

CÉLULA ELETROLÍTICA INDIVIDIDA: DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA ANALÍTICA PARA ACOMPANHAMENTO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO

Ana Beatriz Calheiros Vieira¹, Ivandro Joel Bueno², Amanda Santana Peiter³ e Júlio Holanda Tavares Neto⁴

¹Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo – AL, ana.vieira@ceca.ufal.br

²Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo – AL, ivandro.bueno@ceca.ufal.br

³Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo – AL, amanda.peiter@ceca.ufal.br

⁴Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo – AL, julio.neto@ceca.ufal.br

Resumo

O presente trabalho visa descrever uma pesquisa experimental que envolveu a produção de hipoclorito de sódio e hidrogênio a partir de produtos de fácil acesso como água e sal, e posteriormente com a água do mar, realizado no Laboratório de energia - LABEN. O hipoclorito de sódio é um produto amplamente utilizado como desinfetante de uso geral, enquanto o hidrogênio é indicado como um importante vetor energético para mitigar as mudanças climáticas. Assim, foi desenvolvida uma célula eletrolítica de bancada e após a realização de experimentos foi possível determinar sua eficiência.

Palavras-chave: hipoclorito de sódio, hidrogênio.

Introdução

O processo industrial de produção do hipoclorito de sódio é um processo simples que envolve a eletrólise da água e sal, as quais são matérias-primas de fácil acesso e baixo custo. Esse produto pode ser destinado ao tratamento de água para o consumo, bem como de efluentes domésticos e industriais. Por isso, é enquadrado no objetivo de desenvolvimento sustentável 6 (Água Potável e Saneamento) da Organização das Nações Unidas (MINEIRO et al, 2023).

Essa mesma reação da eletrólise gera outros produtos como o hidrogênio. E no contexto de crise climática, a energia proveniente do hidrogênio tem potencial para contribuir com um futuro menos poluente. Uma vez que sua utilização implica em inúmeros benefícios tais como ser o elemento em maior abundância do universo, apresentar maior poder calorífico que os derivados de petróleo e poder ser produzido mediante fontes de energia limpa (ABE et al, 2019). Atualmente está se tornando popular a produção de soluções de hipoclorito por meio de células eletrolíticas individualizadas por eletrólise direta de salmoura ou água do mar. Essas células podem ser projetadas para qualquer capacidade de produção desejada. Dessa forma, foi projetada uma célula eletrolítica, na qual foi produzido hipoclorito de sódio a partir de água e sal como também com água do mar (ASOKAN; SUBRAMANIAN, 2009).

Objetivos

- Avaliar a máxima concentração de hipoclorito de sódio e máxima produção de hidrogênio para cada combinação de fatores definidos no planejamento do experimento;
- Encontrar o melhor desempenho de uma célula eletrolítica individualizada para produção de hidrogênio e hipoclorito de sódio.

Resumo Teórico

A eletrólise é um método fundamental para obtenção dos produtos de interesse deste projeto. Tal reação ocorre dentro de uma célula eletrolítica, que consiste em um recipiente com dois eletrodos, O Ânodo e o Cátodo, os quais ficam imersos em uma solução denominada eletrólito (FELTRE; YOSHINAGA, 1977).

