

# 11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## **TÍTULO DO TRABALHO:**

AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMA CÉLULA DE DESSALINIZAÇÃO MICROBIANA (MDC) UTILIZADA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO DE REFINARIA DE PETRÓLEO E DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR

## **AUTORES:**

Ana Claudia Andrade Alves, Maick Meneguzzo Prado,  
Elisângela Edila Schneider, Camila Michels

## **INSTITUIÇÃO:**

Universidade Federal de Santa Catarina

## **AQUISIÇÃO DE DADOS DE UMA CÉLULA DE DESSALINIZAÇÃO MICROBIANA (MDC) UTILIZADA NO TRATAMENTO DE EFLUENTE SINTÉTICO DE REFINARIA E DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR**

### **Resumo**

A Célula de Dessalinização Microbiana (MDC) é um biorreator desenvolvido para viabilizar o tratamento de efluentes com a remoção simultânea de carbono e nitrogênio presentes nos compostos orgânicos presentes em diversos efluentes. Além disso, a célula converte energia química em energia elétrica a partir das reações catalíticas dos microrganismos, com a possibilidade de aproveitamento desta energia *in situ*, para a dessalinização parcial da água do mar. Essa tecnologia utiliza a capacidade das bactérias anaeróbias presentes no ânodo de oxidar a matéria orgânica do efluente e liberar elétrons extracelularmente, combinada com a capacidade dos microrganismos existentes no cátodo de remover o nitrogênio por meio de nitrificação e desnitrificação simultâneas, na geração de uma corrente elétrica ao entorno da MDC. A partir dos dados de geração de tensão se torna possível o cálculo da corrente e da potência produzidas. O presente trabalho explora duas configurações na câmara de dessalinização para maximizar a remoção dos sais, sendo um reator com uma câmara e o outro com três. O acompanhamento do processo de forma contínua ocorreu pela produção de tensão elétrica por meio de Arduino. Apresentando um erro associado de 0,7 % em 13 dias de operação, o reator de uma câmara de dessalinização obteve uma produção média de 310 mV e o de três câmaras 356,79 mV, comprovando a viabilidade de produção de bioeletricidade através de efluente de refinaria de petróleo.

Palavras-chave: sistemas bioeletroquímicos, célula de dessalinização microbiana, geração de energia elétrica, tratamento efluente de refinaria.

### **Abstract**

The Microbial Desalination Cell (MDC) is a bioreactor developed to enable the treatment of effluents with simultaneous removal of organics present in several effluent compounds. In addition, the cell converts chemical energy into electrical energy from the catalytic reactions of microorganisms, with the possibility of using this energy *in situ* for partial seawater desalination. This technology uses the ability of anaerobic bacteria present at the anode to oxidize effluent organic matter and electronics extracellularly, combined with the ability of microorganisms existing in the cathode to remove nitrogen by simultaneous nitrification-denitrification process, in the generation of electric current around the MDC. The voltage generation data make it possible to calculate the electric current production. The present work explores two configurations in the desalination chamber: one reactor with one chamber and the other with three chambers. The process' continuous monitoring occurred through the voltage production determined by the Arduino. With an associated error of 0.7% in 13 days of operation, the reactor of one desalination chamber obtained an average production of 310 mV

and that of three chambers 356.79 mV, proving the viability of producing bioelectricity through oil refinery wastewater treatment.

Keywords: bioelectrochemical systems, microbial desalination cell, electric power generation, refinery effluent treatment.

## **Introdução**

Os efluentes de refinaria de petróleo são compostos por muitos produtos químicos diferentes e são característicos de cada tipo de petróleo e dos processos a que foi submetido. A partir de 1969 tem aumentado o número de processos de tratamento dos efluentes de refinaria de petróleo, já que o mesmo contém substâncias tóxicas que quando descartadas incorretamente causam danos aos ecossistemas (Wake, 2005). Porém, esses métodos de remediação utilizam grandes quantidades de energia, encarecendo o tratamento e contribuindo para o aumento da demanda energética, sendo necessário novos métodos mais viáveis (Abu-Reesh, 2022).

Desde de 1965 até atualmente o consumo de energia tem aumentado e as principais fontes de energia são não-renováveis e geram poluentes, onde a biomassa tradicional (turfa e madeira de desmatamento), carvão, petróleo e gás natural ocupam um total de 85,3% das fontes de energia (Ritchie, 2020). O uso de água doce global também tem crescido desde a década de 1980, e continua a crescer devido a uma combinação de crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças de padrões de consumo. Assim, o estresse hídrico afeta mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo (UNESCO, 2021).

