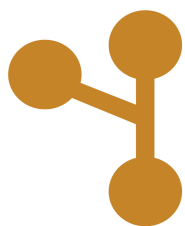


REVISTA TÉCNICO - CIENTÍFICA



# robótica®

automação  
controlo  
instrumentação



## ARTIGO CIENTÍFICO

- Robot for measurement of human temperature body

## SOCIEDADE PORTUGUESA DE ROBÓTICA

- Unir para crescer: a força da comunidade robótica portuguesa

## INSTRUMENTAÇÃO

- Sensores de condutividade

## ELETRÓNICA INDUSTRIAL

- Eletrónica (29.ª Parte)

## MESA REDONDA SOBRE GÉMEOS DIGITAIS: REVOLUÇÃO NA SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

- Como é que os Gémeos Digitais podem otimizar processos industriais em tempo real?
- De que forma os Gémeos Digitais podem contribuir para a redução dos custos operacionais e o aumento da eficiência energética e automação?
- Quais os principais desafios na implementação de Gémeos Digitais na otimização de processos em ambientes industriais?
- Tirar partido da IA, do Machine Learning e dos digital twins para uma gestão sustentável da água
- Gémeos Digitais: revolução na simulação e otimização

## REPORTAGEM

- Inspiração para fabricantes de máquinas e instalações
- Futuro energético e sustentável
- F.Fonseca na EMAF 2025: a inovação continua!
- HANNOVER MESSE 2025: impulso para a indústria

## O QUE VER NA EMAF

- EMAF 2025: 20 edições a projetar o futuro da indústria
- Notícias dos expositores
- Projetos concorrentes

**FFONSECA®**  
SOLUÇÕES DE VANGUARDA

## Qualidade garantida com visão artificial e IA.

Inspector83x

\_ Câmara inteligente



[ffonseca.com/sick](http://ffonseca.com/sick)

**SICK**  
Sensor Intelligence.

# Sensores de condutividade

## 1. CONDUTIVIDADE DE UMA SOLUÇÃO

Dá-se o nome de solução a uma mistura de várias substâncias químicas, componentes dessa solução. Interessa considerar as soluções constituídas por misturas homogéneas. Uma mistura homogénea é aquela cuja composição não varia de ponto para ponto. Uma solução constitui uma única fase, *i.e.* uma porção de matéria homogénea. Uma solução pode ser sólida, líquida ou gasosa. Relativamente às soluções líquidas podem-se considerar soluções em que ambos os componentes são líquidos (*e.g.* álcool etílico e água), outras em que um componente é gasoso (*e.g.* dióxido de carbono em água) ou então sólido (*e.g.* cloreto de sódio e água).

Quando, por exemplo, se dissolve cloreto de sódio em água obtém-se uma solução aquosa de cloreto de sódio, *i.e.* uma mistura homogénea; não é possível, na solução, distinguir o cloreto de sódio da água. Por contraste, quando se adiciona óleo à água não se obtém uma solução química, uma vez que a mistura não é homogénea, podendo sempre distinguir-se zonas em que só há óleo de zonas em que só existe água (se necessário recorrendo ao microscópio).

Quando se trata da mistura de um sólido ou de um gás que se dissolve num líquido, ao primeiro, o que se dissolve, chama-se soluto e ao segundo, o líquido onde se dá a dissolução, dá-se o nome de solvente. Numa solução aquosa de cloreto de sódio, este é o soluto, sendo a água o solvente; como curiosidade note-se que o mar é a maior solução aquosa que se conhece.

Quando os dois componentes da solução são líquidos, é norma considerar-se como solvente o que existe em maior quantidade. Se existirem em quantidades iguais considera-se como solvente o componente mais volátil.

Para que duas substâncias em presença formem uma solução é necessário que se estabeleçam entre as suas moléculas forças suficientemente fortes para vencerem as forças intermoleculares inicialmente existentes entre as partículas de cada uma das substâncias a misturar.

Determinados compostos, quando dissolvidos, separam-se em iões. É o caso do cloreto de sódio que, quando dissolvido em água, dá origem a dois iões: o ião positivo  $\text{Na}^+$  e o ião negativo  $\text{Cl}^-$ . As soluções resultantes chamam-se electrólitos. Os iões positivos são moléculas das quais se libertaram electrões, sendo os iões negativos moléculas que capturaram electrões. O número de electrões perdidos ou adquiridos por um ião é representado simbolicamente pela mesma quantidade de sinais + ou - a seguir ao símbolo químico. Assim,  $\text{Na}^+$  representa um ião positivo resultante de um átomo de sódio que perdeu um electrão. Aos iões positivos dá-se também o nome de catiões (por serem atraídos pelo cátodo) e aos iões negativos dá-se o nome de aniões (por serem atraídos pelo ânodo).

