

TRABALHO 7B - Ponte de Wheatstone em Equilíbrio e Fora do Equilíbrio

Flávia Helene Nunes da Silva, PLG, Grupo 3

OBJETIVOS

- Medida de resistências e verificaçõe5 dos comportamentos leis de associaçõe5 em série e paralelo, com a ponte Wheatstone em equilíbrio
- Determinaçõe5 do comportamento térmico de resistência de um termômetro de platina utilizando a ponte de Wheatstone fora de equilíbrio

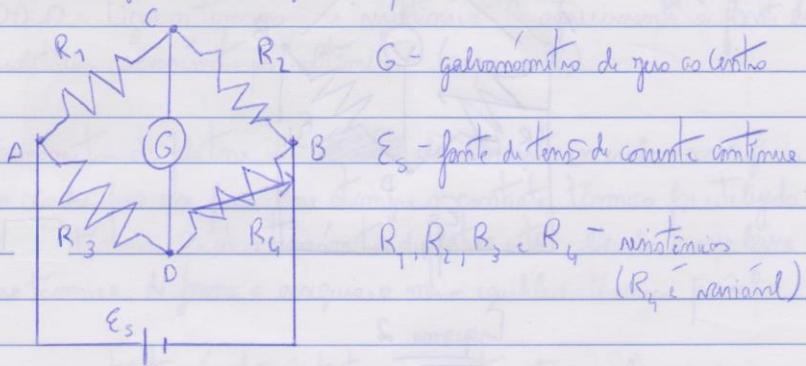
PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

- Determinaçõe5 de resistências com a ponte de Wheatstone em equilíbrio

1. Comparar prazer o voltímetro e ohmímetro para estabelecerem a sua temperatura de funcionamento e se o desligar no fim da execuçõe do trabalho. Alguns aparelhos mais avançados têm um ajuste de zero. Note zero, após alguns minutos de aquecimento, verificar se zero está ajustado, esfriando uma exalação (ampômetro deve estar desligado do circuito e ohmímetro l'ohmímetro deve estar com as entradas em curto - circuito)

2. Registrar os valores de resistências de fibra de resistências (fibra em aúlico) tal como os dados pelo código de cores e também utilizando um ohmímetro (R_a , R_f , R_c)

3. Montar o circuito a seguir, esfriando a fibra de resistências (R_1 , R_2) mais favorável para a determinaçõe de R_3 (não resistores desmontáveis na caixa de resistência).
~~(não tipo de multímetro)~~ Escolher fonte E_s entre as resistências de fibra de resistências (Atenção: na fonte de tensão far do tipo variável, mas não exceder 5V)



Esquema 1

4. Cercaria-se utilizar o galvanômetro em vez do voltímetro, significa que o galvanômetro tem i) a menor ação de ajuste e ii) que não param interrupções de circuito demoradas devido à ação de G, garantindo a sensibilidade do galvanômetro ao longo da execução. Em qualquer dos casos, garantir que a passagem de corrente é fez durante pouco tempo, isto é, o contacto de fecho do circuito dura um rapidamente deserto, após a medida do valor de R_3 .

5. Ativando os botões da caixa de resistências que determina R_4 , correspondendo pelo valor mais elevado, fornecem o valor em que se anula diferença de potencial entre C e D (analogia a passagem de corrente no galvanômetro G).

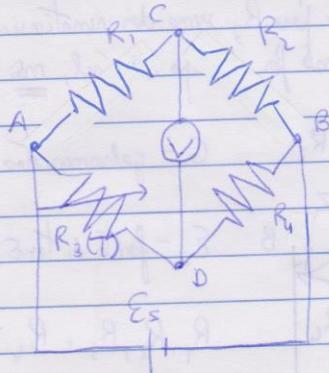
6. Repetir o processo acima no ponto anterior para outras resistências da placa e fazer comparações de resistências em série e em paralelo (anterior pelo mesmo motivo para a segunda parte - termômetro de platina -, mas fazendo todas as possibilidades).

7. Calcular R_3 para cada situação interligando as equações

$$R_3 = \frac{R_1 R_4}{R_2} \quad (1)$$

Calcular, para cada caso, incerteza e exatidão, considerando como valor de referência os valores medidas com o ohmímetro (Nota: para uma melhor eficiência no cálculo, os traçados mantêm resistência e circuito. Na segunda parte não é preciso substituir a resistência a medir R_3 pela resistência do termômetro de platina $R_3(\theta)$)

→ Determinar o coeficiente de variação de um termômetro de platina



Enquadrado 2

Material:

- 2 termômetros de resistência de platina, Pt 1000 da classe B.
 $R(\theta) = 1000(1 + 3,9083 \times 10^{-3}\theta - 5,775 \times 10^{-7}\theta^2)$ com R em ohm e
 θ em grau Celsius. A tolerância desse termômetro (cm°C) é de $0,3 + 0,005\theta$.
A curva de resistência em temperatura na gama entre de temperatura ambiente pode ser obtida por $\theta = 10^{-5} R^2 + 0,2358 R - 265,77$.
- Bloco de alumínio, onde se encontra inserida uma resistência de aquecimento ($\approx 20\Omega$) que permite aquecer os dois termômetros de platina nela embutidos.
- Tabuleiro comuns de resistências de platina em graus centígrados, para controle de valores de temperatura.
- 2 multímetros: um deve funcionar como voltímetro V e outro como amperímetro para medição de resistência de um dos termômetros de platina.
- 2 fontes de tensão, uma para alimentar o ponto de Wheatstone, outra para alimentar o aquecimento do bloco de alumínio.
- Placa - suporte do bloco de alumínio, com terminais de ligação para os dois termômetros de platina e para a resistência de aquecimento.

Execução:

1. Utilizam-se circuito montado na 1ª parte do experimento, substituindo agora a resistência R_3 pelo resistor $R_3(\theta)$ de um dos termômetros de platina. Escolhe $R_1 = R_2 = 1000\Omega$. Ligue o terminal de resistência de aquecimento à fonte de tensão variável. Substituir galvanômetro por voltímetro. (Resposta 2)
2. Verificar se os termômetros de platina estão ~~desconectados~~ devidamente inseridos no orifício do bloco metálico círculo furo esse furo. Pode alterar a constante térmica se utilizado uma fonte de contacto térmico. Os dois termômetros de platina estão cobertos numa base de cobre, com massa térmica, de forma a alcançar maior equilíbrio térmico possível.
3. Ligue os terminais do auto termômetro de platina ao multímetro que funciona como amperímetro.