Visando mitigar a crise hídrica foi desenvolvida no século passado o processo de dessalinização da água salgada por meio de osmose reversa e evaporação flash multiestágio, porém são métodos com altas demandas energéticas. Para contornar essa consequência negativa foi desenvolvida uma nova tecnologia de dessalinização parcial da água do mar: a célula de dessalinização microbiana, que não necessita de energia externa, e simultaneamente alcança o tratamento de águas residuais, como efluente de refinaria, e produz excedente de energia (Forrestal, 2012).

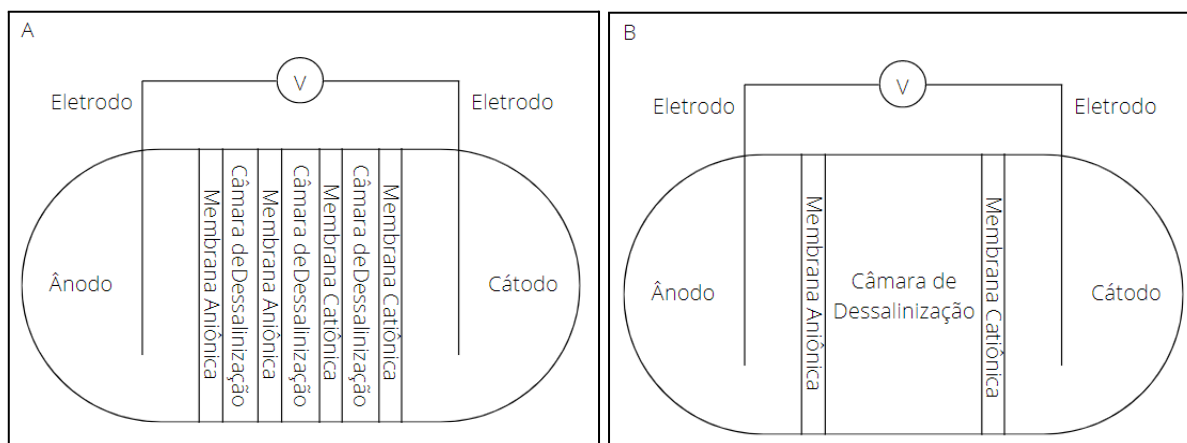
Deste modo, o objetivo do presente trabalho é avaliar o uso do Arduino combinado com o PLW-DAQ e o Excel, como ferramenta para a aquisição e consequente monitoramento contínuo, dos dados da tensão produzida pela MDC, com diferentes configurações para o tratamento de efluente sintético de refinaria e a geração de bioeletricidade resultante.

## Metodologia

### BIORREATOR MDC

A estrutura dos reatores está apresentada nos esquemáticos da Figura 1. A solução salina é armazenada nas câmaras de dessalinização entre as membranas catiônicas e aniônicas. Os eletrodos são responsáveis por captar os elétrons que estarão em solução no meio, viabilizando a passagem dos mesmos pelo ânodo para o cátodo, e gerando assim a tensão que será monitorada com o Arduino.

Figura 1. Esquemáticos dos reatores de dessalinização microbiana.



A. Esquemático MDC com três câmaras de dessalinização. B. Esquemático MDC com uma câmara de dessalinização.

Fonte: Autoria Própria (2022).

No bioânodo as bactérias anaeróbicas exoeletrogênicas, oxidam a matéria orgânica do efluente a gás carbônico e liberam cátions de hidrogênio no meio. Após ser oxidado no ânodo o efluente é transferido ao cátodo. Enquanto na câmara de dessalinização os ânions cloreto e sulfato migram da água do mar para o ânodo e os cátions de sódio e cálcio migram para o cátodo. Já no biocátodo os microrganismos eletrotróficos, fazem a remoção de nitrogênio e onde vários sistemas utilizam produtos químicos tóxicos a MDC aproveita o oxigênio comoceptor final de elétrons na etapa aeróbia ou o nitrato na etapa anóxica, gerando assim um diferencial de potencial entre as câmaras (Perazzoli, 2018).

O efluente sintético de refinaria de petróleo utilizado é descrito por Shariati (2011), onde os principais poluentes são o tolueno, xileno, nonano, cloreto de amônia, fenol e cloreto de ferro, substâncias altamente tóxicas. Porém por ser etapa de estabilização das bactérias nos reatores foi

utilizada uma mistura de dois efluentes, 30% do efluente de refinaria de petróleo e 70% do efluente sintético de efluente sanitário descrito por Lovley & Phillips (1988). Durante todo o processo de operação foram monitorados os dados de tensão por meio de Arduino e multímetro.

