

\* exemplo: transforma uma variação num sinal que já nos permite ter e tirar informações de forma + adequada.

21 | 02 | 2022



## SENSORES INTEGRADOS

↳ Características dos Sensores } em geral } coisas abordadas nesta aula!  
↳ Princípios de transdução

ter em atenção que quando falamos de sensores, temos de conhecer a sua linguagem

### CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES

converte qualquer tipo de energia / sinal em energia elétrica ou qualquer grandeza

### HIKROSENSORES

sensores a escala micro

→ converte o mesmo tipo de energia

### TRANSDUTOR

→ convertem um tipo de energia num tipo de energia

"Existe algo que converte uma variável numera"

### SMART SENSORS

↳ sensor que inclui alguma eletrónica que lhe dá "inteligência", permitindo de uma determinada energia realida, tirar outra (ex: extensômetro → transforma uma deformação numa variável elétrica).

é quando ligamos alguma coisa com eletrónica para tirarmos alguma coisa dela.

△ Um smart sensor pode ser constituída por vários sensores. Quando falamos um sensor, temos que falar das suas características.

cada domínio tem características importantes

tipo elétrico, mecânico, ...

ou qualquer outra

sensibilidade

largura de banda

### SENSIBILIDADE

↳ unidade de saída ÷ pela unidade de entrada ou variável

em V, normalmente

(para podermos fazer + coisas inteligentes)

→ no gráfico

se for um curva, que diz que o sensor vai ter sensibilidades ≠ em ≠ regiões

exemplo: inclinômetro =  $\frac{V}{\text{grau}}$  → grau de inclinação

△ nós queremos uma sensibilidade alta!

sempre

NOTA: sensibilidade ≠ resolução

**GAMA DINÂMICA** → gama na qual o usuário consegue medir (exemplo: termômetros → se quisermos medir  $30^{\circ}$ , precisamos que a gama seja de 0 a  $30$  fte menos).

→ isto é efetivamente a quantidade de variável que consegue medir  
 LIMITE DE DETECÇÃO (\*mínimo valor da variável que consegue medir\*)

↳ ≠ de sensibilidade !! Queer diz que, que o sensor tem um limite de detecção muito baixo porque o mínimo valor da variável que consegue medir é muito baixo.

medida de um (ppm) ou (ppb)  $\rightarrow$  partes por bilhão  
partes por milhão

## RESOLUÇÃO

↳ característica dos sensores digitais: Pequena variação que consegue ser detectada pelo sensor.

em vez sentido falas visto no domínio analógico  
 Ter em atenção que pode ser relacionada ao limite de detecção.

PRECISÃO  $\leftarrow$  as armadilhas  
que são?

→ esta ligada a exatidão

capacidade da variável

capacidade de  
remover mede várias  
vezes valores e eles  
estarem sempre  
próximos uns dos

que o sensor mede corresponde  
aquilo que ele realmente devia  
medir

LARGURA DE BANDA

ma entrada

↳ Para medir em corrente alternada, precisamos de volter até que frequência consegue medir corretamente

use  $f$  em  $\mathcal{C}^1$  e  $f$  contínua a unidade,  $\bar{m}$  integral para cada  $u$  de  $\mathcal{C}^1$ .

gama de frequências que conseguimos medir corretamente

## LINEARIDADE

↳ é o ideal. A saída em relação à entrada está representados por uma reta

↳ ou seja, representa-se a saída do sensor unitária de  
seu descrito por uma linha.





→ todas elas!!

→ tratar características através num datasheet do sensor!!



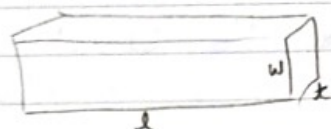
## SENSORES MECÂNICOS

### PIEZORESISTIVIDADE

→ efeito que alguns materiais apresentam  
têm uma variação da resistividade  
em função da pressão a que  
estão sujeitos.

ex: extensómetros

do modo simplista, temos uma barra condutora:



a sua resistência é dada  
por:  $R = \frac{\rho l}{A}$

comprimento  
do condutor

área de  
secção do  
condutor  
 $A = wt$

característica ← resistividade  
intrínseca do material  
depende do material

pode ser vista como uma

linha do extensómetro (que tem aquela R)

Cada "linha" do extensómetro tem a resistência acima.

