

MB

Iara Helena Machado PLB GG Data de preparação: 21-3-2022.
Data de execução: 28-3-2022

Ponte de Wheatstone em equilíbrio e fora do equilíbrio.
2º ano - TFB

→ Objetivos

medida de resistências e verificação das correspondentes leis de associação em série e paralelo, com a ponte de Wheatstone em equilíbrio, determinação do comportamento térmico da resistência de um termômetro de platina utilizando a ponte de Wheatstone fora de equilíbrio.

→ Proposta

Determinação de resistências com a ponte de Wheatstone em equilíbrio.

1. Ligar o voltmetro e o ohmímetro e só desligar no fim da execução do trabalho.

Importante!! → Verificar se estes têm um ajuste de 0°C , neste caso após o experimento utilizar se estão ajustados.

2. Registrar os valores das resistências da placa de resistências, pelo código de cores e utilizando o ohmímetro (R_a, R_b, R_c)

3. Montar o circuito da figura 1, escalar os parâmetros de valores (R_1, R_2) mais favorável para a determinação de R_3 .

Importante!! → não exceder 5V na fonte de tensão, se esta for de tipo variável.

4. Caso se utilize o galvanômetro verificar que este tem os gérus bem ajustados - que não passam intensidades de corrente demais ou elevadas

15.

de V, ajustar a sensibilidade do aparelho ao longo da execução.

5. Ajustar nos botões da caixa de resistências que determina R_4 , começando pelo valor mais elevado, procurar o valor em que se anula a diferença de potencial entre C e D.

6. Repetir o processo 5 para outros resistências da placa e para associações de resistências em série e em paralelo.

. Calcular R_3 para cada situação ($R_3 = R_1 \times R_4$)

8. calcular, para cada caso, a incerteza R_2 e a exactidão. considerar como referência os valores medidos para o chromimíto

• Determinação do comportamento térmico da resistência de um termômetro de platina.

1. Utilizar o circuito montado na primeira parte da experiência, substituindo a resistência R_3 pela $R_3(0)$ de um dos termômetros de platina (figura 2).

Escolher $R_1 = R_2 = 1000\ \Omega$. Ligar os terminais da resistência de aquecimento à fonte de tensão variável.

2. Verifica se os termômetros de platina estão devidamente inseridos na superfície do bloco metálico.

3. Ligar os terminais do outro termômetro de platina ao multímetro (chromimíto).

4. Registar o valor da diferença de potencial E_S , aplicada entre os pontos A e B de figura 2.

5. Para que não ocorra aquecimento próprio o E_S deve ser o mais baixo possível.

6. Deverá então ser $R_4 = 1000\ \Omega$ ou equilibrar a ponte à temperatura ambiente. Nesse caso registar o valor da temperatura ambiente e de R_4 .

7. Iniciar o aquecimento do bloco, ligando a fonte de tensão.

Sugere-se uma tensão de aquecimento $\approx 30\text{V}$

(comente entre 100 a 200 mA) e o registo de pondo numa gama de temperaturas de $0\text{ a }5^\circ\text{C}$.

⚠ Não ultrapassar os 40°C

• Antes de ligar a fonte colocar a tensão no máximo e ir ajustar a tensão para 30V.

8. Registrar valores ($t, \Delta V, R_3(t)$) em que:

• $t = 0$ instante de registo

• ΔV é a tensão lida no voltmetro (ver figura 2)

• $R_3(t)$ é a resistência

do termômetro de platina indicada pelo ohmímetro.

9. Registrar os dados experimentais num gráfico ΔV em função $R_3(t)$.

10. Comparar o comportamento experimental com os obtidos pelas equações:

$$\Delta V = \frac{\Delta P_{ES}}{4R_4 + 2\Delta R} \quad (5) \quad \text{e} \quad \Delta V = \frac{\Delta A_{ES}}{4R_4} \quad (6)$$

→ Material

(2) Fornos de equilíbrio

• bloco de alumínio, com resistência de aquecimento (~20W)

• sensores de temperatura de resistência de platina, Pt1000

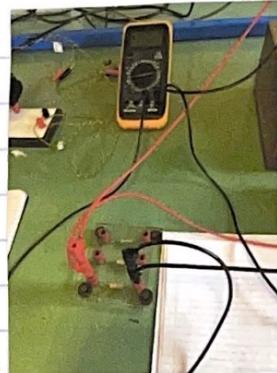
Pt1000 classe B

• Tabelas de conversão da resistência de platina em graus centígrados.