### SOLUÇÃO COMPUTACIONAL

A coleta de dados é realizada pelo Arduino, um hardware eletrônico, que para o processamento de dados oferece o seu próprio ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), um software programado na linguagem C++, de código aberto, de simples utilização e de fácil acesso econômico comparado com outros microcontroladores, podendo ser utilizado em qualquer sistema operacional, seja Windows, Linux ou iOS (Arduino, 2018). A aquisição de dados foi realizada com um intervalo de 3 minutos e utilizando o código de programação elaborado pelos autores e disponível abaixo ou no link <https://github.com/anaandradea/mdc-anp.git> :

```
int potenciometro_1 = A0;
int potenciometro_2 = A1;
float tensao_1;
float tensao_2;
float tensao2;
float tensao1;

int linha=0;
int LABEL=1;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("CLEARDATA");
    Serial.println("LABEL,Hora,Tempo do Inicio,Data,Leitura 1,Tensao
1,Leitura 2, Tensao 2");
}

void loop() {
    tensao_1 = analogRead(potenciometro_1);
    tensao_2 = analogRead(potenciometro_2);
    linha++;
```

```
tensao1 = tensao_1*5000/1023;
tensao2 = tensao_2*5000/1023;

Serial.print("DATA, TIME, TIMER, DATE");
Serial.print(",");
Serial.print(tensao_1);
Serial.print(",");
Serial.print(tensao1);
Serial.print(",");
Serial.print(tensao_2);
Serial.print(",");
Serial.print(tensao2);
Serial.print(",");
Serial.println(linha);

delay(180000);

}
```

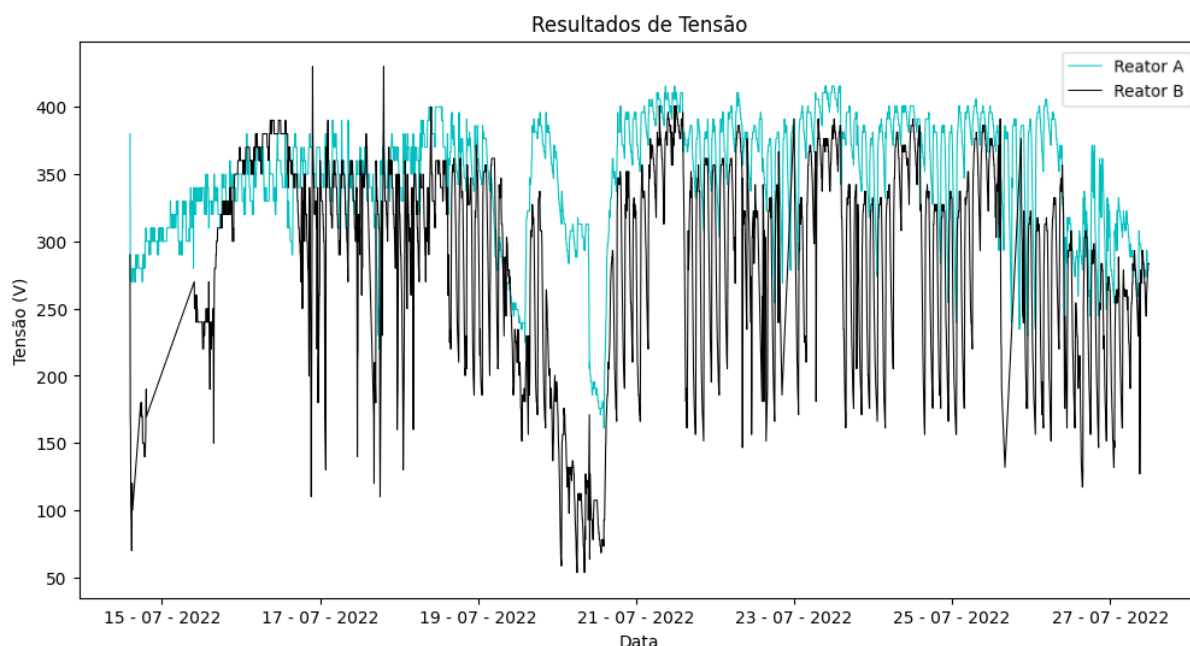
O processamento de dados foi realizado com a integração da IDE do Arduino utilizando o PLX-DAQ, uma solução disponibilizada gratuitamente pela Parallax e complementar a aquisição de dados, que possibilita a associação da mesma com o Microsoft Excel. Permitindo a plotagem de gráficos em tempo real, com marcador de dados em tempo no formato hh:mm:ss e dd:mm:aaaa, capacidade de lidar com até 26 colunas de dados. Porém tem alguns requisitos de sistema, como Microsoft Windows posterior a versão 98, e Microsoft Office/Excel posterior a versão de 2000, que foram facilmente cumpridos pelo equipamento disponível para a pesquisa (Parallax, 2021).

