



Application Note AN-EC-038

Medição de condutividade iônica utilizando tecnologia de serigrafia

Estudo de águas potáveis analisadas com o eletrodo serigrafado 11COND

A condutividade iônica (σ) é um fator fundamental na avaliação de diferentes soluções líquidas. Por exemplo, esse parâmetro está diretamente relacionado à salinidade da água, podendo também indicar a quantidade de poluição presente [1]. Por isso, é extremamente importante calcular σ corretamente. No entanto, ao utilizar sondas de condutividade convencionais, geralmente são necessários grandes volumes de líquido, que nem sempre estão disponíveis. Além disso, podem surgir problemas de contaminação com certos tipos de

amostras, danificando a sonda. Considerando essas desvantagens, esta Nota de Aplicação apresenta uma solução descartável baseada em eletrodos serigrafados. O eletrodo serigrafado 11COND (SPE) é utilizado para obter o valor de σ de diferentes amostras de água potável, usando apenas 100 μ L de cada tipo. Os resultados são comparados com os obtidos por uma sonda de condutividade convencional, demonstrando a adequação e a reprodutibilidade dessa solução descartável.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A medição de σ está diretamente ligada ao movimento dos íons (polarização) quando um campo elétrico é aplicado. Nessa condição, os íons se movem sob uma resistência, que é utilizada para calcular a condutividade da solução.

Experimentalmente, costuma-se empregar a espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS), já que um potencial DC com determinada oscilação AC é aplicado, gerando o movimento dos íons. Se a frequência escolhida for alta o suficiente para considerar apenas a parte resistiva da solução (isto é,

$$\sigma (\mu S \cdot cm^{-1}) = \left(\frac{1}{|Z| - r_0} \right) \cdot K_{cell} \cdot 10^6$$

Figura 1. Equação empregada para o cálculo da condutividade iônica nesta Nota de Aplicação.

INSTRUMENTAÇÃO E SOFTWARE

Nesta Nota de Aplicação, oito amostras diferentes de água potável foram analisadas, incluindo água de torneira e sete marcas comerciais de água mineral engarrafada. A montagem experimental inclui os eletrodos 11COND (**Figura 2**). Esses eletrodos são compostos por um substrato cerâmico com dois círculos de carbono serigrafados, cercados por tinta dielétrica.

O multipotenciostato μ Stat-i M8One (**Figura 3**), com tecnologia de impedância, foi utilizado em todas as medições. Essa configuração permitiu que todos os experimentos de EIS fossem realizados simultaneamente para todas as amostras de água mencionadas.

comportamento ôhmico), o módulo de impedância ($|Z|$) corresponde basicamente à resistência da solução [2].

Além desse valor, as dimensões da célula, representadas pela constante de célula (K_{cell}), também devem ser consideradas. Em sondas convencionais, esse parâmetro representa a relação comprimento/área da célula onde σ é medido.

A **Figura 1** mostra a fórmula que deve ser empregada ao utilizar os SPEs 11COND.

A resistência basal (interna) do eletrodo é representada pelo termo r_0 . Observe que a temperatura deve ser considerada constante a 25 °C para que essa equação seja estritamente válida. A faixa de condutividades para o uso deste eletrodo vai de 84 $\mu S \cdot cm^{-1}$ a 111,8 $mS \cdot cm^{-1}$.



Figura 2. Um eletrodo serigrafado 11COND.



Figura 3. O potenciostato multicanal μ Stat-i M8One.

A configuração de software utilizada neste estudo é mostrada na **Figura 4**. Observe que tanto freqBegin quanto freqEnd têm o mesmo valor (10 kHz), já que apenas o valor de $|Z|$ nessa frequência é necessário. Além disso, o experimento é realizado no valor de potencial de circuito aberto (OCP).

Primeiro, os líquidos devem ser termostatizados a 25 °C antes de iniciar o experimento. Em seguida, após concluir a montagem e a configuração do software, uma gota de 100 μL de cada amostra é colocada sobre os eletrodos, cobrindo os dois círculos.

Ao final do ensaio de EIS, o valor de $|Z|$ é extraído dos dados de impedância. Usando esse valor, r_0 e K_{cell} (fornecidos na caixa do SPE), junto com a equação mostrada na **Figura 1**, as diferentes condutividades podem ser calculadas em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

EIS Potentiostatic
Node 1
Options

- ☐ Leave cell on
- ☐ Standby potential 0.000 V
- ☐ Corrosion analysis
- Num. of channels 1

Pretreatment

Econd	0	V
tcond	0	s
Edep	0	V
tdep	0	s
tequil	3	s

Measurement

freqBegin	10000	Hz
freqEnd	10000	Hz
Eamp	10	mV (RMS)
freqNum	1	-

Frequency Step: Logarithmic
Wave Type: 1 sine

Multichannel Parameters (EIS Potentiostatic)

Measurement of channel 1

- Current range: Auto
- Apply Potential: V_{OCP}
- dE/dt lim: 5 uV/s
- tmaxOCP: 30 s

Figura 4. Configuração do software DropView 8400M necessária para realizar o experimento de EIS descrito.