• ameômetros (um para voltmetro e um para ohmímetro)

• fontes de tensão

• placa suporte do bloco de alumínio.



Resistências à Beç multímetro

Montagem exp para determinar ZABER RC tónicos



Ponta de Wheatstone



fonte de Tensão



caixa de resistências (R4)



Montagem exp.
Ponta em equilíbrio

anômetro



voltímetro
(multímetro)



fonte de tensão variável.

amômetro
(multímetro)

bloco
metálico

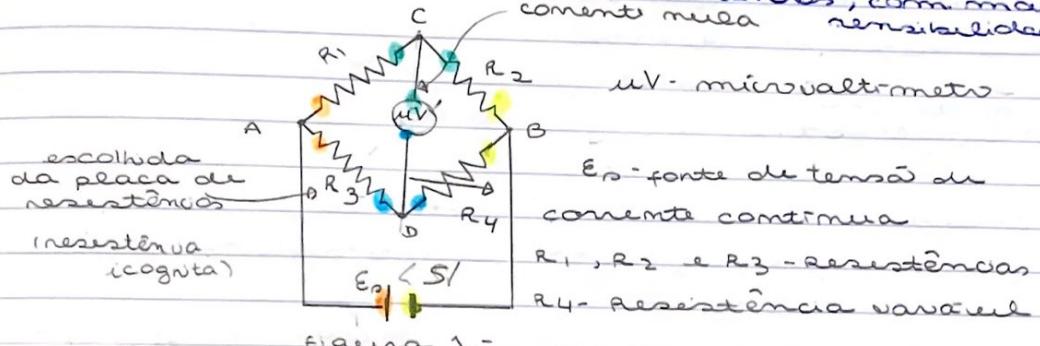


Montagem exp.
Ponta fora do equilíbrio.

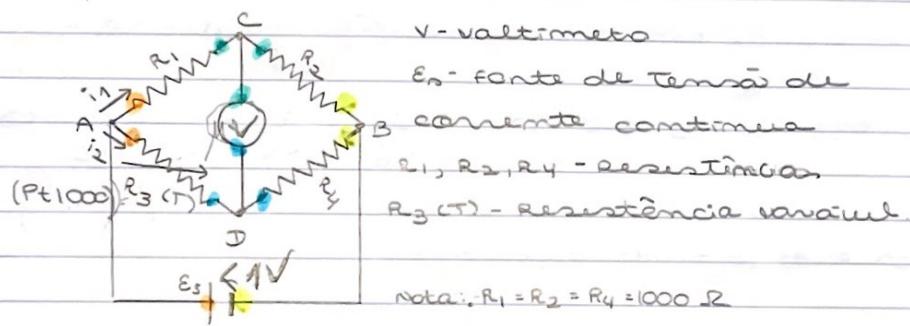
Pt 1000

- montagem experimental
- em equilíbrio

usa-se o voltímetro em vez do galvanômetro uma vez que o galvanômetro do laboratório permite medir correntes da ordem de 10^{-12} mas isso corresponde a ddp de $0,2 \text{ mV}$ e o voltímetro permite medir valores menores, com mais sensibilidade.

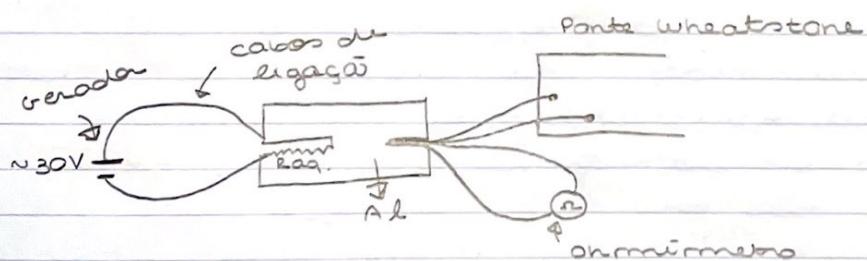


- circuito estabelecido na 1ª parte do trabalho
- fora do equilíbrio



- circuito fora do equilíbrio

$R_4 \rightarrow$ pode ser 1000Ω ou ajustado para a ponte se encontrar em equilíbrio à temperatura ambiente.



