

Desenvolvimento de Potenciostato em Topologia Fully Differential para a Detecção de Metais Pesados em Ambientes Aquáticos

Felipe Avila Silva¹; Alan Carlos Junior Rossetto²; Leonardo Contreira Pereira³

¹ Universidade Federal de Pelotas – fasilva@inf.ufpel.edu.br

² Universidade Federal de Pelotas – alan.rossetto@ufpel.edu.br

³ Universidade Federal de Pelotas – leonardo.contreira@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento ambiental aquático visa fornecer de maneira contínua informações sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de corpos d'água. Essas propriedades são monitoradas por meio do uso de transdutores, ou seja, dispositivos sensoriais que convertem uma variação de grandeza eletroquímica, em uma variação de grandeza elétrica, transformando, por exemplo, a intensidade de corrente elétrica, em níveis de tensão. Neste trabalho, foi implementada uma topologia de transdutor que se beneficia de métodos diferenciais, permitindo a detecção precisa de uma ampla gama de analitos e a rejeição de ruído de modo comum. Esse sistema microcontrolado, conhecido pelo termo potenciostato, opera com baixa tensão e é amplamente utilizado em pesquisas laboratoriais, monitoramento ambiental e sistemas biomédicos (MARTIN et al., 2009).

No âmbito deste estudo, foi prototipado e desenvolvido um sistema embarcado em baixo custo, dado que potenciostatos comerciais podem ser bastante caros. A intenção é monitorar a corrente elétrica fluente entre dois eletrodos posicionados em uma célula eletroquímica, a magnitude dessa corrente está intrinsecamente ligada aos elementos presentes nas amostras de água, como discutido por Parron; Muniz; Pereira (2011). Almejamos futuramente, posicionar o dispositivo em plataforma de monitoramento aquático, permitindo a avaliação contínua de aspectos quantitativos e qualitativos. Visto que amostras mal manejadas ou preservadas podem comprometer os parâmetros de qualidade caso fosse feito diretamente em laboratório.

Sua concepção remonta à observação inaugural de Galvani (1791), quando este investigava fenômenos resultantes da passagem de corrente elétrica em uma rã. O fenômeno em questão, reconhecido como processo de oxidação e adsorção superficial, foi assimilado pelo domínio da eletroquímica com vistas ao desenvolvimento de abordagens interfaciais dinâmicas. Tais abordagens são capazes de capturar e registrar a curva corrente-potencial resultante da eletrólise, intrínseca a um sistema eletroquímico específico.

Em resposta a uma demanda crescente e impulsionado pelos avanços tecnológicos, o grupo de pesquisa HidroSens localizado na Universidade Federal de Pelotas, desenvolveu anteriormente uma plataforma de monitoramento aquático autônomo, que pode servir como estrutura de fixação do dispositivo aqui desenvolvido para a caracterização da presença de metais pesados através da curva voltamétrica. Essa abordagem, que abrange a amostragem in situ, encontra-se extensivamente documentada na literatura científica (CARAPUÇA et al., 2004) e (DINÇKAYA et al., 2011).

2. METODOLOGIA

O objetivo principal deste trabalho é projetar um circuito capaz de detectar metais pesados, como níquel (Ni), cádmio (Cd), cobre (Cu), chumbo (Pb) e zinco (Zn) em corpos d'água. Para alcançar esse propósito, foram analisadas na literatura as topologias de potenciostatos, incluindo o potenciostato do tipo Single Ended (SE) e o potenciostato do tipo Fully Differential (FD). A segunda opção se mostrou mais viável para implementação devido às suas vantagens de rejeição do ruído de modo comum, e entrada diferencial de sinais. No entanto, o potenciostato do tipo SE também foi implementado visando reproduzir trabalhos anteriores e aprofundar a compreensão do funcionamento do hardware. Realizamos simulações das topologias SE e FD utilizando o software Proteus e analisamos a operacionalidade e o desempenho do circuito. Isso nos permitiu garantir que a construção esquemática do potenciostato FD concebida cumpra o mesmo comportamento do potenciostato SE, que já havia sido validado por Martínez (2022).

Após revisar a literatura e realizar simulações de ambos os potenciostatos idealizados, elaboramos o leiaute de algumas versões do potenciostato FD para fins de teste, além de já termos definido completamente uma única versão do potenciostato SE. Dedicamos o uso de materiais de baixo custo para a construção da placa de circuito impresso (PCI). Em seguida, validamos a PCI em testes de funcionalidade e, após três protótipos, conseguimos obter uma versão final que atendia aos requisitos idealizados.