Sensibilidade → quando varia a resistência em  
relação ao comprimento da barra (em percentagem)  
percentual

fator de Gauge

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

isto vem de  $\frac{\Delta R/R}{\Delta l/L}$  percentual

variação da resistência sobre a deformação

Quando o verificarmos vamos ter que:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dl}{l} - \frac{dw}{w} - \frac{dt}{t}$$

todos estes fatores vão contribuir para o  
aumento/diminuição da resistência R

Como funciona o extensómetro?

→ quando é deformada (isto é, esticada), a barra vai  
ficar + comprimida, diminui A, vai haver uma  $\Delta R$ , que se deve à  $\rho$  e à  
 $\Delta w$ , mas também tem  $\Delta l$  e  $\Delta t$ . Todos estes fatores farão aumentar  
a resistência do material.

relacionado a isto está o facto de a  $\Delta L$  e de  $\Delta x$  dependerem de  $\Delta l$ .

Logo aplicado aqui temos o <sup>ou razão</sup> COEFICIENTE DE POISSON (dado do material)!

relaciona a alteração da área de secção  $\Delta A$  com o comprimento sobre a ação de uma força

Logo,

$$\frac{dR}{R} = \frac{dP}{P} + \underbrace{(\epsilon_1)}_{\text{variação}} + \nu \epsilon_1 + \nu \epsilon_1$$

↳ depende dos coeficientes e da elasticidade do material

efeito piezoresistivo  $\rightarrow \frac{dP/P}{\epsilon_1}$  } 2 fatores que contribuem  
alterações geométricas  $\rightarrow (1 + 2\nu)$  } para a sensibilidade do extensómetro.

Há materiais onde os dois fatores geométricos (mais acentuada), como os metais, e materiais em que depende mais a piezoresistividade, como o silício.

Podem ter vários formatos, dependendo da orientação da força a que estarão sujeitos.

Entre extensómetros preferencialmente ligam-se por

Ponte de Wheatstone

4 sensores ligam-se em ponte

e' 4x mais sensível

do que se usassemos apenas 1 sensor

$\rightarrow$  a variação de saída vai linear à entrada

ou seja, ganhamos + linearidade

o que facilita os cálculos

também reduz a sensibilidade à temperatura

a saída n' vai ser influenciada pelo aumento da temperatura porque este afeta os 4 sensores ao mesmo tempo (e por isso anulam-se). Assim, garante-se que o efeito de temperatura seja desconsiderado.

CONDUTIVIDADE  $\downarrow$   $\sigma$

se o material é +

ou - condutor

TCR

$\rightarrow$  quanto varia a resistência por um  $^{\circ}\text{C}$ .

é o inverso da RESISTIVIDADE  $\downarrow$   $\rho$

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

$\rho$ : ( $\Omega\text{m}$ )

$\sigma$ : ( $\text{S/m}$ )





diremos que é a variação da  
resistência no material

do silício: a piezoresistividade é muito mais devido  
as suas unidades!

o silício tem um GF entre 100-200 (muito  
superior aos outros, que varia entre 2-4)

⊕ sensibilidade, por exemplo, mas  
tem ⊖ linearidade.

PIEZOELETRICIDADE → produção de uma tensão elétrica (CE) quando  
sofre uma deformação.

→ são idênticas por causa de ser PIZO,  
mas estamos a falar na produção de um CE ou de  
uma tensão elétrica (ao contrário da anterior que era  
a resistividade). Exemplos: PZT (muito bom mas tem chumbo);  
nitreto de alumínio (não é tão bom mas não tem chumbo).

Crystals anisotropic → não têm centros de simetria  
(...)

vibram se aplicarmos

(ou pressure)

→ O silício também se tem muitas propriedades piezoeletricas, mas  
não valem muito a pena (normalmente, não se usa estas propriedades do  
silício), sendo + usado as suas propriedades piezoresistivas.