- esquema experimental fora do equilíbrio

→ Ponto da análise teórica que foi retirado do logbook

- Se $\Delta R/R_4 < 0,02$, o erro na diferença de potencial é inferior a 1%.



Logo, o erro de tensão (ΔV)

é aproximadamente proporcional à variação da resistência (ΔR) por um fator de calibração $\frac{E_0}{4R_4}$

$$\Delta V = \frac{E_0}{4R_4}$$

MB

→ Notas de aula

- Na ponte de Wheatstone em equilíbrio foi utilizado o volmetro em vez do galvanômetro.
- A tensão utilizada foi de 4,262V (100V).
- Fomos até a escala mais pequena (200μ) na ponte de equilíbrio.
- A discriminação da incerteza depende de nros até à escala mais pequena do multímetro e da maior precisão do corte de montagem.
- Na experiência é tido com cuidado para não ultrapassar 40°C.

→ Expressões

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_4}{R_2} \quad (3) \quad u(R_3) = \frac{R_1}{R_2} u(R_4) \quad (4)$$

(em equilíbrio) para que $u(R_3)$ seja o mais pequeno possível, pretendemos que $\frac{R_1}{R_2} < 1$, sendo $u(R_1) = u(R_2) \neq 0$.

$$\Delta V = \frac{\Delta R E_0}{4R_4 + 2\Delta R} \quad (5) \rightarrow \Delta V = \frac{\Delta R E_0}{4R_4} \quad (\text{equação aproximada})$$

Se $\Delta R/R_4 < 0,02$

(paa do equilíbrio)

MB

$$R_p = R_a + R_b + R_c \quad (6)$$

(lei da associação de resistências)

$$R_p = \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} + \frac{1}{R_c} \right)^{-1} \quad (7)$$

→ Análise de dados

2 - medidas de resistência e verificação das leis de associação de resistências.

Os procedimentos da primeira parte do trabalho (ponte em equilíbrio) foram obtidos os seguintes dados.

Tabela 1 - Dados experimentais da primeira parte da experiência					
	R3(código de cores) ($\pm 5\%$)	(ohmímetro) (Ω)	Ponte W.		
	R3	U(R3)	R4(Ω)	U(R4) / Ω	
Ra	1200	1 193	1	1198,900	0,002
Rb	2200	2120	10	2164,000	0,002
Rc	3300	3240	10	3297,200	0,002
① Rs exp		6 553	10	6659,900	0,002
② Rp exp		618	1	625,500	0,002

usamos a tabela fornecida

① Ra e Rb em série

② Ra e Rb em paralelo

Tabela 2	
R1 (Ω)	1000
R2 (Ω)	1000
es (V)	0,567

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_2}$$

Tabela 3 - Cálculo do valor de R3 através da eq 3

Ponte W.	
R3 ($\pm 0,002$) Ω	Erro Percentual (%)
1198,900	0,5
2164,000	2,1
3297,200	1,8
6659,900	1,6
625,500	1,2

$$\rightarrow \text{erro } R_3 (\%) = \frac{\Delta R_3}{R_3} \text{ OHMÍMETRO}$$

$$\Delta R_3 = R_3 \text{ exp} - R_3 \text{ OHMÍMETRO}$$

$$\star R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_2}$$

Observando os dados fornecidos podemos constatar

$$\text{que } \frac{R_3}{R_4} \approx 1, \text{ logo } \frac{R_1}{R_2} \approx 1$$

Dado que em equilíbrio $R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_2}$ na ponte Wheatstone é admitido que é grande de precisão da resistências R_1 e R_2 e muito elevada.

$$\text{e } u(R_3) = \frac{R_1}{R_2} u(R_4), \text{ como } R_1 = R_2 \Rightarrow u(R_3) = u(R_4)$$

Consideraremos os valores de referência para o caso das resistências A, B e C do ohmmímetro, juntamente com o círculo de cores ~~para termos um valor grão~~.