Ao colocar dois eléctrodos polarizados dentro de uma solução, os iões positivos ou catiões deslocam-se para o cátodo (negativo) e os iões negativos ou aniões deslocam-se para o

ânodo (positivo). Estabelece-se assim uma corrente eléctrica e a liberdade que os iões têm em migrar é medida pela condutividade da solução, *i.e.* pela intensidade desta corrente eléctrica, se os eléctrodos forem submetidos a uma tensão eléctrica constante.

Os electrólitos fortes têm um grau de dissociação elevado, logo uma condutividade alta. Os electrólitos fracos têm uma condutividade baixa.

A condutividade de uma solução segue a lei de Ohm, tanto em corrente contínua como em corrente alternada, excepto para tensões e frequências muito elevadas. Se aos eléctrodos mergulhados numa solução for aplicada uma d.d.p.  $U$ , a corrente  $I$  que a atravessa é dada por

$$I = GU \quad (1)$$

À grandeza  $G$ , inverso da resistência ( $G=1/R$ ), dá-se o nome de condutância do conjunto formado pela solução e pelos eléctrodos.

No caso da condução da corrente eléctrica se efectuar apenas entre o volume limitado por dois eléctrodos, cada um de área  $A$ , à distância  $\ell$  um do outro, a condutância pode ser obtida pela expressão

$$G = \sigma \frac{A}{\ell} \quad (2)$$

Os parâmetros  $A$  e  $\ell$  caracterizam os eléctrodos. O parâmetro  $\sigma$  caracteriza o electrólito e dá-se-lhe o nome de condutividade da solução.

A expressão (2) é inversa da que relaciona a resistência eléctrica  $R$  de um condutor de comprimento  $\ell$  e secção recta  $A$  com a sua resistividade  $\rho$ , e que se representa esquematicamente na figura 1.

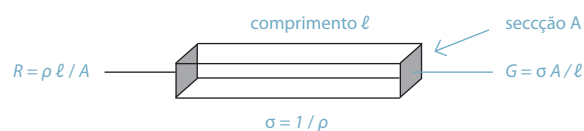


Figura 1. Resistência e condutância de um material óhmico.

No Sistema Internacional de Unidades, a condutividade exprime-se em siemens por metro ( $\text{S m}^{-1}$ ).

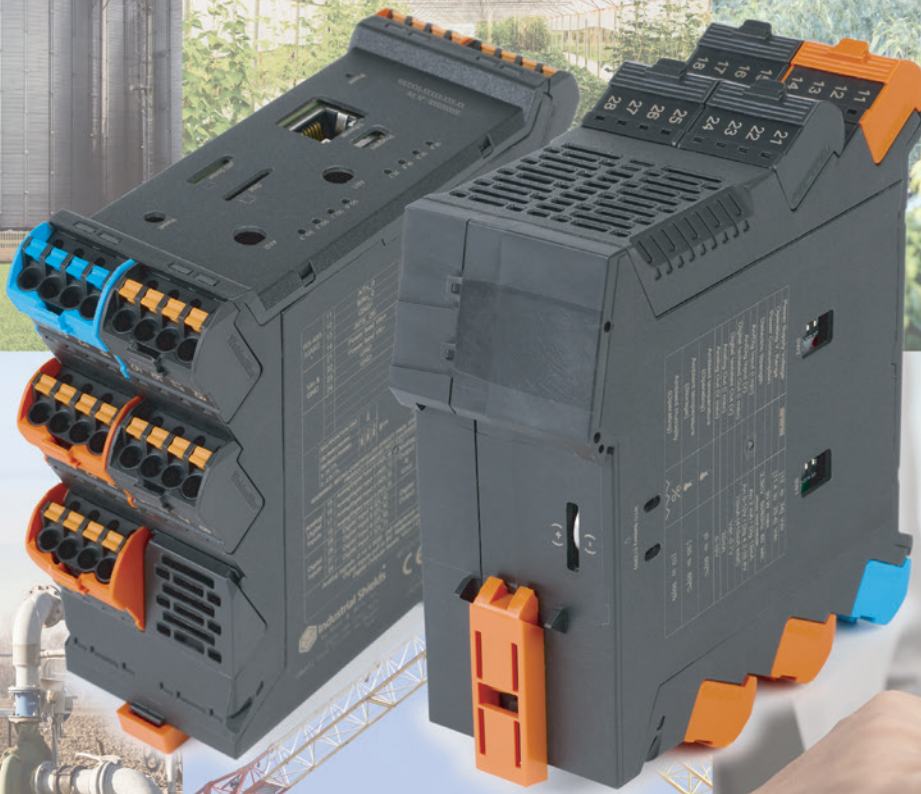
Repare-se que enquanto o pH de uma solução é devido à concentração de iões  $\text{H}^+$  (ou  $\text{H}_3\text{O}^+$ ), a condutividade é devida à concentração de todos os iões presentes na solução. Para obter o valor do pH mede-se uma d.d.p., para a determinação da condutividade faz-se circular uma corrente eléctrica.