O Microsoft Excel então é responsável pelo armazenamento e o gerenciamento dos dados adquiridos. Como ferramenta auxiliar facilitadora no monitoramento remoto dos reatores biológicos é utilizado o TeamViewer, um software que permite o acesso e controle remoto de um computador previamente conectado de forma segura a qualquer hora e local. Baseado na nuvem, funciona em diversos sistemas operacionais, sendo dispositivos desktop ou móveis, como Windows, Android e iOS (TeamViewer, 2022).

## **Resultados e Discussão**

Na Figura 2, temos o gráfico com os dados de tensão produzidos nos Reatores A e B, durante 13 dias, período em que os microrganismos estavam se estabilizando às novas condições ambientais.

Figura 2. Gráfico de aquisição de tensão dos Reatores A e B.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Podemos observar a partir dos dados também que a célula de dessalinização microbiana A no geral apresentou maiores resultados de produção de eletricidade, com uma média de 356,7 mV, enquanto o reator B gerou 310 mV.

O presente trabalho explora duas configurações na câmara de dessalinização, A e B, acompanhando de forma contínua a produção de tensão por meio de Arduino e comparando com os dados lidos manualmente com o multímetro, avalia como adequada a utilização do mesmo para o monitoramento do experimento, apresentando um com um erro associado de 0,7 % em 13 dias de operação o reator de uma câmara de dessalinização obteve uma produção média de 310 mV e o de três câmara 356,79 mV.

## **Conclusões**

Conclui-se que a utilização do Arduino é adequada para o monitoramento dos reatores, oferecendo vantagens como um sistema de coleta contínua e com verificação remota do funcionamento do sistema, com erro de leitura de 0,7% em comparação aos dados coletados manualmente com um multímetro. Porém se faz necessária a manutenção constante dos equipamentos utilizados como jacarés e fios já que são suscetíveis à oxidação quando em contato com o ar.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao e-Biotech, laboratório do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, por fornecer apoio financeiro e as instalações laboratoriais para a execução do trabalho. Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo e ao CNPQ pelo suporte financeiro.

## **Referências Bibliográficas**

- Abu-Reesh, I., Kunju, A., & Sevda, S. (2022). Performance of microbial fuel cells in treating petroleum refinery wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103029>
- Apha. Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater 23th. Disponível em: <<https://pt.book4you.org/book/5300018/a42978>>. Acesso em: 17 mar. 2022.
- Arduino, What is Arduino? Arduino, 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 14 Sep. 2022.
- Forrestal, C., Xu, P., Jenkins, P. E., & Ren, Z. (2012). Microbial desalination cell with capacitive adsorption for ion migration control. *Bioresource Technology*, 120, 332–336. doi:10.1016/j.biortech.2012.06.044
- Parallax. PLX-DAQ. Parallax. Disponível em: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>. Acesso em: 14 Sep. 2022.
- Perazzoli, S. (2018). Célula Microbiana de Dessalinização com Biocátodo Anódico para simultânea remoção de carbono e nitrogênio, geração de bioeletricidade e dessalinização. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.



Ritchie, H., Roser, M., Pablo Rosado, P. (2020) - "Energy". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/energy' [Online Resource]

Shariati, S. R. P., Bonakdarpour, B., Zare, N., & Ashtiani, F. Z. (2011). The effect of hydraulic retention time on the performance and fouling characteristics of membrane sequencing batch reactors used for the treatment of synthetic petroleum refinery wastewater. *Bioresource Technology*, 102(17), 7692–7699. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.065>

TeamViewer, TeamViewer: o seu programa de acesso remoto. TeamViewer. Disponível em: <https://www.teamviewer.com/pt-br/>; Acesso em: 14 Sep. 2022.

UNESCO, O Valor da Água, Fatos e Dados, Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, 2021.

Wake, H. (2005). Oil refineries: a review of their ecological impacts on the aquatic environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62(1-2), 131–140. doi:10.1016/j.ecss.2004.08.013