~~Portanto, obtemos + medida da sua resistência e a imprecisão desta medida é elevada.~~

~~divide~~ → pode ser

$$\text{Era}_{R_{A,B,C}} = \frac{R_{\text{ohmmímetro}} - R_{\text{ponto}}}{R_{\text{ohmmímetro}}}$$

$$R_{ABC} \Rightarrow \text{Era máxima} = 2,1\%$$

Baixo → Pelo que estes valores apresentam elevada exatidão.

Assim, a obtenção do valor das resistências A, B e C usando a ponte de Wheatstone apresenta uma elevada exatidão ($\text{Era} = 2,1\%$).

Logo, podemos afirmar que se fôssem comparadas pontes de Wheatstone para se medir diferentes resistências com um elevado grau de exatidão.

1.2- Verificação das leis de associação de resistências em série e em paralelo.

Sendo que podemos comparar na medição da ponte de Wheatstone, vamos utilizar os valores medida para as resistências A, B e C na ponte e depois verificar com o valor medido pela associação na ponte.

valor de Ref ponto

$$R_p = R_A + R_B + R_C = 6660,100 \Omega$$

a calculados usando

os valores fornecidos

$$u(R_p) = \sqrt{u^2(R_A) + u^2(R_B) + u^2(R_C)}$$

pela ponte

$$= \sqrt{3 \times 0,002^2} = \sqrt{3} \times 0,002$$

$$= \pm 0,003 \Omega$$

$$R_p = \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C} \right)^{-1} = 625,1982 \Omega$$

✓

$$u(R_p) = \sqrt{\left(\frac{(\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C})^{1/2}}{A^2} \cdot \delta A \right)^2 + \left(\frac{(\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C})^{1/2}}{B^2} \cdot \delta B \right)^2 + \left(\frac{(\frac{1}{A} + \frac{1}{B} + \frac{1}{C})^{1/2}}{C^2} \cdot \delta C \right)^2} = 0,0006 \Omega$$

Tabela 4 - Valores de resistência das associações fornecidas pelas leis de associações			
série (Ω)	u (série) Ω	Paralelo (Ω)	u (paralelo) Ω
6660,100	0,003	625,1982	0,0006

uma vez que o erro de medição entre a ponte de Wheatstone das associações de resistências em paralelo e em série é proporcionalmente menor com o valor obtido pelas leis de associação de resistências em série e em paralelo utilizando R_A , R_B e R_C obtidos na ponte são respectivamente 1,2% e 1,6%. podemos concluir que se verificam as leis de associação de resistências em série e em paralelo utilizando a ponte em equilíbrio.

2- Determinação do comportamento térmico da resistência de um termômetro de platina.

Não sabemos se seguindo estes dados a resistência inicial para R_4 foi 1000 Ω ou se a ponte foi equilibrada à temperatura ambiente de forma a descobrir o valor inicial de R_4 , necessita de saber o valor de R_3 no qual $\Delta V = 0$ (ponte em equilíbrio).

No entanto, reparamos que os dados indicam o seu valor em $t = 0,00^\circ\text{C}$ com um $\Delta V = 0,0250 \text{ mV}$ e um $R_3 = 1125,39 \Omega$ ($\text{Era } \approx 13,5\%$). \oplus

$\approx 1000 \Omega \rightarrow$ resistência do termômetro 0°C
sendo que $R(25) \approx 1125 \Omega$

Logo, fazendo o sentido de descobrir a resistência inicial da R_4 .