→ Quando se aplica uma deformação ao material,  
produz uma tensão elétrica nos seus terminais!

↓  
mas tem que haver um material condutor (??)

TÉCNICAS CAPACITIVAS → muito usadas em sensores de  
líquidos!

( $\epsilon_r$ ) → permissividade relativa do meio entre as placas

( $\epsilon_0$ ) → permissividade da área à volta (o ar, por exemplo)

(A) → área comum entre a placa de cima e de baixo  
→ capacidade do sensor

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

(d)

→ distância entre as 2 placas

→ Se as placas movem-se ↑ ou ↓, variamos d  
→ Se as placas movem-se ← ou →, variamos A  
→ Se o material entre placas muda, variamos  $\epsilon_r$

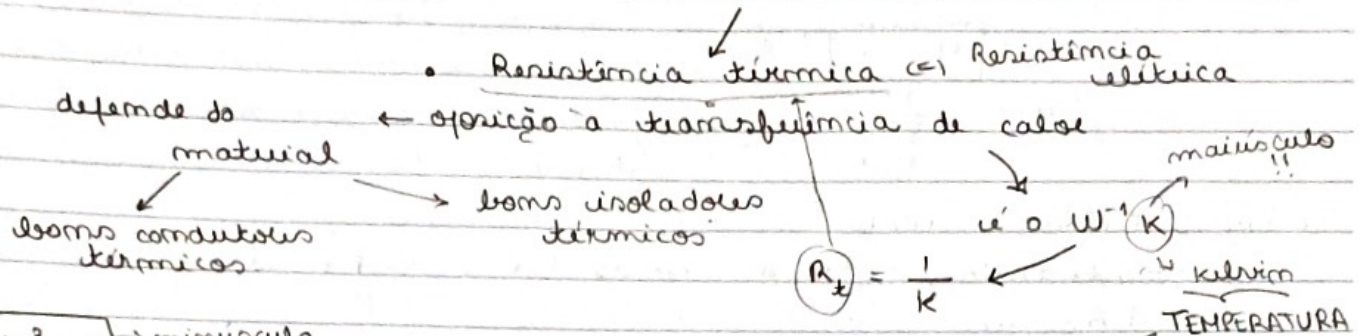
} muda a  
C

→ Também podemos usar estes piezoeletricos para formar ondas acústicas / sonoras, as quais embatem nos objetos.  
↓ (ex.: sonares)

também podemos usar na mistura de fluidos

## SENSORES TÉRMICOS

→ analogia da parte elétrica e da transmissão de calor.  
→ ver analogia entre térmicos e elétricos!!



$10^3 = k$   $\rightarrow$  minúsculo

quando há condutividade térmica

Fluxo do calor  $(\Rightarrow)$  corrente

quantidade de calor

fixa num determinado sítio  
( $\Rightarrow$  a tensão)

que passa de um lado para o outro

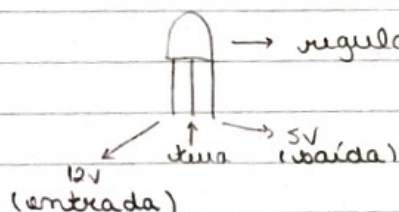
→ "quantos Joules são necessários para aquecer 1kelvin 1quilograma de material".  
CAPACIDADE TÉRMICA ( $\Rightarrow$  capacidade elétrica)

→ absorção do calor que é preciso para aumentar a temperatura

$$\rightarrow J \cdot kg^{-1} K^{-1}$$

energia que é precisa para aumentar 1K, 1kg.

## EXERCÍCIO $\rightarrow$ THERMAL EXAMPLES



→ regulador } podemos colocar uma gama de tensão que o regulador vai dar 5V (por exemplo)

150°C na junção  $\rightarrow$  isto quer dizer que os transístores lá dentro são de silício. Esta junção dos transístores deixa de funcionar a partir 150°C  
máxima temperatura de segurança

Temperatura ambiente  $\approx 40^\circ C$

regulador de tensão : eficiência 60%

→ qualquer que seja a entrada, a saída será a mesma, indefinida para aquele regulador.



