que será analisada. Ele geralmente é um eletrodo rotatório (Pontes, 2010).

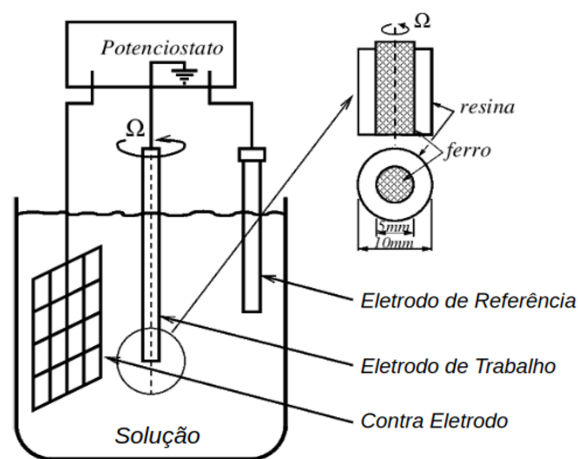


Figura 1. Esquema representativo de uma célula eletroquímica (Pontes, 2010).

Existem várias geometrias de eletrodos rotatórios. Podemos ter um eletrodo cilíndrico rotatório, um eletrodo cônico rotatório, um eletrodo hemisférico rotatório, um eletrodo de disco de anel ou um eletrodo de disco rotatório (Assunção, 2023). Nesta pesquisa, considerou-se principalmente materiais envolvendo EDR, que estão relacionados com o tema do projeto de pesquisa ao qual este trabalho está vinculado. Na figura 2, pode-se observar um EDR com o disco metálico onde acontecem as reações eletroquímicas em destaque.

Os EDR são dispositivos muito úteis em simulações de fluxos feitas com intuito de obter medidas eletroquímicas em ambientes controlados. Eles têm seu uso continuamente ligado à facilidade de operação e montagem (Blurton e Humiston, 1965). O EDR consolida-se como uma ferramenta estratégica para garantir a solidez de fundamentos teóricos frente aos resultados experimentais, permitindo ao pesquisador identificar com precisão inconsistências entre a teoria e a prática (Voigt, 2018). Além de sua robustez técnica na separação dos efeitos de

transporte de massa, o estudo desse dispositivo é fundamental para o desenvolvimento de soluções sustentáveis e inovações em áreas críticas como saúde, geração de energia limpa e controle de corrosão (Sousa et al., 2023).



Figura 2. Eletrodo de disco rotatório (Assunção, 2023).

As principais aplicações do EDR são fundamentais para a transição de análises qualitativas para modelos quantitativos robustos em diversos campos da ciência e engenharia (Recla, 2013). Algumas das principais utilizações do EDR são:

- (a) Modelagem Cinética e Controle de Transporte de Massa: O EDR é essencial para estabelecer um regime hidrodinâmico bem definido, fornecendo dados quantitativos para a modelagem cinética. Este dispositivo permite distinguir limitações de transporte de massa de processos interfaciais, garantindo a interpretação correta dos mecanismos de transferência de carga (Sousa, 2023).
- (b) Simulações de Fluxo e Medidas Eletroquímicas: Estes eletrodos são amplamente utilizados em simulações de fluxos para obter medidas eletroquímicas em ambientes controlados. O uso do EDR possibilita a análise de correntes de analitos com alta precisão. Além disso, o aparato experimental permite obter previsões da medida de densidades de corrente limite para sistemas eletroquímicos simples, validando fundamentos teóricos (Blurton e Riddiford, 1965; Voigt, 2018).
- (c) Estudos de Corrosão e Manutenção Industrial: No setor industrial, o EDR possui aplicabilidade em processos corrosivos que ocorrem em metais de tubulações. De acordo com Tavares et al. (2020), a técnica permite prever o tempo de vida útil do material, indicando o momento adequado para manutenções preventivas.

(d) Aplicações em Aerodinâmica e Aviação: O estudo do campo hidrodinâmico em discos rotatórios possui um histórico relevante na aviação. Pesquisas nas décadas de 1980 e 1990 utilizaram o disco rotatório para estudar a estabilidade de camadas limites em asas de aviões, visando a redução do arraste em voos de alto subsônico (Leite, 2012).

(e) Estudo de Trajetória de Partículas: Os discos rotatórios são preferencialmente utilizados para investigar os efeitos do escoamento de partículas que se movem ao longo de uma trajetória bem definida e a precisão dessas medições é dependente da qualidade da construção do disco e da uniformidade de sua rotação (Gentil, 2011).