pointo considerado como devedoso

Tabela 5

t ($\pm 0,01$)s	ΔV ($\pm 0,0001$) mV	R3 ($\pm 0,01$) Ω	ΔR ($\pm 0,01$) Ω	ΔV ajuste ($\pm 0,002$) mV	Resíduos de ΔV ($\pm 0,02$) mV
0,00	0,0250	1125,39	125,39	0,0266	0,0016
30,08	0,0269	1125,72	125,72	0,0267	-0,0002
60,29	0,0271	1126,52	126,52	0,0269	-0,0002
91,48	0,0273	1127,44	127,44	0,0271	-0,0002
120,38	0,0275	1128,33	128,33	0,0273	-0,0002
150,40	0,0277	1129,25	129,25	0,0275	-0,0002
180,69	0,0279	1130,21	130,21	0,0277	-0,0002
210,01	0,0280	1131,11	131,11	0,0279	-0,0001
240,69	0,0282	1132,07	132,07	0,0281	-0,0001
270,40	0,0284	1133,02	133,02	0,0283	-0,0001
300,52	0,0286	1133,99	133,99	0,0285	-0,0001
330,39	0,0288	1134,90	134,90	0,0287	-0,0001
360,15	0,0290	1135,79	135,79	0,0289	-0,0001
390,49	0,0292	1136,71	136,71	0,0291	-0,0001
420,09	0,0293	1137,62	137,62	0,0293	0,0000
450,47	0,0295	1138,54	138,54	0,0295	0,0000
480,67	0,0297	1139,42	139,42	0,0297	0,0000
510,82	0,0299	1140,30	140,30	0,0299	0,0000
540,09	0,0301	1141,14	141,14	0,0301	0,0000
570,98	0,0302	1142,00	142,00	0,0303	0,0001
600,28	0,0304	1142,82	142,82	0,0305	0,0001
630,69	0,0306	1143,66	143,66	0,0307	0,0001
660,35	0,0307	1144,45	144,45	0,0308	0,0001
688,16	0,0309	1145,19	145,19	0,0310	0,0001

Gráfico 2 - ΔV em função de ΔR (excluindo o ponto duvidoso)