4. Registar, para referência futura, a voltagem de diferença de potencial E_s , aplicada entre os pontos A e B do resguardo

5. E_s deve ser tanto baixa quanto possível de modo que não cause aquecimento (ou "self heating") dos termômetros de platino ligados à fonte de Wheatstone (Nota: self heating diminui a resistividade do platino devido ao aquecimento a 1mW - isto corresponde a tensão de alimentação da fonte, com todos os resistores em 1kΩ, tem uma tensão de alimentação inferior a $\sqrt{2}V$. Recomenda-se $E < 1V$)

6. Antes de iniciar o aquecimento decidir se usar $R_3 = 1000\Omega$ ou equilibrar a fonte a temperatura ambiente. No último caso, não esquecer de registrar a voltagem de temperatura ambiente de R_3 (Nota: para 25°C a resistividade de platino é aproximadamente 1100 Ω, um aumento de 10%).

7. Iniciar o aquecimento de óleo, ligando a fonte de tensão que alimenta a resistividade de aquecimento (nótesse - é uma tensão de aquecimento $\approx 30V$ comuns de ordem dos 100 a 200 mA) e o resguardo de fonte numa gama de temperaturas de $\approx 5^{\circ}C$ (nos refrigerando a $40^{\circ}C$ (1150 Ω) para evitar acidentes)).
Certificam-se que, antes de ligar a fonte, se colocou a tensão no mínimo (isto é, todo rodado para a esquerda) e que se ajustou a tensão para 30 V (sem a ligar a fonte a fonte).

8. Registar periodicamente valores (t ; ΔV ; $R_3(\theta)$):

- t é o instantâneo de registo
- ΔV é a tensão da voltmímetro designado por V
- $R_3(\theta)$ é a resistividade de termômetro de platino indicada pelo ohmímetro.

(Sugestão: regista-se um vídeo com o telemóvel e os fornecimentos os valores indicados pelos instrumentos)

9. Registar os dados experimentais num gráfico da ΔV em função de $R_3(\theta)$

10. Completar, na mesma gráfica, o comportamento experimental com a função de regressão

(2)

(3)

$$\Delta V = \frac{\Delta R E_s}{4R_3 + 2\Delta R}, \quad \Delta V = \frac{\Delta R E_s}{4R_4}$$

comentando tanto a validade como a precisão dos resultados

11. Qual a menor variação de temperatura que se pode medir com este montagem experimental?

Nota: As ligações e desligam, a fonte de alimentação de aquecimento (leds cada lado do voltímetro) pode mudar o valor lido no voltímetro a variar (mais mínimo menor valores mais mínimos). Este efeito é devido aos transistores de corrente que dão ao circuito de aquecimento que induzem variações nos circuitos de leitura.

JL 23/10/5
Física PC

JL 23/10/5

ANALISE DE DADOS

→ Determinar os resistâncias com a fonte de Wheatstone em equilíbrio ①

- Em vez do galvanômetro, ~~utilizei~~ o voltímetro (esquema 1), foi utilizado o voltímetro. O voltímetro possui uma maior sensibilidade do que o galvanômetro, pelo que o erro é preferencial.