A condutividade de uma solução depende de muitos factores, entre eles do solvente, do soluto, da concentração e da temperatura.

MONITORIZAÇÃO DE SILOS

MONITORIZAÇÃO DE ESTUFAS

AGRO INTELIGENTE



BOMBA DE REGA

DIGITALIZAÇÃO  
DE GUINDASTES

DIGITALIZE O SEU SISTEMA

## Weidos Device

### Microcontrolador IoT de código aberto baseado em Arduino MKR1010/ESP32

- As ferramentas integradas de código aberto permitem soluções IoT flexíveis e duráveis.
- A consistência dos dados e dos processos é garantida, graças à digitalização e às possibilidades de diferentes sistemas de comunicação: NB-IoT, LORA.
- Combine hardware e software para criar monitorização personalizada e soluções digitalizadas.
- O nosso conhecimento/experiência em hardware, engenharia e software permite-nos oferecer as soluções mais eficientes no mercado.
- Soluções de software de acordo com o nosso princípio de "design orientado à segurança" e soluções de hardware seguras graças ao chip criptográfico integrado.
- Gestão de dados com eficiência e rapidez. Monitorize, conheça e interaja com os dados do seu sistema a partir de qualquer ponto.



Mais informação  
[www.weidmuller.pt](http://www.weidmuller.pt)

**Weidmüller** 

## 2. ELÉCTRODOS DE MEDIDA

Nos sensores de condutividade há duas formas de colocar os eléctrodos: em contacto com a solução ou sem contacto com esta.

### 2.1. Eléctrodos em contacto com a solução

Para efectuar a medida da condutividade de uma solução aplica-se aos eléctrodos uma tensão alternada, com a frequência normalmente compreendida entre os 50 Hz e os 10 000 Hz. A corrente que atravessa o electrólito será alternada e da mesma frequência. A utilização de correntes alternadas destina-se a evitar fenómenos de polarização nos eléctrodos.

Normalmente o sistema de medida da corrente utiliza uma ponte de medida, em que um dos ramos efectua a compensação da capacidade existente entre os eléctrodos. Para obter uma precisão melhor do que 1% do valor medido é conveniente utilizar uma resistência entre eléctrodos compreendida entre os 500  $\Omega$  e os 10 000  $\Omega$ . Da expressão (2), notando que  $G=1/R$ , obtém-se

$$\sigma = \frac{1}{R} \frac{\ell}{A} = \frac{\theta}{R} \quad (3)$$

Ao parâmetro

$$\theta = \frac{\ell}{A} \quad (4)$$

chama-se constante da célula de medida.