Os testes de funcionalidade realizados, foram a submissão dos potenciostatos em calibração de offset, e aplicação de voltametria cíclica, considerando a substituição da célula eletrolítica de três eletrodos, como sendo um único resistor de 2K2 Ohms, com tolerância de 1%, que por sua parte emula um fluido ideal, resultando em uma variação linear entre potencial aplicado e corrente mensurada, por meio do microcontrolador Arduino Uno.

O hardware analógico da placa é controlado pelo microcontrolador Arduino Uno, e esses dados são adquiridos por computador utilizando um pequeno código em Python, que monitora a porta serial do Arduino usando a biblioteca PySerial, registrando as correspondências entre entradas e saídas em um arquivo de texto, que possibilita gerar gráficos, para facilitar a análise dos dados coletados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas simulações computacionais foram encorajadores e validam o circuito desenvolvido. Durante esse processo, mantivemos os parâmetros de resistência conforme o artigo de referência, a fim de alcançar uma faixa de varredura de 3V p-p (conforme mostrado na Figura 1), variando entre -1.5V e 1.5V para ambos os potenciostatos. Entretanto, a viabilidade dessa faixa nem sempre pode ser assegurada devido à tolerância de precisão das resistências e aos estágios de ganho delineados pelos Amplificadores Operacionais, cujas discrepâncias provavelmente se tornam mais evidentes durante os testes práticos.

Ao realizar testes de varredura cíclica no resistor, podemos observar que a corrente depende linearmente à tensão aplicada. Isso pode ser diferente de uma solução eletrolítica, que pode não apresentar uma resposta linear devido a considerações de afinidade eletroquímica.

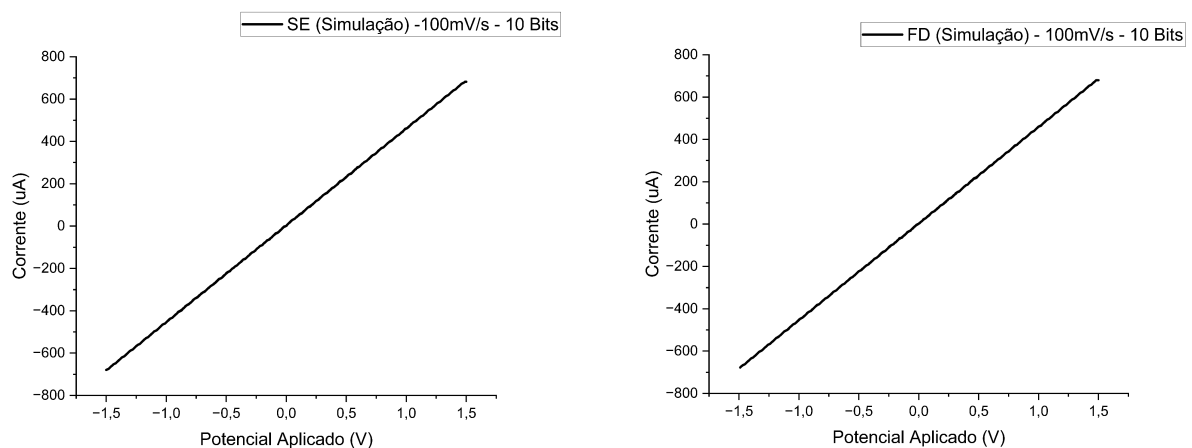


Figura 1: Resposta voltamétrica de simulação do potenciostato SE e FD.

Os gráficos acima mostram a resposta do sinal aplicado ao resistor de carga por meio de simulação elétrica pelo Proteus, com uma taxa de varredura de 100mV/s. Enquanto na topologia SE, são necessários -1.5V na entrada para obter -1.5V na saída e +1.5V na entrada para obter +1.5V na saída. Por outro lado, na topologia FD, apenas -0.75V e +0.75V são necessários na entrada para obter o mesmo potencial de saída.

Em teste de bancada, enfrentamos desafios como tolerâncias dos resistores comerciais, resistência de entrada finita em amplificadores operacionais e restrições de tempo de amostragem. Nesse cenário, o offset se torna mais proeminente, e começam a surgir características relacionadas a possíveis ruídos intrínsecos (conforme mostrado na Figura 1).