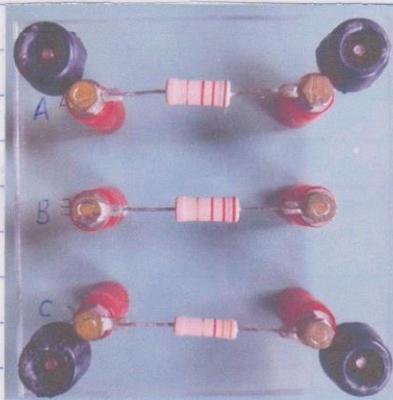


Figura 1: R_a , R_b e R_c

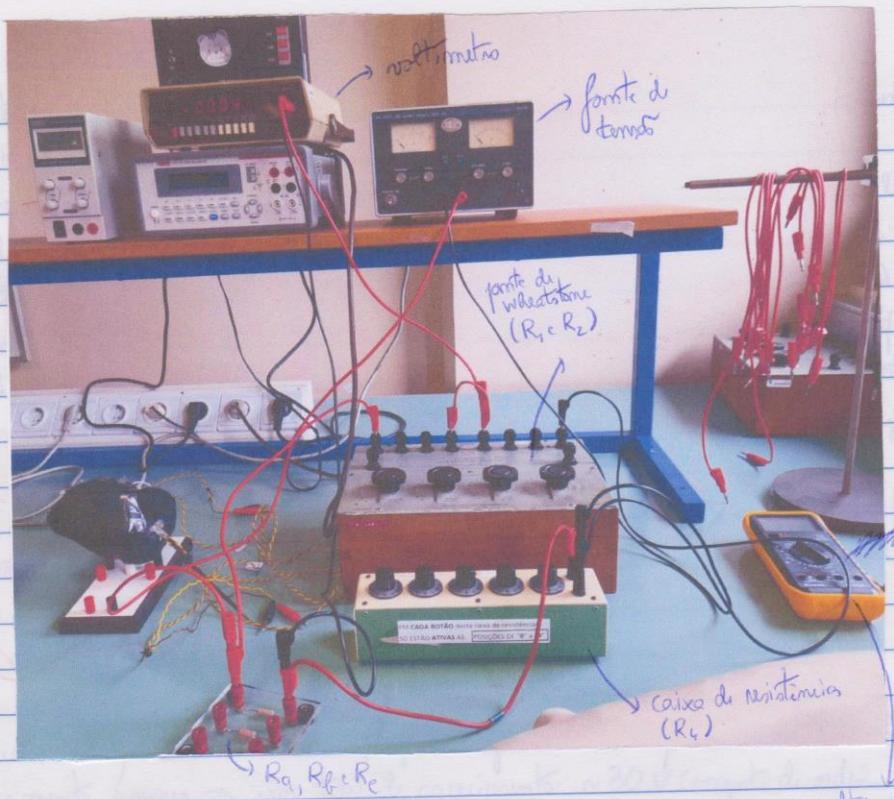


Figure 2 : Montagem experimental do 1^o part

multímetro
modo corrente
ohmímetro

	Valor (Ω)	Incerteza (Ω)
R1	1000	10
R2	1000	10

Tabela 1.1 : Valores utilizados para R_1 , R_2 e suas respectivas incertezas

	R3 (código cores) (Ω) \pm 5%	R3 (ohm.) (k Ω)	R3 (ohm.) (Ω)	u(R3 (ohm.)) (Ω)	u(R3 (ohm.)) (%)	R4 (Ω)	u(R4) (Ω)	R3 (Ω)	u(R3) (Ω)	u(R3) (%)	Erro (%)	Voltagem ((mV) \pm 0.01)
R _a	1200	1.194	1194	1	0.08%	1198.8	12.1	1198.8	20.8	1.74%	0.40%	0.03
R _b	2200	2.12	2120	10	0.47%	2200.0	22.0	2200.0	38.1	1.73%	3.77%	5.28
R _c	3300	3.24	3240	10	0.31%	3300.0	33.0	3300.0	57.2	1.73%	1.85%	2.34
R _{série}	---	6.59	6590	10	0.15%	6651.1	66.5	6651.1	71.8	1.08%	0.93%	0.01
R _{paralelo}	---	0.621	621	1	0.16%	625.0	6.3	625.0	6.8	1.09%	0.64%	0.09

Tabela 1.2.: Valores de R₃ registados com o código de cores e com o ohmímetro para cada uma das resistências R_a, R_b e R_c e todos os resistores em série e em paralelo.

Registo da R₃ para a voltagem (medida com o voltímetro) mais próxima de 0 V possível e respetivo cálculo de R₃ e do erro relativo aos ~~valores obtidos com o ohmímetro~~ valores obtidos com o ohmímetro)

	Ohmímetro	Lei de associação de resistências	Erro (%)
R _{série}	6590	6554	0.55%
R _{paralelo}	621.0	618.1	0.47%

Tabela 1.3.: Comparação dos valores de resistências em série e em paralelo obtidos com o ohmímetro com os valores obtidos teoricamente

- O valor máximo de R₃ que é possível obter com a caixa de resistência é de 10 000 Ω , isto é, 10⁴ Ω . Pelos valores de R₃ obtidos com o código de cores, vemos que os valores de R₃ a medir estão no ordenado 10³ Ω ; com este valor em mente dentro da gama disponível, podemos usar R₃ = R₂ = 1000 Ω . A ~~precisão~~ precisão ~~de 1%~~ de 1%, da ~~voltagem~~, ou seja, u(R₃) = u(R₂) = 1000 \times 1% = 10 Ω , como se observa na Tabela 1.1.

- Na tabela 1.2., R_3 foi medido com um valor de $2K\Omega$ para R_a e R_{paralelo} , e com uma variação de $20K\Omega$ para R_f , R_c e R_{mixie}

$$u(R_a) = u(R_{\text{paralelo}}) = 0.001 \times 10^3 = 1 \Omega$$

↓
incerteza
em $K\Omega$

$$u(R_f) = u(R_c) = u(R_{\text{mixie}}) = 0.01 \times 10^3 = 10 \Omega$$

↓
incerteza
em $K\Omega$

- Ainda na tabela 1.2., a incerteza de R_g foi obtida notando que, para a caixa de resistências, a frequência das variações é de cerca de $1V$, custo menor das unidades e dos dígitos em que é cerca de $2V$. Por exemplo, ~~100~~ para R_g .

$$u(R_g) = 1000 \times 1V + 100 \times 1V + 90 \times 1V + 8 \times 2V + 0,8 \times 2V \\ \approx 12,1 \Omega$$

Na tabela 1.2., para R_a , R_f e R_c

• $\sqrt{R_3}$ foi calculado individualmente, utilizando a equação (1), com incerteza calculada por:

$$u(R_3) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_3}{\partial R_a} u(R_a)\right)^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial R_f} u(R_f)\right)^2 + \left(\frac{\partial R_3}{\partial R_c} u(R_c)\right)^2}$$

$$\boxed{\frac{R_3 = R_1 R_4}{R_2}} \quad \begin{aligned} &= \sqrt{\left(\frac{R_4 u(R_a)}{R_2}\right)^2 + \left(-\left(\frac{R_4 \cdot R_1}{R_2^2}\right) u(R_f)\right)^2 + \left(\frac{R_1 u(R_f)}{R_2}\right)^2} \end{aligned}$$

- Análise da soma das resistências em série e em paralelo nos respectivamente:

$$R_{\text{mixie}} = R_a + R_f + R_c \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_{\text{paralelo}}} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_c} \quad (5) \Rightarrow$$

~~Resposta da soma de R_a e R_f é menor que R_{mixie}~~
~~Mais grande que R_{mixie}~~

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{\text{paralelo}}} = \frac{R_a R_e + R_a R_c + R_a R_b}{R_a R_f R_c}$$

$$\therefore R_{\text{paralelo}} = \frac{R_a R_f R_c}{R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b}$$

Comparando os valores de $R_{\text{máx}}$ e R_{paralelo} determinados pelo ohmímetro (cancelado) com os valores obtidos pelos equações (4) e (5) (cancelado),

$$E_n (\%) = \frac{|R_{\text{ap}} - R_{\text{real}}| \times 100}{R_{\text{real}}} \quad |R_{\text{ohmímetro}} - R_{\text{real}}| \times 100$$

Vemos pela Táble 1.3. que temos erros bastante baixos (inferiores a 1%), pelo que reconfirma a validade das leis de associação de resistências.