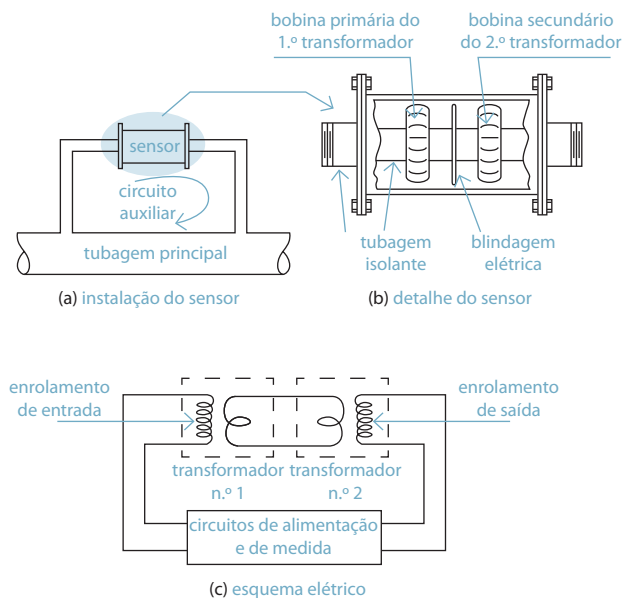
Quando a solução é má condutora, *i.e.* possui baixa condutividade  $\sigma$ , de acordo com a equação (2) e por forma a se obter uma condutância  $G$  mais elevada, os eléctrodos devem ser colocados próximos um do outro ( $\ell$  pequeno) e a sua área em presença  $A$  deve ser elevada. A constante da célula  $q$  toma, nestes casos, valores compreendidos entre 0,1  $m^{-1}$  e 100  $m^{-1}$ . Para soluções de condutividade  $\sigma$  elevada,  $\ell$  tem de ser de valor elevado e  $A$  de baixo valor, obtendo-se para  $q$  valores entre 100  $m^{-1}$  e 10 000  $m^{-1}$ .

A expressão (4) é uma forma simplista de apresentar o conceito de constante da célula. Nos sensores reais, por razões diversas, entre as quais o ser necessário que a solução se escoe pelo percurso entre os eléctrodos sem que estes originem perdas de carga significativas, o conjunto eléctrodos+electrólito não tem uma forma geométrica simples como a que se indica na Figura 1, sendo sempre necessário efectuar a sua calibração para determinar o valor da constante da célula. Para este efeito utiliza-se uma solução de condutividade conhecida.

### 2.2. Eléctrodos sem contacto com a solução

Se o sensor for destinado a um ambiente industrial, com temperaturas elevadas e para medidas em soluções corrosivas, é de toda a vantagem utilizar-se um modelo sem eléctrodos em contacto com a solução. Aqui o sensor é constituído por duas bobinas; numa delas força-se uma corrente eléctrica que dá origem a uma corrente induzida na solução, servindo a segunda bobina para detectar essa corrente. Na Figura 2 (a) mostra-se a forma de instalar o sensor: normalmente efectua-se uma derivação da tubagem principal, a qual deverá ser efectuada em material isolante. Note-se que devido ao princípio de funcionamento não é suficiente que o revestimento interior da tubagem seja isolante, mas também terá de o ser toda a tubagem, pelo

menos na zona de instalação do sensor. Na Figura 2 (b) mostra-se o detalhe do sensor. Há duas bobinas em volta da tubagem contendo o fluido a medir. Uma delas constitui, juntamente com o fluido, o primário de um transformador, dando origem a correntes induzidas no fluido. A segunda bobina constitui o secundário de outro transformador, responsável por captar as correntes em circulação no interior do fluido da tubagem. Finalmente, na Figura 2 (c), apresenta-se o esquema eléctrico do circuito assim realizado.



**Figura 2.** Eléctrodos sem contacto com a solução: instalação do sensor (a), detalhe do sensor (b) e esquema eléctrico (c).

Há uma grande quantidade de variedades de sensores de condutividade. Uma vez que a condutividade de uma solução depende da temperatura, quase todos os modelos efectuem a medida da temperatura da solução e apresentam o valor da condutividade referida a uma determinada temperatura. O sinal de saída é o sinal normalizado de 4 mA a 20 mA, um sinal HART<sup>1</sup> ou um sinal completamente digital, estando muitas vezes o transmissor e o elemento primário colocados fisicamente na mesma unidade. Quase todos estes sensores são inteligentes, dispondo de um vasto conjunto de diagnósticos e de outras funções.

### 2.3. Medida de outros tipos de grandezas

O sensor de condutividade é utilizado indirectamente para efectuar a medida de determinadas características de uma solução que estão relacionadas com a condutividade.

Dá-se como exemplo a utilização de um sensor de condutividade para a medição da concentração de um certo soluto numa solução. Uma vez que a condutividade de uma solução depende da concentração desta última e da sua temperatura, é possível obter, para um determinado valor da temperatura, uma relação entre a condutividade e a concentração. Normalmente esta relação é linear para a zona de interesse no processo industrial. A compensação de temperatura é aqui essencial. ❗

1 Acrónimo do inglês "Highway Addressable Remote Transducer" (Via de Dados Endereçável por Transdutor Remoto).