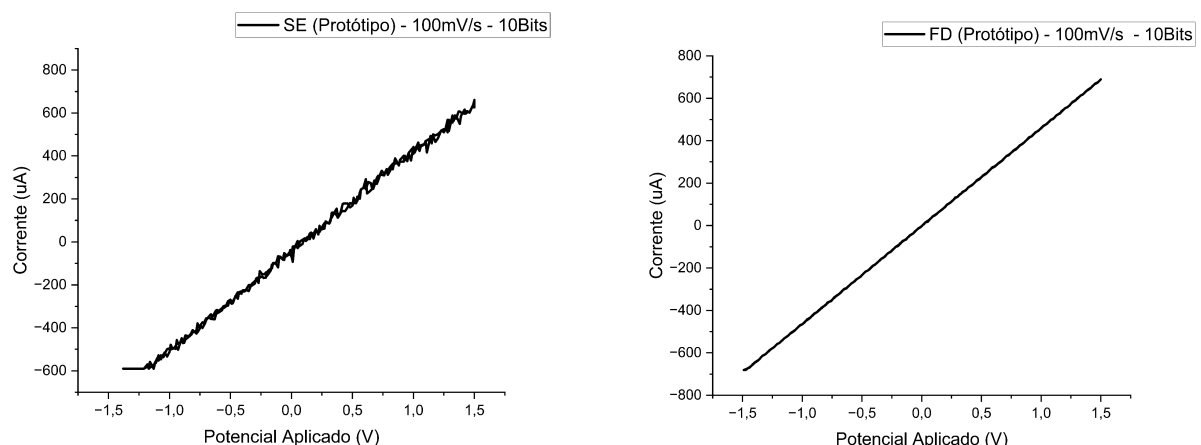


Figura 2: Resposta voltamétrica de bancada do potenciostato SE e FD.

No gráfico acima, o potenciostato SE demonstrou um deslocamento no eixo de potencial aplicado devido à introdução de correção de offset via software. Como resultado desse ajuste, ocorre um desequilíbrio nas tensões mínima e máxima varridas pelo método, resultando uma amplitude de 3.03V p-p, variando de -1.31V a 1.72V, e exibindo ruído de medição. Na outra topologia vemos que o potenciostato FD valida a amplitude de varredura esperados em seus testes de

bancada com precisão. Pois, com base nas lições aprendidas durante o desenvolvimento inicial do potenciostato SE, adotei uma abordagem no potenciostato FD que prioriza o uso de trimpots para valores de resistências não comerciais. Isso resultou em valores de offset mais consistentes, reduzindo significativamente as discrepâncias, vemos no gráfico da Figura 2, baixo valor de offset, e valores de potencial aplicado simétricos, bem conforme a simulação da Figura 1, que variou em testes de bancada de -1.50V até 1.53V, na qual temos 3.03V p-p, minimizando também o ruído inerente (Figura 2) que foi perfeitamente filtrado pelas propriedades da topologia FD.

4. CONCLUSÕES

As características literárias de ambos os potenciostatos estão em consonância com as expectativas ao utilizar os 10 bits padrão do Arduino. Os testes foram aplicados mais de uma vez e o comportamento se manteve inalterado, para plotagem de gráficos, a varredura cíclica imposta ao resistor foi realizada em apenas um ciclo. É importante ressaltar que a versão FD resultou em uma notável redução dos ruídos naturais inerentes, na qual continuaram presentes em testes com o potenciostato SE.

O potenciostato FD possui uma complexidade maior, porém maior confiabilidade em comparação ao potenciostato SE. No entanto, a vantagem reside na capacidade de reutilizar o mesmo código no microcontrolador para ambos os circuitos, sendo necessário apenas ajustar as constantes de offset para cada topologia após a calibração. A coleta de dados reais que desejamos monitorar continua em andamento, bem como os testes em campo, delineados ao monitoramento ambiental aquático.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARAPUÇA, H. M.; MONTERROSO, S. C.; ROCHA, L. S.; DUARTE, A. C. **Simultaneous determination of copper and lead in seawater using optimised thin-mercury film electrodes in situ plated in thiocyanate media.** Talanta, [S.l.], v.64, n.2, p.566–569, 2004.

DINÇKAYA, E. et al. **Development of an impedimetric aflatoxin M1 biosensor based on a DNA probe and gold nanoparticles.** Biosensors bioelectronics, [S.l.], v.26, 03 2011.

GALVANI, L. **De viribus electricitatis in motu musculari.** Commentarius. De Bonoensi Scientiarum et Artium Intituo atque Academie Commentarii, [S.l.], v.7, p.363–418, 1791.

MARTIN, S. M.; GEBARA, F. H.; STRONG, T. D.; BROWN, R. B. **A Fully Differential Potentiostat.** IEEE Sensors Journal, [S.l.], v.9, n.2, p.135–142, 2009.

PARRON, L. M.; MUNIZ, H. d. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água.** , [S.l.], 2011.

RAMOS MEJÍA, A.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, A. **Un equipo de electroanálisis base Arduino y su uso en laboratorios de bajo costo** Educación Química, 33(4). , [S.l.], 2022.