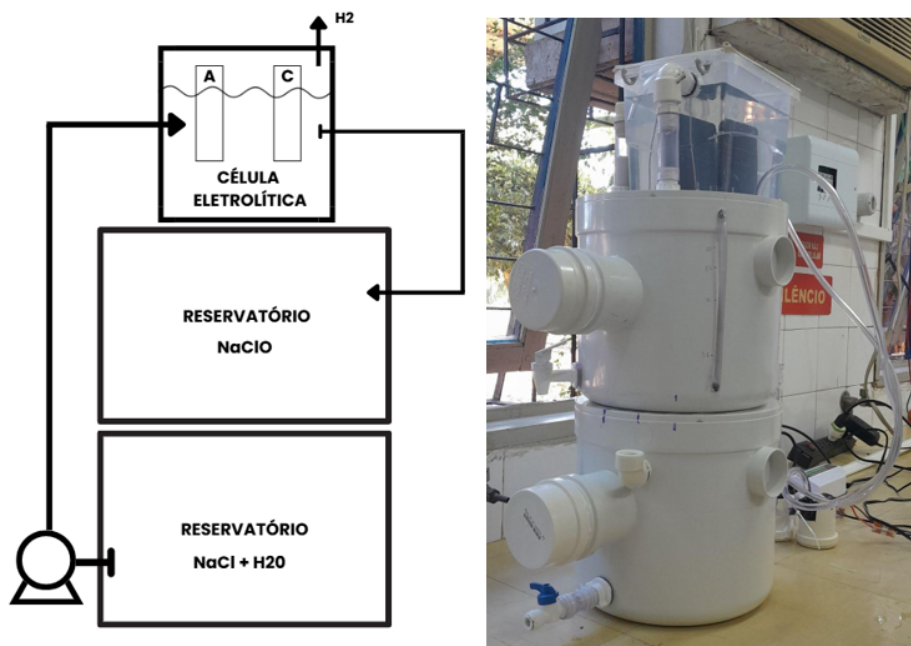
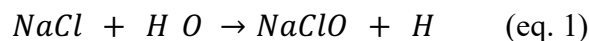


Figura 1 - Célula eletrolítica e desenho esquemático do sistema.

A célula utilizada, bem como o projeto de todo o sistema, pode ser observado na Figura 1 acima. No cátodo, eletrodo negativo, ocorre a concentração de íons positivos sódio e a produção de hidrogênio. Já no ânodo, eletrodo positivo, concentram-se os íons de Cl^- e com isso forma-se o gás cloro Cl_2 . Esse em contato com água gera o ácido hipocloroso, que por sua vez, retorna ao cátodo e produz H^+ e ClO^- . Por fim, íons de Na^+ unem-se aos de ClO^- de modo a produzir o hipoclorito de sódio. A seguir, na equação 1, pode-se observar a reação global que rege a eletrólise do $NaCl$ aquoso.



Para a avaliação da concentração de cloro ativo presente no hipoclorito de sódio foi utilizado o método analítico da NBR 9425 (Solução de Hipoclorito de Sódio Comercial - Determinação do Teor de Cloro Ativo pelo Método Volumétrico). Além disso, a Lei de Faraday (equação 2) serviu de importante parâmetro para determinação das massas teóricas produzidas de hipoclorito. E com o recurso da estequiometria calculou-se as massas de hidrogênio. Como a massa molar de $NaClO$ é aproximadamente 74,5 g e a de H_2 é 2 g, temos a equação 3.

$$m = \frac{E \cdot i \cdot t}{F} \quad (\text{eq.2})$$

$$m_{H_2} = 74,5 \cdot 2 \quad m_{NaClO} \quad (\text{eq. 3})$$

Metodologia

Tendo em vista que em sistemas químicos, as variáveis costumam se relacionar fortemente, para organização dos experimentos foi utilizado o sistema de planejamento fatorial, de modo que é possível avaliar simultaneamente o efeito das variáveis, a partir de um número reduzido de ensaios experimentais (ZAMORA et al 2005). Assim, o planejamento experimental se baseou em 8 experimentos (Tabela 1). As variáveis de controle selecionadas foram densidade de corrente, concentração inicial de NaCl e origem da salmoura.

Tabela 1: Planejamento do experimento (fatorial 2³)

Experimento	Variáveis			Resposta
	I (A)	C NaCl (g/L)	Salmoura	C NaClO (g/L)
P1	3	30	Sintética	0,89
P2	3	30	Água do mar	2,08
P3	3	150	Sintética	2,08
P4	3	150	Água do mar	1,41
P5	5	30	Sintética	2,46
P6	5	30	Água do mar	1,49
P7	5	150	Sintética	2,23
P8	5	150	Água do mar	0,87

Fonte: Autor, 2025

Resultados

A partir da análise dos dados, foi constatado que a concentração de hipoclorito foi máxima foi igual a 2,46 g/L, no experimento P5. Na figura 2, é demonstrado que nas condições de salmoura sintética, corrente aplicada de 5 A e concentração inicial de 30 g/L, as massas produzidas foram maiores, as quais são justamente as condições desse experimento. Conforme mencionado anteriormente, as massas de hidrogênio reais e teóricas foram obtidas a partir da relação estequiométrica entre hipoclorito e hidrogênio. Além disso, observou-se que a massa de hipoclorito produzida e a densidade de corrente aplicada apresentam uma correlação positiva.