RESULTADOS

A Figura 5 mostra os resultados deste estudo, junto com as barras de erro associadas a cada tipo de amostra. Os valores obtidos com o eletrodo 11COND e com a sonda de condutividade convencional são muito semelhantes, comprovando a adequação do uso do SPE. Cada amostra de água foi analisada com três SPEs diferentes para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

Considerando o pequeno volume necessário para o experimento e o caráter descartável dos eletrodos, o 11COND oferece uma alternativa prática e simples para medir a condutividade iônica em soluções moderadamente concentradas.

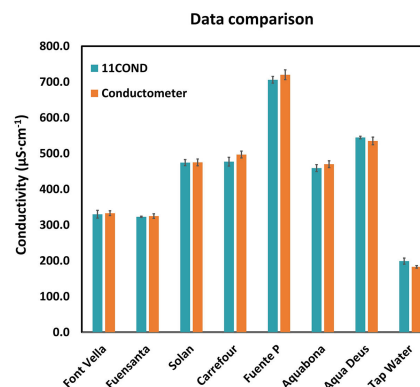


Figura 5. Comparação de dados obtida com o eletrodo 11COND da Metrohm DropSens (verde) e com uma sonda de condutividade convencional (laranja).

CONCLUSÃO

Esta Nota de Aplicação demonstra como o eletrodo serigrafado 11COND mede de forma eficaz os valores de condutividade iônica de diferentes águas potáveis. Este estudo inclui sete marcas comerciais de água mineral engarrafada, além de água de torneira, obtendo resultados praticamente indistinguíveis entre o SPE 11COND e uma sonda de condutividade

convencional. Esses resultados servem como prova de conceito, demonstrando a confiabilidade e a praticidade do eletrodo 11COND para medições de condutividade, especialmente em pequenos volumes de amostra, oferecendo uma vantagem clara sobre condutímetros convencionais, que exigem volumes significativamente maiores.

REFERÊNCIAS

1. R.B. Baird; E.W. Rice; A.D. Eaton. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd Edition, 23rd ed.; American Public Health Association: Washington DC.
2. Lazanas, A. Ch.; Prodromidis, M. I. Electrochemical Impedance Spectroscopy – A Tutorial. *ACS Meas. Sci. Au* **2023**, 3 (3), 162–193. <https://doi.org/10.1021/acsmasuresciau.2c00070>.

NOTAS DE APLICAÇÃO RELACIONADAS

[AN-T-076](#) Conductivity, pH value, alkalinity, hardness and chloride in tap water

[AN-I-032](#) Dissolved oxygen, conductivity, and pH value in liquid dairy products

CONTACT

Metrohm Brasil
Rua Minerva, 161
05007-030 São Paulo

metrohm@metrohm.com.br



μStat-i MXONE multichannel impedance analyzer

Multichannel impedance analyzer for multi-user and multidisciplinary electrochemical research that can be designed according to your needs



Screen-printed carbon electrode for conductivity measurements

Disposable screen-printed electrodes designed to measure conductivity aqueous media in a typical range of $84 \mu\text{S cm}^{-1}$ to 111.8 mS cm^{-1} . Conductivity sensors are recommended for working with microvolumes and are ideal for decentralized and 'in situ' assays.

Recommended instructions to work with these SPEs:

- Let the sample temper at 25°C to obtain accurate measurements
- Place $100 \mu\text{L}$ onto the cell with the aid of a micropipette
- Measure $|Z|$ in ohm at 10 kHz with an EIS potentiostat
- Subtract resistance value, r_0 , in ohm to the $|Z|$ to correct contribution of the electrodes

If $|Z| = 3638 \Omega$ and $r_0 = 100 \Omega$ then

$$|Z| - r_0 = 3638 \Omega - 100 \Omega = 3538 \Omega$$

- Calculate inverted value and multiply by one million to achieve conductivity in μS

$$(1/3538 \Omega) \times 1000000 = 283 \mu\text{S}$$

- Multiply the value by the K_{cell} to obtain final result in $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$

If $K_{\text{cell}} = 5 \text{ cm}^{-1}$ then

$$283 \mu\text{S} \times 5 \text{ cm}^{-1} = 1413 \mu\text{S cm}^{-1}$$