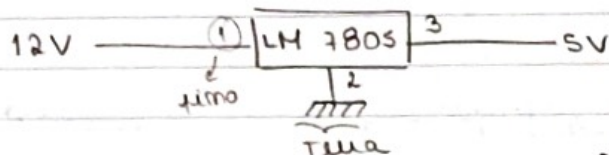


ver melhor!!

que ajuda a dissipar o calor

a) Máxima corrente no regulador sem o dissipador (parte metálica) ??  
sem ventar os  $150^{\circ}\text{C}$  e de forma a que ele não queime

O circuito elétrico convenientemente é:



2 → Vamos ver se com  $I = 1\text{A}$ , não excedemos. Qual será a corrente máxima sem que a temperatura atinja os  $150^{\circ}\text{C}$ ?

$$U_{1,3} = 12 - 5 = 7\text{V}$$

→ tensão entre os pinos 1 e 3

$$I = 1\text{A}$$

→ corrente no regulador

2

$$P = 7\text{W}$$

→ não vai dissipar o calor

Olhando para a tabela temos que:

$$P_D = \frac{T_{j\text{max}} - T_A}{\theta_{JA} + \theta_{JC}}$$

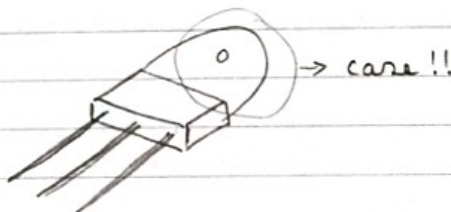
obtemos esta expressão pelo datasheet do componente

→ isto dá a resistência térmica entre a junção e o ar

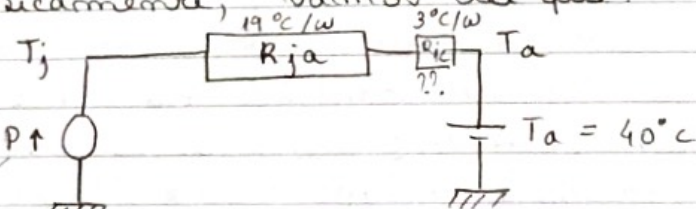
(sendo a tabela temos que  $19^{\circ}\text{C/W}$ )

$\theta_{JC}$  → é a resistência térmica entre a junção e o case (é a  $3^{\circ}\text{C/W}$ )

→ como metálica que está no regulador



Basicamente, vamos ter que:



$$P_D = \frac{150^{\circ} - 40^{\circ}}{19^{\circ} + 3^{\circ}} = 5,0\text{W}$$

potência dissipada e que gera calor

potência máxima que podemos lá colocar

logo,  $I \neq 1\text{A}$ :