(f) Diversidade de Campos Científicos: A vasta área de aplicação do EDR evidencia sua importância nos meios tecnológico, científico e médico. Além disso, o desenvolvimento desses estudos é estratégico para a inovação e formação acadêmica além da sala de aula (Silva, 2019).

Verifica-se que a inserção dessa temática no meio acadêmico e científico estimula o protagonismo e a autonomia discente, promovendo uma formação profissional crítica que vincula o avanço da eletroquímica diretamente à evolução tecnológica e ao bem-estar da sociedade contemporânea (Silva, 2019; Tavares et al., 2020).

CONCLUSÃO

Os estudos envolvendo células eletroquímicas e EDR demonstraram a relevância desses sistemas para a compreensão e o controle de processos de transferência de carga, conversão de energia e mecanismos de reações eletroquímicas. O eletrodo de disco rotatório destaca-se como uma ferramenta importante por possibilitar condições experimentais mais controladas, permitindo diferenciar efeitos relacionados ao transporte de massa e à cinética das reações, contribuindo para a obtenção de resultados mais confiáveis.

A análise realizada evidenciou que a eletroquímica possui papel estratégico no desenvolvimento científico e tecnológico, com aplicações em baterias, sensores, células a combustível, processos de eletrodeposição, controle de corrosão e produção de energia. Além disso, esses estudos favorecem o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis, aproximando o conhecimento científico de aplicações industriais e sociais, contribuindo para avanços tecnológicos e para a formação acadêmica dos estudantes envolvidos.



AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) pelo apoio institucional e infraestrutura concedidos para a realização deste trabalho, e ao CNPq pelo financiamento.

REFERÊNCIAS

- Alencar, M. A. S.; Benedetti, A. V.; Fugivara, C. S.; Messaddeq, Y. *Construção de célula eletroquímica para observação de amostras in situ em estereomicroscópio*. Química Nova, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 53-59, 2010. DOI: 10.21577/0100-4029.20100008.
- Atkins, P.; Jones, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- Assunção, F. S.; Cardoso, B. C. S.; Moreira, R. M.; Almeida, T. C.; Mattos, O. R. *Desenvolvimento de eletrodo de disco rotatório para testes em ambientes pressurizados*. In: LATINCORR & INTERCORR 2023, nov. 2023. Poster. AMPP & ABRACO, 2023.
- Barbosa, R. S.; et al. *Células eletrolítica e a combustível confeccionadas com materiais alternativos para o ensino de eletroquímica*. Química Nova na Escola, 2021.
- Brady, J. E.; Humiston, G. E. *Química geral*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- Blurton, K. F.; Riddiford, A. C. *Shapes of practical rotating disc electrodes*. Journal of Electroanalytical Chemistry, England, v. 10, n. 5–6, p. 457–464, 1965.
- Gentil, V. *Corrosão*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- Leite, N. A. *Transporte acoplado de massa e momento no disco rotatório*. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- Marshall, R.J.; Walsh, F.C. A review of some recent electrolytic cell designs, Surface Technology, Volume 24, Issue 1, 1985.
- Pontes, J.; Mangiavacchi, N.; Rabello dos Anjo, G. *Estabilidade hidrodinâmica em células eletroquímicas*. [s.l.], 2010.
- Recla, F. M. *Caracterização de escoamento em teste de corrosão-erosão utilizando eletrodo disco rotatório através de CFD*. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- Silva, N. A. L. et al. *Importância da eletroquímica no meio industrial, tecnológico e científico nos dias atuais*. In: II Encontro da Rede Rio de Ensino de Química (II EREQ), Resende, 2019.
- Sousa, A. B. G. M. et al. *Estudo de células eletroquímicas com o eletrodo de disco rotatório*. Rio de Janeiro: IFRJ, 2023.
- Souza, C. O. et al. *Estudos sobre células eletroquímicas, suas aplicações industriais e consequências ao meio ambiente*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Química, 2014.
- Tavares, Y. V. et al. *A importância da eletroquímica para a sociedade e a utilização de eletrodos de disco rotatório*. In: Scientiarum Historia, XII, Rio de Janeiro: UFRJ, 2020.
- Ticianelli, E. A.; Gonzalez, E. R. *Eletroquímica: princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edusp, 2005.
- Voigt, C. L. *Tendências e progressos da eletroquímica e eletroanalítica no Brasil*. Belo Horizonte: Atena Editora, 2018.
- Zanoni, M. V. B. *Panorama da eletroquímica e eletroanalítica no Brasil*. Química Nova, v. 40, n. 6, p. 663, 2017.