- Pelo referido no ponto acima, fazemos novas eqns (4) e (5) para o cálculo das incertezas propagadas de $R_{\text{máx}}$ e R_{paralelo} para R_3 determinadas pelas equações (1). Assim:

$$u(R_{\text{máx}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_{\text{máx}}}{\partial R_a}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{máx}}}{\partial R_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{máx}}}{\partial R_c}\right)^2} \\ = \sqrt{u(R_a)^2 + u(R_b)^2 + u(R_c)^2}$$

$$\approx 71,8 \Omega$$

$$u(R_{\text{paralelo}}) = \sqrt{\left(\frac{\partial R_{\text{paralelo}}}{\partial R_a}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{paralelo}}}{\partial R_b}\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{paralelo}}}{\partial R_c}\right)^2} \\ = \sqrt{\frac{(R_f R_c (R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b) - R_a R_f R_c (R_c + R_b)) u(R_a)}{(R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b)^2}^2 + \dots} \\ \dots + \sqrt{\frac{(R_a R_c (R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b) - R_a R_f R_c (R_c + R_b)) u(R_b)}{(R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b)^2}^2 + \dots} \\ \dots + \sqrt{\frac{(R_a R_b (R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b) - R_a R_f R_c (R_a + R_b)) u(R_c)}{(R_f R_c + R_a R_c + R_a R_b)^2}^2}$$

$$\approx 6,8 \Omega$$

~~Além de~~ ~~calcular~~ ~~o valor~~ ~~de~~ ~~R₃~~ ~~utilizando~~ ~~o~~ ~~índice~~ ~~de~~ ~~reflexão~~ ~~de~~ ~~referência~~ ~~para~~ ~~R₃~~ ~~obtido~~ ~~no~~ ~~multímetro~~

~~Além de~~ ~~calcular~~ ~~o valor~~ ~~de~~ ~~R₃~~ ~~utilizando~~ ~~o~~ ~~índice~~ ~~de~~ ~~reflexão~~ ~~de~~ ~~referência~~ ~~para~~ ~~R₃~~ ~~obtido~~ ~~no~~ ~~multímetro~~

Ainda me,

- ~~Além de~~ ~~calcular~~ ~~o valor~~ ~~de~~ ~~R₃~~ ~~utilizando~~ ~~o~~ ~~índice~~ ~~de~~ ~~reflexão~~ ~~de~~ ~~referência~~, ~~tal~~ ~~que~~:
alumínio

$$\text{E}(\%) = \left| \frac{R_{\text{equação}}(1) - R_{\text{almímetro}}}{{R}_{\text{almímetro}}} \right| \times 100$$

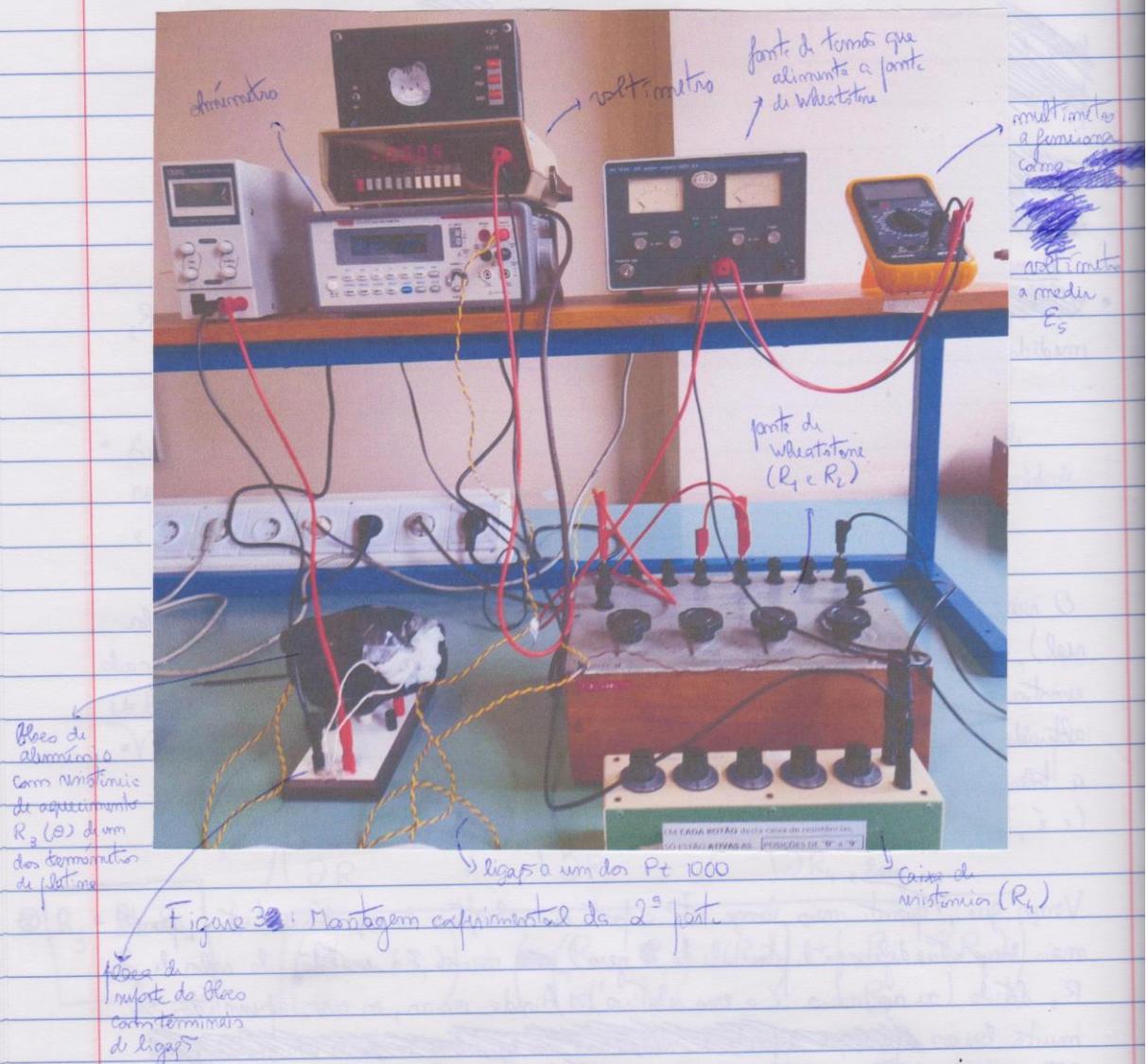
O valor medido no almímetro será o mais ~~mais~~ exato (isto é, o mais próximo do valor real), considerando que ~~o erro relativo é sempre menor~~ estando cada resistividade sujeita a um o valor inicialmente indicado pelo código de cores sem alterado (o que efetivamente se verifica na Tabela 1.2). Além disso, tendo em conta a tolerância de 5% do código de cores, a incerteza do código de cores pode ser (é, neste experimento) menor do que a incerteza de medida do multímetro.

em geral,

Vemos que quanto mais longe este a fonte de Wheatstone do equilíbrio (isto é, quanto mais longe está a diferença de potencial da gera), menor é a exactidão do valor de R_3 obtido (ou seja, maior é o erro relativo). Ainda assim, os erros apurados são muitos baixos (~~o erro relativo é sempre menor~~ (o mais dos erros não ultrapassa os 4%). Além disso, o cálculo de R a partir das equações (1) apresenta alta precisão dado que as incertezas percentuais estão entre 1% e 2%, mas ainda muito maiores elevadas do que as incertezas percentuais das medidas de R , com o almímetro.

