



Prof. José Maurício Schneedorf Ferreira da Silva

Instituto de Ciências Biomédicas

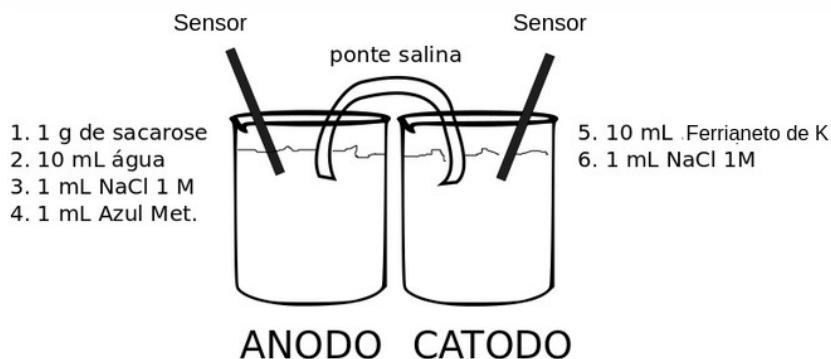
Dept. de Bioquímica

Biocélula a Combustível Interfaceada com Arduino (serial ou IoT)

Este protocolo objetiva avaliar a operação de uma biocélula a combustível conectada com placas Arduino. Esse dispositivo permite verificar a geração de eletricidade a partir do fluxo de elétrons que são gerados pela oxidação de uma fonte de carbono pelo metabolismo celular, onde participam ativamente mediadores endógenos (*NADH*, por exemplo) e exógenos (*azul de metileno*). Para o modo *Wifi* é necessário um módulo adicional homônimo, ou uso de placa condizente (ex: Arduino Uno R4 Wifi, ESP32).

Célula eletroquímica

1. De posse da célula eletroquímica montada com 2 bêqueres unidos, adicione sequencialmente os compostos 1 a 6 em cada câmara (anodo, catodo), conforme o esquema que segue. Nota: antes de adicionar o azul de metileno, garanta a dissolução da sacarose.



Esquema de construção da célula eletroquímica para o experimento

2. Introduzir um sensor de aço inox em cada bêquer.

3. Com auxílio do par de cabos e jacarés, conectar os sensores ao Arduino conforme segue:

1. Sensor do anodo (biocélula) - GND (Arduino);
2. Sensor do catodo (biocélula) - Terminal A0 (Arduino)

4. Submergir as extremidades da *ponte salina*, uma em cada câmara da biocélula.

Conexões com Arduino ou Multímetro Digital com bluetooth

Para o monitoramento da produção de energia em tempo real com placa Arduino, existem algumas alternativas:

* "Por Wifi com celular Android/iOS (dados e gráfico)" - Opção mais simples, se rede estável.

1. Conectar o Arduino
2. Carregar o sketch
3. Abrir o Serial Monitor
4. Opcional: apertar Reset por ~2s no Arduino
5. Acessar a rede específica no celular
Em Wifi, escolher Biocel-no. da placa Arduino (Ex: Biocell-02)
Senha: 12345678
6. Abrir o link <http://192.168.4.1>

Deverá aparecer o gráfico de potencial X tempo

* "Por celular Android com cabo (com Arduino; somente dados)" - Opção mais simples.

Mas é necessário trazer o cabo de carregamento, e instalar o app "Serial USB Terminal" previamente (Google Play - https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_usb_terminal&hl=pt_BR).

Basta o cabo e o app pra obter os dados do Arduino. Os dados em tempo real são apresentados na sequência.

* "Por notebook, com IDE do Arduino (dados e gráfico)":

Mais simples das opções com notebook, embora 1) necessite computador, e 2) o gráfico apresenta apenas os dados de intervalo fixo, e 3) requer compilar

o sketch na IDE.

1. Baixe e instale a IDE do Arduino (<https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/getting-started/ide-v2-downloading-and-installing>).
2. Carregue o sketch (Arduino_biocel.ino)
3. Compile o sketch
4. Use o Serial Monitor (dados) ou Serial Plotter (gráfico)

* "Por notebook com Windows (com Arduino, dados e gráfico)":

Mais elaborado pra computador, mas permite a personalização do gráfico, como sua visualização desde o tempo inicial do experimento.