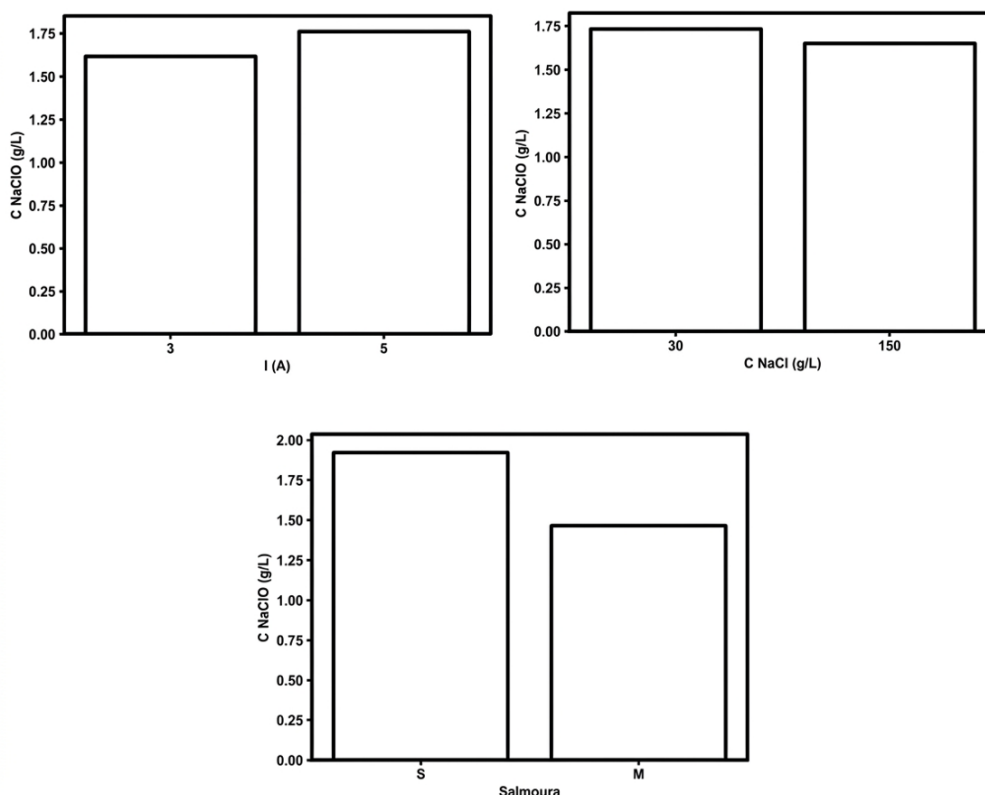


Figura 2 - Conjunto de gráficos para avaliação dos fatores

Agradecimentos

Gostaria de agradecer aos meus orientadores, Profa. Dra. Amanda Santana Peiter e Prof. Dr. Júlio Holanda Tavares Neto, pela confiança no projeto e pela disponibilidade em ajudar. Aos meus colegas de PIBIC e PIBITI, pelas trocas enriquecedoras e empenho para com o projeto. Além disso, agradeço o apoio do Laboratório de Fitopatologia, em especial à técnica Laura Estela. E por fim, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Referências

ABE, J. O. et al. Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 44, n. 25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>. Acesso em: 10 de out. de 2025.

ASOKAN, K.; SUBRAMANIAN, K., 2009. Design of a Tank Electrolyser for In-situ Generation of NaClO.

FELTRE, R.; YOSHINAGA, S. *Físico-Química: teoria e exercícios*. Volume 3. São Paulo: Editora Moderna, 1977.

MINEIRO, B.; SANTOS, F.; FURTADO, L.; FORTUNATO, J.; ROCHA, J. T.; BRANCO, M. J.; MENDONÇA, M. J.; MAZEMBE, T., 2024. Produção de Hipoclorito de Sódio, Projeto da Unidade Curricular Projeto FEUP - Licenciatura em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal.

PERALTA-ZAMORA, P.; MORAIS, J. L.; NAGATA, N., 2005. Por que otimização multivariada? *Engenharia Sanitária e Ambiental*.