Deste modo, a fonte de Wheatstone em equilíbrio serve - é um método final para a determinação de resistividades, dado a precisão e exactidão dos resultados obtidos para R_3 .

→ Determinar os comportamentos térmicos de níquel e de um termômetro de platina (2)



	Valor	Incerteza
ϵ_s (V)	0.476	0.001
R_4 (Ω)	1000	10

(ϵ_s)

Tabela 2.1.: Valores tomados para V e celos de níquel e de platina

para $R_4 = 1000 \times 10^3$ e $R_3 = 1000 \times 10^3$ com variações imprecisões

de 10% e 10% respectivamente com variações imprecisões

t (s)	ΔV (mV) ± 0.01	ΔV (V) $\pm E-05$	R3(θ) (kΩ) $\pm E-04$	R3(θ) (Ω) ± 0.1	ΔR3 (Ω) ± 0.1	θ (°C)	u(θ) (°C)	ΔV (eq. 2) (V)	ΔV (eq. 3) (V)	Ajuste ΔV (ΔR3) (V)	Resíduos (V)
0	11.59	1.159E-02	1.1017	1101.7	0.0	26.15	0.43	0.00E+00	0.00E+00	1.16E-02	-7.62E-06
30	11.59	1.159E-02	1.1017	1101.7	0.0	26.15	0.43	0.00E+00	0.00E+00	1.16E-02	-7.62E-06
60	11.60	1.160E-02	1.1017	1101.7	0.0	26.15	0.43	0.00E+00	0.00E+00	1.16E-02	2.38E-06
90	11.61	1.161E-02	1.1018	1101.8	0.1	26.17	0.43	1.19E-05	1.19E-05	1.16E-02	1.62E-06
120	11.62	1.162E-02	1.1020	1102.0	0.3	26.23	0.43	3.57E-05	3.57E-05	1.16E-02	-9.92E-06
150	11.64	1.164E-02	1.1021	1102.1	0.4	26.25	0.43	4.76E-05	4.76E-05	1.16E-02	-6.82E-07
180	11.66	1.166E-02	1.1023	1102.3	0.6	26.30	0.43	7.14E-05	7.14E-05	1.17E-02	-2.21E-06
210	11.69	1.169E-02	1.1026	1102.6	0.9	26.38	0.43	1.07E-04	1.07E-04	1.17E-02	-4.51E-06
240	11.72	1.172E-02	1.1028	1102.8	1.1	26.43	0.43	1.31E-04	1.31E-04	1.17E-02	3.95E-06
270	11.75	1.175E-02	1.1031	1103.1	1.4	26.51	0.43	1.66E-04	1.67E-04	1.17E-02	1.65E-06
300	11.78	1.178E-02	1.1034	1103.4	1.7	26.59	0.43	2.02E-04	2.02E-04	1.18E-02	-6.46E-07
330	11.81	1.181E-02	1.1037	1103.7	2.0	26.66	0.43	2.38E-04	2.38E-04	1.18E-02	-2.95E-06
360	11.85	1.185E-02	1.1040	1104.0	2.3	26.74	0.43	2.73E-04	2.74E-04	1.18E-02	4.76E-06
390	11.88	1.188E-02	1.1044	1104.4	2.7	26.84	0.43	3.21E-04	3.21E-04	1.19E-02	-8.31E-06
420	11.92	1.192E-02	1.1047	1104.7	3.0	26.92	0.43	3.56E-04	3.57E-04	1.19E-02	-6.10E-07
450	11.95	1.195E-02	1.1050	1105.0	3.3	27.00	0.43	3.92E-04	3.93E-04	1.20E-02	-2.91E-06
480	12.00	1.200E-02	1.1054	1105.4	3.7	27.10	0.44	4.39E-04	4.40E-04	1.20E-02	4.03E-06
510	12.04	1.204E-02	1.1058	1105.8	4.1	27.21	0.44	4.87E-04	4.88E-04	1.20E-02	9.60E-07
540	12.08	1.208E-02	1.1061	1106.1	4.4	27.28	0.44	5.22E-04	5.24E-04	1.21E-02	8.66E-06
570	12.12	1.212E-02	1.1065	1106.5	4.8	27.39	0.44	5.70E-04	5.71E-04	1.21E-02	5.59E-06
600	12.16	1.216E-02	1.1069	1106.9	5.2	27.49	0.44	6.17E-04	6.19E-04	1.22E-02	2.53E-06
630	12.21	1.221E-02	1.1074	1107.4	5.7	27.62	0.44	6.76E-04	6.78E-04	1.22E-02	-1.30E-06
660	12.25	1.225E-02	1.1078	1107.8	6.1	27.72	0.44	7.24E-04	7.26E-04	1.23E-02	-4.37E-06
690	12.30	1.230E-02	1.1082	1108.2	6.5	27.82	0.44	7.71E-04	7.74E-04	1.23E-02	2.56E-06
720	12.35	1.235E-02	1.1086	1108.6	6.9	27.93	0.44	8.18E-04	8.21E-04	1.23E-02	9.50E-06