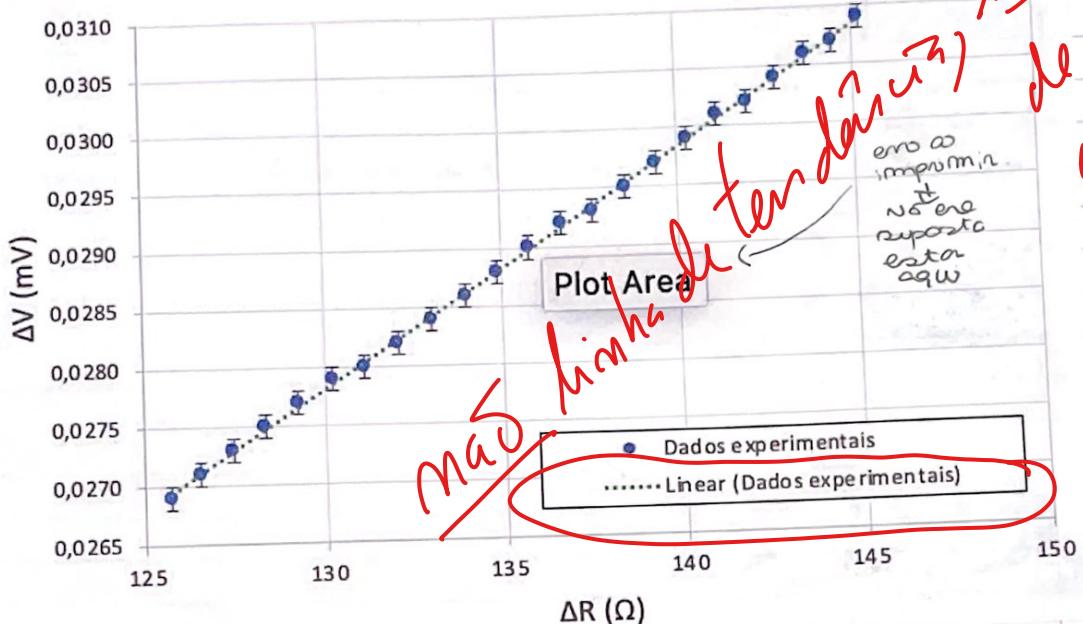


Gráfico 1 - ΔV em função de ΔR

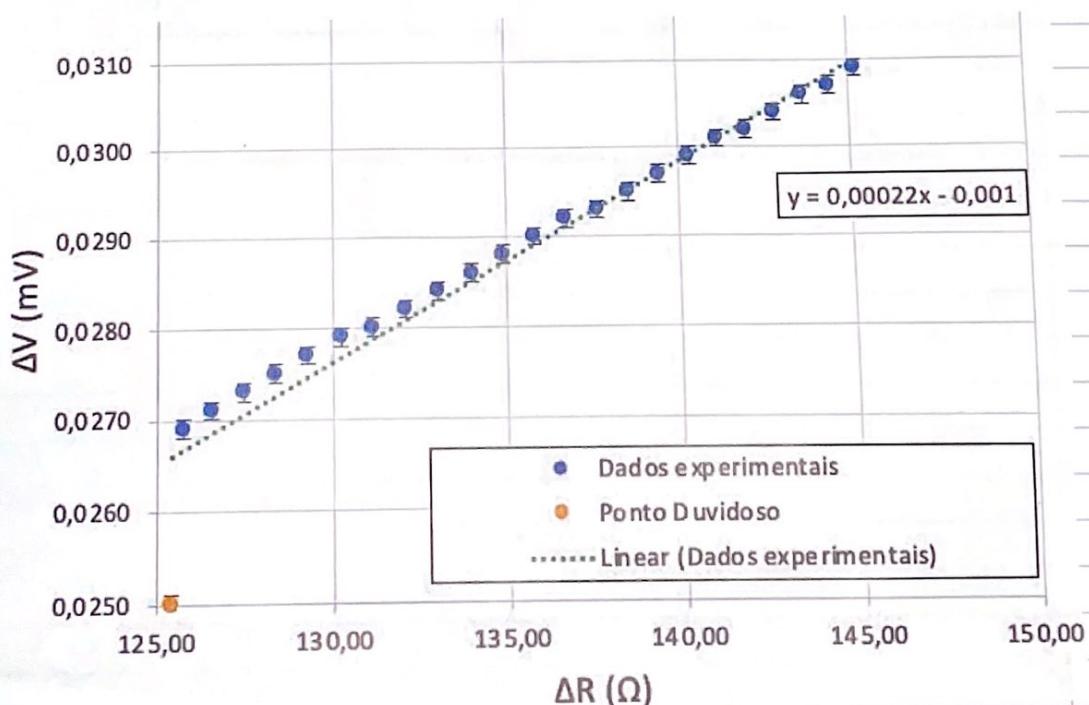


Tabela 6 - Matriz de ajuste ao gráfico 1

m	0,00022	-0,001	b
sm	0,000001	0,002	sb
r ²	0,94	0,0004	sy

Tabela 7 - Matriz de ajuste ao gráfico 2

m	0,000202	0,0015	b
sm	0,000001	0,0001	sb
r ²	0,9994	0,00003	sy

nenh vale a pena!

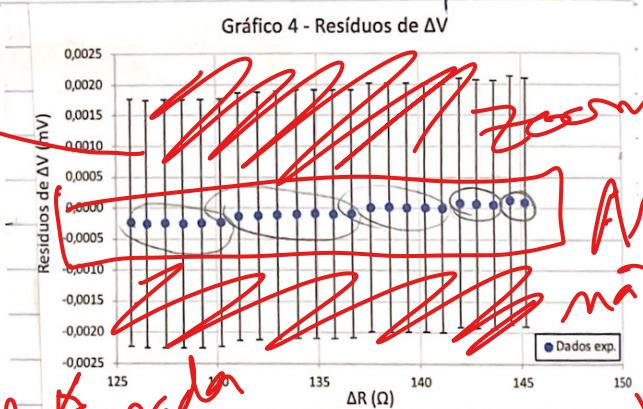
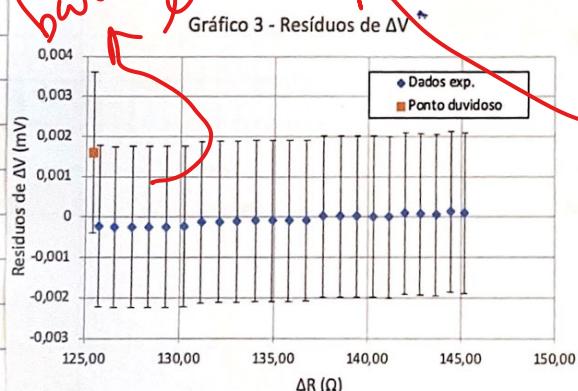
A partir dos gráficos concluímos que a p.w. não está em equilíbrio!!