$$P = UI \Rightarrow 5,0 = (12 - 5) \times I \Rightarrow I = 714\text{mA}$$

→ corrente máxima que podemos lá ter

descobriu-se que

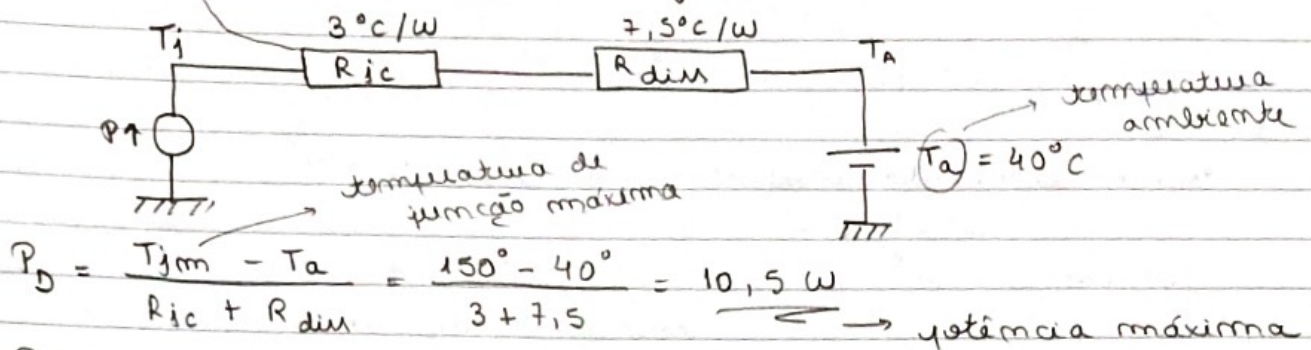
não se podemos colocar 1A de corrente

Deixamos de ter o Rja porque o caso está ligado ao dissipador e funcionarmos como um só, havendo a substituição.

U) e agora se usarmos um dissipador? qual será a corrente máxima permitida?

parte metálica com uma resistência térmica ( $= 7,5^\circ\text{C/W}$ )

Assim, o circuito térmico fica:



Para tirar a corrente máxima:

$$P = UI \Leftrightarrow 10,5 = (12 - 5) I \Leftrightarrow I = 1,5 \text{ A}$$

corrente máxima de forma a não ultrapassar os  $150^\circ\text{C}!!$

## EFEITO SEEBECK

↳ utiliza-se nos termopares. Quando um material é sujeito a uma  $\Delta T$  de temperatura, nos seus terminais surge uma variação na tensão elétrica!

(...)

Aproveitando este efeito, podemos juntar 2 materiais (ex.: níquel e cromo) que se complementam.

materiais

↳ Produz uma tensão com uma  $\Delta T$  de temperatura, se aquecermos um dos lados, um será positivo e outro negativo, criando uma tensão relacionada a  $\Delta T$  de temperatura

## EFEITO PELTIER

↳ em vez de medir a tensão elétrica, vamos aplicar uma corrente nos terminais que vai aumentar / diminuir a temperatura do material

(...)

aplicando estes 2 efeitos

tanto dá para aquecer como arrefecer um material

↳ Basicamente, forçamos a corrente a circular, onde uma das junções vai aquecer e a outra arrefecer.





ver cada característica com atenção!!

SENSOR DE RADIAÇÃO → ex.: sensor humano

↳ infravermelhos emitidos pelo corpo quente  
(+ quente ⇒ - comprimento de onda)

RADIAÇÃO → infravermelhos gerados por um corpo quente

(...)

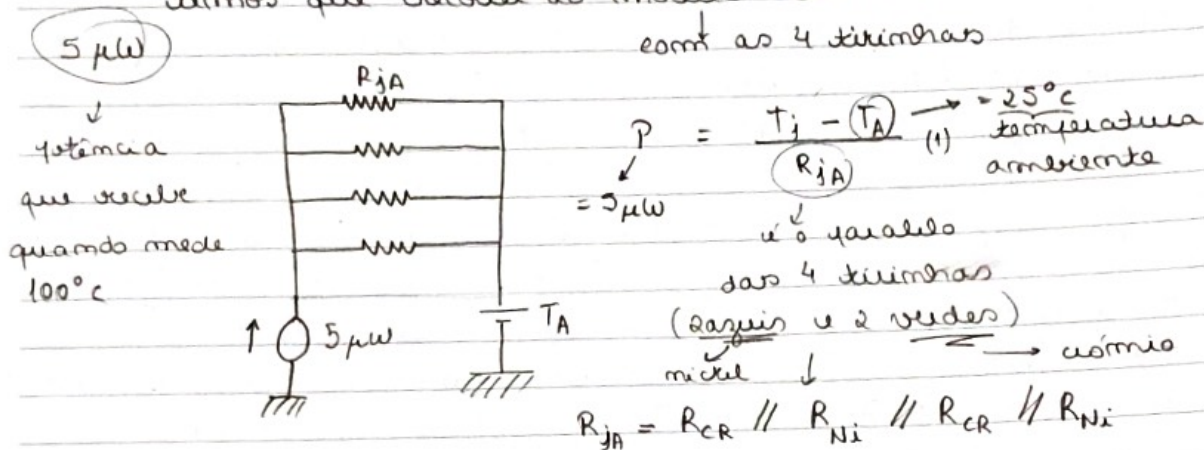
EXERCÍCIO → SENSOR DE RADIAÇÃO

a)

temperatura da superfície de absorção = ??