750	12.38	1.238E-02	1.1090	1109.0	7.3	28.03	0.44	8.66E-04	8.69E-04	1.24E-02	-3.57E-06
780	12.43	1.243E-02	1.1094	1109.4	7.7	28.13	0.44	9.13E-04	9.16E-04	1.24E-02	3.37E-06
810	12.47	1.247E-02	1.1098	1109.8	8.1	28.24	0.44	9.60E-04	9.64E-04	1.25E-02	3.02E-07
840	12.51	1.251E-02	1.1102	1110.2	8.5	28.34	0.44	1.01E-03	1.01E-03	1.25E-02	-2.76E-06
870	12.55	1.255E-02	1.1105	1110.5	8.8	28.42	0.44	1.04E-03	1.05E-03	1.25E-02	4.94E-06
900	12.59	1.259E-02	1.1109	1110.9	9.2	28.52	0.44	1.09E-03	1.09E-03	1.26E-02	1.87E-06
930	12.63	1.263E-02	1.1113	1111.3	9.6	28.62	0.44	1.14E-03	1.14E-03	1.26E-02	-1.20E-06
960	12.67	1.267E-02	1.1116	1111.6	9.9	28.70	0.44	1.17E-03	1.18E-03	1.27E-02	6.51E-06
990	12.71	1.271E-02	1.1120	1112.0	10.3	28.81	0.44	1.22E-03	1.23E-03	1.27E-02	3.44E-06
1020	12.74	1.274E-02	1.1123	1112.3	10.6	28.88	0.44	1.25E-03	1.26E-03	1.27E-02	1.14E-06
1050	12.79	1.279E-02	1.1127	1112.7	11.0	28.99	0.44	1.30E-03	1.31E-03	1.28E-02	8.07E-06
1080	12.83	1.283E-02	1.1131	1113.1	11.4	29.09	0.45	1.35E-03	1.36E-03	1.28E-02	5.01E-06
1110	12.87	1.287E-02	1.1135	1113.5	11.8	29.19	0.45	1.40E-03	1.40E-03	1.29E-02	1.94E-06
1140	12.91	1.291E-02	1.1139	1113.9	12.2	29.30	0.45	1.44E-03	1.45E-03	1.29E-02	-1.12E-06
1170	12.95	1.295E-02	1.1143	1114.3	12.6	29.40	0.45	1.49E-03	1.50E-03	1.30E-02	-4.19E-06
1200	13.00	1.300E-02	1.1147	1114.7	13.0	29.50	0.45	1.54E-03	1.55E-03	1.30E-02	2.75E-06
1230	13.03	1.303E-02	1.1150	1115.0	13.3	29.58	0.45	1.57E-03	1.58E-03	1.30E-02	4.46E-07
1260	13.08	1.308E-02	1.1154	1115.4	13.7	29.68	0.45	1.62E-03	1.63E-03	1.31E-02	7.38E-06
1290	13.12	1.312E-02	1.1158	1115.8	14.1	29.79	0.45	1.67E-03	1.68E-03	1.31E-02	4.31E-06
1320	13.16	1.316E-02	1.1162	1116.2	14.5	29.89	0.45	1.71E-03	1.73E-03	1.32E-02	1.25E-06
1350	13.20	1.320E-02	1.1166	1116.6	14.9	29.99	0.45	1.76E-03	1.77E-03	1.32E-02	-1.82E-06
1380	13.24	1.324E-02	1.1170	1117.0	15.3	30.10	0.45	1.81E-03	1.82E-03	1.32E-02	-4.88E-06
1410	13.27	1.327E-02	1.1173	1117.3	15.6	30.17	0.45	1.84E-03	1.86E-03	1.33E-02	-7.18E-06
1440	13.30	1.330E-02	1.1176	1117.6	15.9	30.25	0.45	1.88E-03	1.89E-03	1.33E-02	-9.48E-06
1470	13.34	1.334E-02	1.1179	1117.9	16.2	30.33	0.45	1.91E-03	1.93E-03	1.33E-02	-1.78E-06
1500	13.38	1.338E-02	1.1182	1118.2	16.5	30.41	0.45	1.95E-03	1.96E-03	1.34E-02	5.92E-06
1530	13.41	1.341E-02	1.1185	1118.5	16.8	30.48	0.45	1.98E-03	2.00E-03	1.34E-02	3.62E-06
1560	13.44	1.344E-02	1.1189	1118.9	17.2	30.59	0.45	2.03E-03	2.05E-03	1.34E-02	-9.45E-06
1590	13.49	1.349E-02	1.1192	1119.2	17.5	30.66	0.45	2.06E-03	2.08E-03	1.35E-02	8.26E-06
1620	13.52	1.352E-02	1.1196	1119.6	17.9	30.77	0.45	2.11E-03	2.13E-03	1.35E-02	-4.81E-06
1650	13.56	1.356E-02	1.1200	1120.0	18.3	30.87	0.45	2.16E-03	2.18E-03	1.36E-02	-7.88E-06
1680	13.61	1.361E-02	1.1204	1120.4	18.7	30.97	0.45	2.20E-03	2.23E-03	1.36E-02	-9.42E-07
1710	13.65	1.365E-02	1.1208	1120.8	19.1	31.08	0.46	2.25E-03	2.27E-03	1.37E-02	-4.01E-06