Instalar previamente o Python no Windows 10. Para isso:

1. Baixe o instalador oficial em: <https://www.python.org/downloads/windows/>
2. Clique em "Download Python 3.x.x" (a versão mais recente do Python 3).
3. MUITO IMPORTANTE: Durante a instalação, marque a opção "Add Python to PATH"
(sem isso, você não conseguirá rodar python no terminal do Windows).
4. Depois, clique em "Install Now".
5. Verifique se funcionou; após a instalação, pressione Win + R, digite cmd e pressione Enter. No terminal, digite: python --version (se tudo estiver certo, aparecerá algo como: Python 3.12.1).
6. Tudo pronto, basta usar um app do JSPlotly específico pra registro de dados e gráfico (na hora da prática eu passo).

OBS: também pode ser realizado com notebook com Linux, de forma similar, ou seja, por instalação de Python.

7. Na pasta em que encontra-se o aplicativo JSPlotly para monitoramento, abrir um CMD se Windows ou Terminal se Linux, e digitar: "python3 -m http.server"
8. Abrir o aplicativo JSPlotly no Chrome (nunca no Firefox);
9. Conectar o Arduino na porta do notebook pelo botão "Conectar".

Ambos dados e gráfico devem ser apresentados em tempo real.

* "Por multímetro digital com Bluetooth (sem Arduino; dados e gráfico)"

O iOS de celulares iPhone não tem suporte nativo a comunicação serial direta

via USB para microcontroladores, como o Arduino. A opção é registrar os dados

por aplicativo de um multímetro com conexão Bluetooth. Para isso, precisa

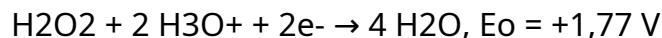
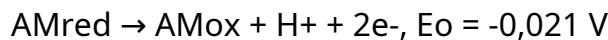
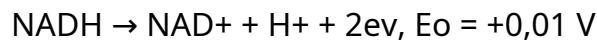
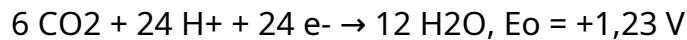
instalar previamente o app "Owon Multimeter BLE" (<https://apps.apple.com/br/app/ownon-multimeter-ble/id1049176636>) .

OBS: mesmo procedimento para acesso pelo Multímetro a celulares Android por bluetooth. Nesse caso, baixar e instalar "Owon iMeter" (Google Play - <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ownon.imeter>) .

Monitoramento do sinal

1. Após as conexões, aguardar a estabilização do sinal elétrico no instrumento utilizado por cerca de 5 min.
2. Para a amostra biológica, pesar 1 g de fermento fresco (*Sacharomyces cerevisiae*).
3. Após estabilização do sinal (anotar o valor), dissolver completamente o fermento pesado na **câmara anódica** da biocélula, com auxílio de um bastão de vidro.
4. Anotar o potencial elétrico de 2 em 2 minutos até 30 minutos, agitando a suspensão celular de vez quando entre as medidas.
5. Construir um gráfico de tempo (min) por diferença de potencial (mV), ou utilizar os valores fornecidos por um dos aplicativos (Wifi, cabo serial, bluetooth).
6. Anotar o potencial máximo produzido pela biocélula.
7. Para testes com resistores (simulação de curva de polarização e curva de potência), insira um resistor (20k a 220k, Ohm) entre GND e A0 da placa Arduino (ou entre ponta preta e vermelha do multímetro), e anote o valor após estabilização. As curvas de polarização e de potência são construídas variando-se o valor de resistores.

8. A transferência de elétrons que ocorre da oxidação de sacarose para o peróxido de hidrogênio, passando pelo NADH e o azul de metíleno (AM), com base nas reações que segue:



Material:

- 2 sensores de aço inox (“ferrinho” de dentista, 1mm) por dupla;
- 1 conjunto de 2 bêqueres de 15 mL conjugados por fita adesiva por dupla (célula eletroquímica);
- 2 tubos de ensaio pequenos e suporte (dupla);
- Azul de metíleno 5 mM (0,38 g em 100 mL de água) – 5 mL por dupla;
- Fermento biológico fresco (uns 50 g pra turma);
- Sacarose e espátula para pesagem;
- NaCl 1 M (24 g em 300 mL de água) – 5 mL por dupla;
- H₂O₂ 5% (200 mL) ou Ferricianeto de K (15 mM) - 15 mL por dupla;
- Multímetro e pontas de provas