temos que recorrer ao modelo térmico:

com as 4 tirinhas



$R = \frac{PL}{wt}$  → resistência térmica  
comprimento que o calor tem de atravessar  
área de seção que o calor tem de atravessar

resistividade

inverso da condutividade

Logo,  $\rightarrow$  nichel

$$R = \frac{PL}{wt} = \frac{1/94 \times 100 \mu}{5 \mu \times 100 m} = 2,2 \text{ MK/W}$$

Para o cômico

$$R = \frac{PL}{wt} = \frac{1/94 \times 100 \mu}{5 \mu \times 100 m} = 2,13 \text{ MK/W} \rightarrow \text{o cômico é um bocadinho}$$

resistência térmica do cômico

+ condutor que o nichel

Portanto, para o modelo térmico:

$$R_{JA} = \frac{2,13}{2} // \frac{2,2}{2} = 541 \times 10^3 \text{ K/W}$$

Substituindo na eq. (1), vamos ter que  $T_j = 2,7^\circ\text{C}$ .

diferença de aquecimento

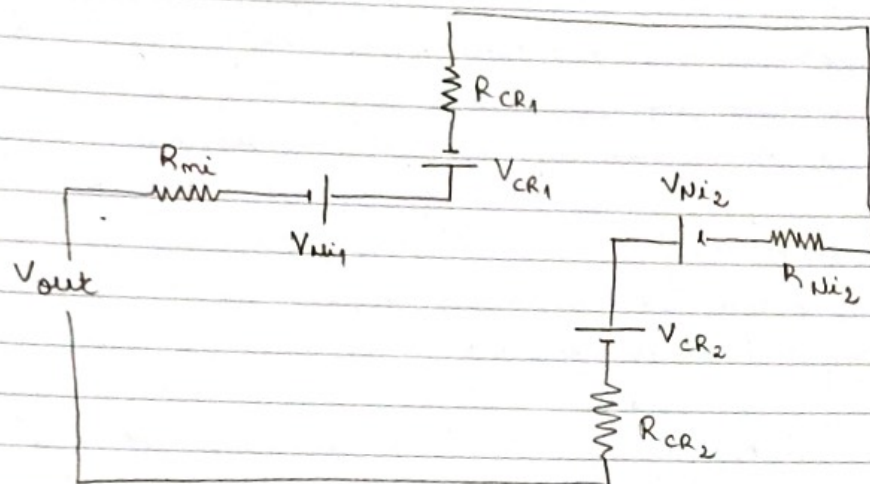
isto deve-se ao facto de a  $2,7^\circ\text{C}$  acima do material a volta (que está à temperatura ambiente)

b)

tensão de saída = ??

↓

temos que usar o efeito de Seebeck!! (...)  
desenhando o circuito correspondente, vamos ter que:



Aplicando o efeito de Seebeck:

$$V_{Ni} = \alpha \Delta T = -18 \times 10^{-6} \times 27 = -48,6 \mu\text{V}$$

↳ coeficiente de Seebeck

$$V_{CR} = \alpha \Delta T = 18 \times 10^{-6} \times 27 = 48,6 \mu\text{V}$$

Aplicando a lei das malhas vamos ter que:

$$V_{out} = 2V_{CR} - 2V_{Ni} = 194 \mu\text{V}$$

c) → pedir!!

resistência elétrica do termopar = ??

→ resistência elétrica do Nickel

$$R_{Ni} = \frac{PL}{wt} = \frac{0,07 \mu \times 900 \mu}{5 \mu \times 100 \text{ m}} = 126 \Omega$$

→ resistência elétrica do cromo

$$R_{CR} = \frac{PL}{wt} = \frac{0,13 \mu \times 900 \mu}{5 \mu \times 100 \text{ m}} = 234 \Omega$$

Portanto, a resistência elétrica total vai ser dada

por:

$$R_x = 126 + 234 = 360 \Omega$$