Tabela 2.2.: Valores de ΔV e de $R_3(\theta)$ medidos ao longo do tempo, com temperatura θ correspondente. Determinação de ΔR_3 . Determinação de ΔV a partir de equipamento (2) (célula laranja) e a partir de equipamento (3) (célula verde). Ajuste dos valores de ΔV , ΔR_3 (valores experimentais).

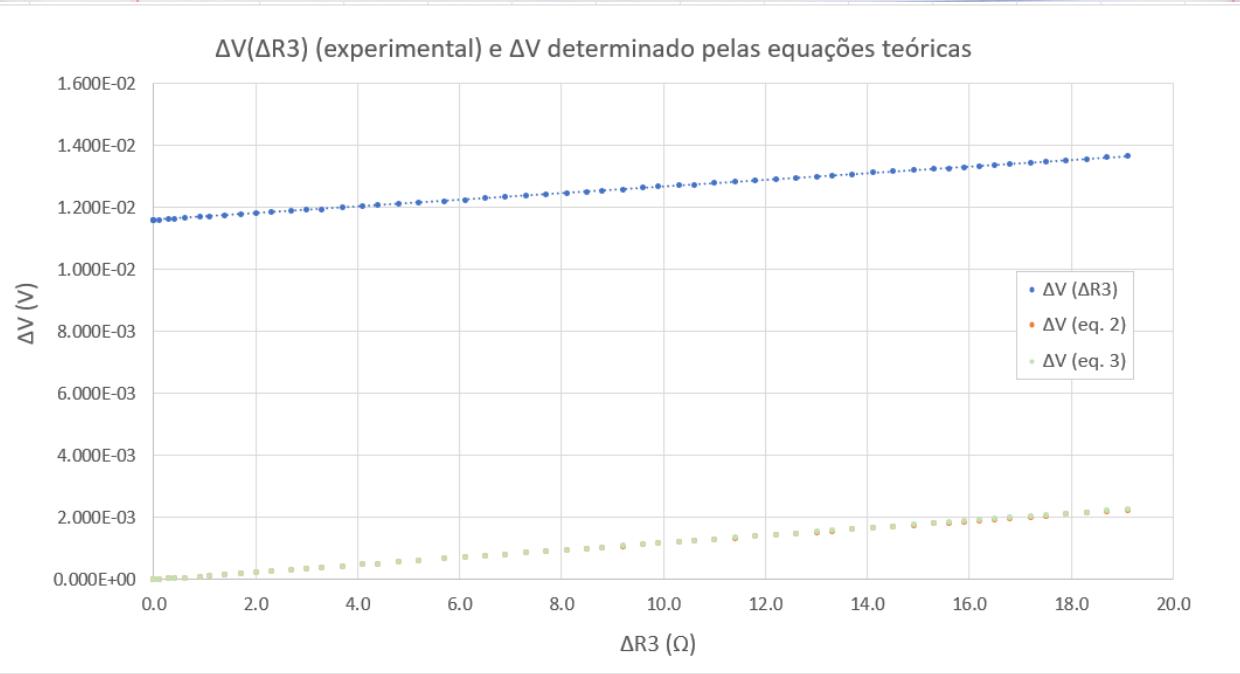


Grafico 2.1. ~~ΔV (eq. 2) e ΔV (eq. 3) versus ΔR_3~~

Ajuste ΔV (ΔR_3)			
m	1.08E-04	1.16E-02	b
s(m)	1.09E-07	1.16E-06	s(b)
r^2	0.999942	5.03E-06	s(y)

Tabela 2.3. ~~Parâmetros de ajuste de $\Delta V(\Delta R_3)$~~

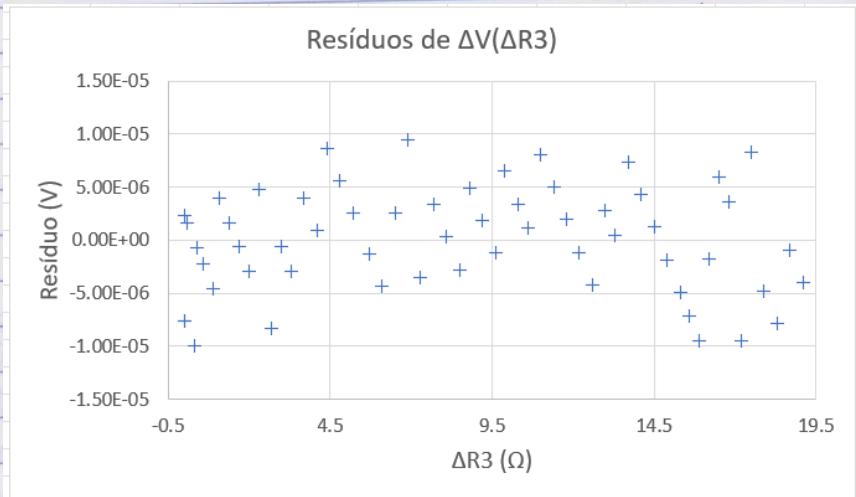


Grafico 2.2.

Temperatura de $R_3(\theta)$ em função do tempo

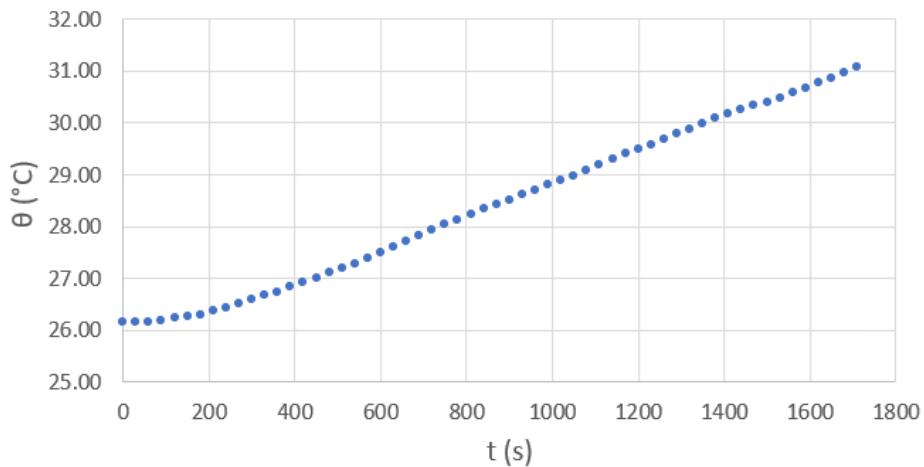


Gráfico 2.3.

- Quanto à Tabela 2.1, $u(E_s)$ corresponde à incerteza de leitura no multímetro, e $u(R_3) = 1000 \times 1\% = 10\Omega$, de acordo com as especificações da caixa de resistências referidas anteriormente. $E_s < 1V$, como referido no procedimento.

- Quanto à Tabela 2.2, os valores de $R_3(\theta)$ e ΔV foram registados manualmente de 30 em 30 segundos (conmutando com o termômetro).

Tal como referido no procedimento, ressalta -se à Tabela de ~~referência~~ comuns de resistências em temperatura para garantir que θ não excede os $40^\circ C$. No entanto, os valores apresentados na Tabela são calculados pelo experiente apresentado no procedimento (~~referência~~ e $u(\theta)$) correspondendo à tensão do termômetro, também apresentada no procedimento. Figura 2.3 mostra que θ resulta num maior número de algarismos ~~significativos~~ significativos para os valores de temperatura (ou seja, mais preciso).

- Como indicado, optou -se por $R_3 = R_2 = (1000 \pm 10)\Omega$.
- Sabemos que inicialmente tínhamos $R_1 = R_2 + R_3 = R_4$, a diferença de potencial ΔV é nula, isto é, a fonte está em equilíbrio, como é desejável. No entanto, temos que R_3 inicial corresponde a $1101,7\Omega$, uma diferença de cerca de 10% em relação a R_4 , logo, a fonte não está em equilíbrio. Assim, para que fose possível $R_3 = R_4 = 1000\Omega$, significaria que a resistência estaria a $0^\circ C$, ou seja, inferior à temperatura ambiente do laboratório (cerca de $26^\circ C$, como se vê na Tabela 2.2). Concluindo, equilibra a fonte à temperatura ambiente ~~referência~~.

ao ajustar R_3 , de modo que $\Delta V \approx 0$, teria sido o mais constante. A menor malhação
~~distância~~ entre os resultados experimentais

- $\Delta R_3 = R_3 - 1107,7 \Omega$. Como afirmei anteriormente, temos uma malhação constante,
 ↓ malhação inicial

$$\text{temos que } u(R_3) = u(\Delta R_3)$$

- ~~Como~~ Como já referido, a partir desse encontrava-se um equilíbrio, o que justifica a grande ordem de magnitude no origem (0) do ajuste experimental, em comparação com os valores de ΔV obtidos pelos equipamentos teóricos, que se iniciam no origem, como vemos pelo Gráfico 2.1. (orden de grandeza de $B: 10^{-2}$)

- Assim, temos que o ajuste experimental de todos os pontos ~~é~~ é adequado, dado que $r^2 \approx 1$ (tabela 2.3) e os resíduos ~~do~~ do ajuste não possuem qualquer tendência (Gráfico 2.2).

- A equação (2), $\Delta V = \frac{\Delta R_3 E_s}{4R_4 + 2\Delta R_3}$, não demonstra uma ~~tendência~~ linear, mas a equação (3), $\Delta V = \frac{\Delta R_3 E_s}{4R_4}$, que constitui a sua aproximação

de Taylor, já tem uma ~~tendência~~ linear.

Pare todos os valores de ΔR_3 , temos que $\Delta R_3 / R_4 < 0,02$, logo, a variação de ΔV entre as duas equações é de 1%. Tal é visível no Gráfico 2.1, em que vemos os pontos ~~de~~ de ΔV (eq. 2) e ΔV (eq. 3) praticamente todos sobreposta. Assim, podemos considerar a equação (3) uma aproximação final da equação (2) para a curva experimental de dados reais.

- O declínio experimental do ajuste, ~~que~~ ^{aproximadamente} é $1,08 \times 10^{-4} \text{ V}/\Omega$, corresponde a (tabela 2.3) . Comparando este com o declínio da reta linear dos valores de ΔV obtidos com a equação (3), temos $\sim 1,18 \times 10^{-4} \text{ V}/\Omega$:

$$E_s (\text{v.}) = | \frac{m_{\text{exp}} - m_{\text{teo}}}{m_{\text{teo}}} | \sim 10 \%$$

Dada a similaridade das equações (2) e (3), podemos concluir que o erro

relativo ao declínio teórico) temos assim que a um m_{teo} de equilíbrio (2) temos também muito próximos de 10°.

- Dado que $b \gg 0$, a fonte não está em equilíbrio, termos que os dados experimentais resultados para R_s e ΔV são falsos. No entanto, como o erro relativo entre declínios é baixo, termos que o aumento de ΔV com o aumento da resistência, isto é, o afastamento da fonte do equilíbrio com o aumento de temperatura.

No entanto, como o erro relativo entre declínio teórico - declínio experimental é baixo, verificou - se que a relação de proporcionalidade entre a diferença de potencial e a variação de ação com o tempo é boa, ainda que a fonte não esteja inicialmente em equilíbrio, o que indica que o aumento de ΔV com a temperatura deve - se com uma relação linear muito melhorada à calculada teoricamente com a equação (3). Assim, podemos concluir que os dados de ΔV e R_s resultados têm grande precisão.

- A incerteza dos valores de temperatura calculados a partir de exp θ procedimento, $u(\theta)$, varia entre $0,43^\circ\text{C}$ - $0,46^\circ\text{C}$, isto é, o valor θ apurado pode fluctuar cerca de meio grau. Assim, $0,5^\circ\text{C}$ é a menor variação de temperatura que não é possível medir com a montagem experimental, mostrando assim a maior precisão do que a variação de 1°C resultante da tabela de conversão de resistências (em anexo).

CONCLUSÃO

- Verificou - se que a fonte de Wheatstone é um método eficaz para a medição de resistências, dado a preciso e exactidão dos resultados obtidos. Verificou - se também a validade das leis de Ohm e de Kirchhoff em série e em paralelo, dado a exactidão dos resultados obtidos, em comparação com os valores mais próximos da realidade (valores medidas com ohmímetro, resultando em erros inferiores a 1%).
- Verificou - se que a fonte de Wheatstone é um método eficaz para a medição de resistências, dado a preciso e exactidão dos resultados obtidos (erro percentual todos inferiores a 5%). Verificou - se também a validade das leis de Ohm e de Kirchhoff em série e em paralelo, dado a exactidão dos resultados obtidos (erro inferior a 1%) em comparação com os valores mais próximos da realidade (isto é, os valores medidas com ohmímetro).

- Apesar de a fonte não estar inicialmente em equilíbrio, verifica-se a relação de proporcionalidade entre o aumento de temperatura / aumento da resistência e os aumentos de diferença de potencial / alteramentos da fonte do equilíbrio. Como tal, ~~esta~~ estabelece-se como preceito o comportamento térmico da resistência do termômetro de platina

ANEXO - Tabela de conversão de resistências em temperatura

Platinum resistance temperature sensors Pt100 (Pt1000)



KONGSBERG

Relation Temperature vs. Resistance According to IEC751 / ITS-90

$^{\circ}\text{C}$ ITS-90	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-200	18.52										
-190	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	18.52
-180	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	22.83
-170	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	27.10
-160	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	31.34
-150	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	35.54
-140	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	39.72
-130	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	43.88
-120	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	48.00
-110	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	52.11
-100	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	56.19
-90	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	60.26
-80	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	64.30
-70	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	68.33
-60	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	72.33
-50	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	76.33
-40	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	80.31
-30	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	84.27
-20	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	88.22
-10	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	92.16
0	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	96.09
0	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	103.90
10	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	107.79
20	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	111.67
30	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	115.54
40	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	119.40
50	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.47	122.86	123.24
60	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	127.08
70	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	130.90
80	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	134.71
90	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	138.51
100	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	142.29
110	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	146.07
120	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	149.83
130	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	153.58
140	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	157.33
150	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	161.05
160	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	164.77
170	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	168.48
180	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	172.17
190	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	175.86

$$Pt1000 = Pt100 \times 10$$