Embora ΔV esteja perto de $0,00^{mV}$ ($0,0250\text{ mV}$)
 $\Delta V \approx 0$

Para $\Delta V = 0$ $R_3 = 1000\text{ }\Omega$ ($\Delta R = 0\text{ }\Omega$) = 0°
 como o mossa $R_{3i} = 1125,39\text{ }\Omega$ ($\Delta R_i = 125,39\text{ }\Omega$)
 a resistência do termômetro estará a uma temperatura acima de 25° , pois $R(1100) \neq 25^\circ$

O que comprometerá as medições conduzidas experimentalmente

Analisando o gráfico 3 constata-se que os dados seguem uma tendência linear (como era esperado) e que a ordemada na origem tem um valor diferente de 0,6 esperado para uma temperatura também diferente de 0°C .
 s/pontos desviados



* Resíduos de ΔV com pontos desviados

escala errada
 podemos dividir os resíduos em 5 grupos

As barras de erro têm um valor fixo de $0,001\text{ mV}$

$0,0001\text{ mV}$???

*(Com m^o comigo nem
m^o de m^o p^o f^o m^o)
Lembrei validar*

Através dos gráficos de resíduos podemos observar que o resíduo máximo absoluto é da ordem de grandeza da incerteza de ΔV do ajuste.

Este apresenta uma tendência crescente de distribuição de dados agrupados em 5 grupos (com exceção dos duvidosos) se encontram próximos de 0. Concluímos que a gama experimental apesar dos resíduos, apesar de não serem todos em conta que a maioria era adequada, a maioria estava a priori estando em equilíbrio e que os ajustes realizados foram satisfatórios.

Gráfico 2

ΔV
(mV)

→ pontos apresentam uma tendência linear à primeira vista.

$\Delta R (\Omega)$

Gráfico 2 - ΔV em função de ΔR (excluindo o ponto duvidoso)

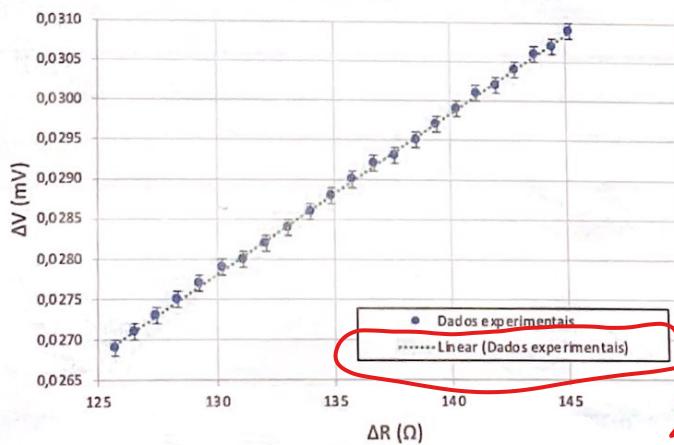


Tabela 7 - Matriz de ajuste ao gráfico 2

m	0,000202	0,0015	b
sm	0,000001	0,0001	sb
r ²	0,9994	0,00003	sy

*m^o, b^o, (ajuste)
s^o / m^o, b^o / limha c/*

$\Delta V (\text{mV})$ $\Delta R (\Omega)$

$$y = 0,000202 + 0,0015$$

resolvendo para $\Delta V = 0 \Rightarrow R_3 = 1000\Omega \Rightarrow T = 0^\circ\text{C}$

$$0 = 0,000202x + 0,0015 \Rightarrow x = -7,4 \pm 0,7 \Omega$$

$$R_{3i} = \frac{x}{R_3} - \Delta R$$

$$\mu(\Delta R) = \sqrt{\left(\frac{1}{m} \cdot \delta \Delta V\right)^2 + \left(-\frac{1}{m} \cdot \delta b\right)^2 + \left(-\left(\frac{\Delta V - b}{m^2}\right) \cdot \delta m\right)^2}$$

$$= \pm 0,7 \quad 9,4\% \text{ de incerteza percentual}$$

$$\bar{R}_3 = 1135,25 \Omega$$

$$R_{3i} = 1142,65 \Omega \leftarrow \text{verifica-se que a p.w.m.}\newline \text{está em equilíbrio.}$$

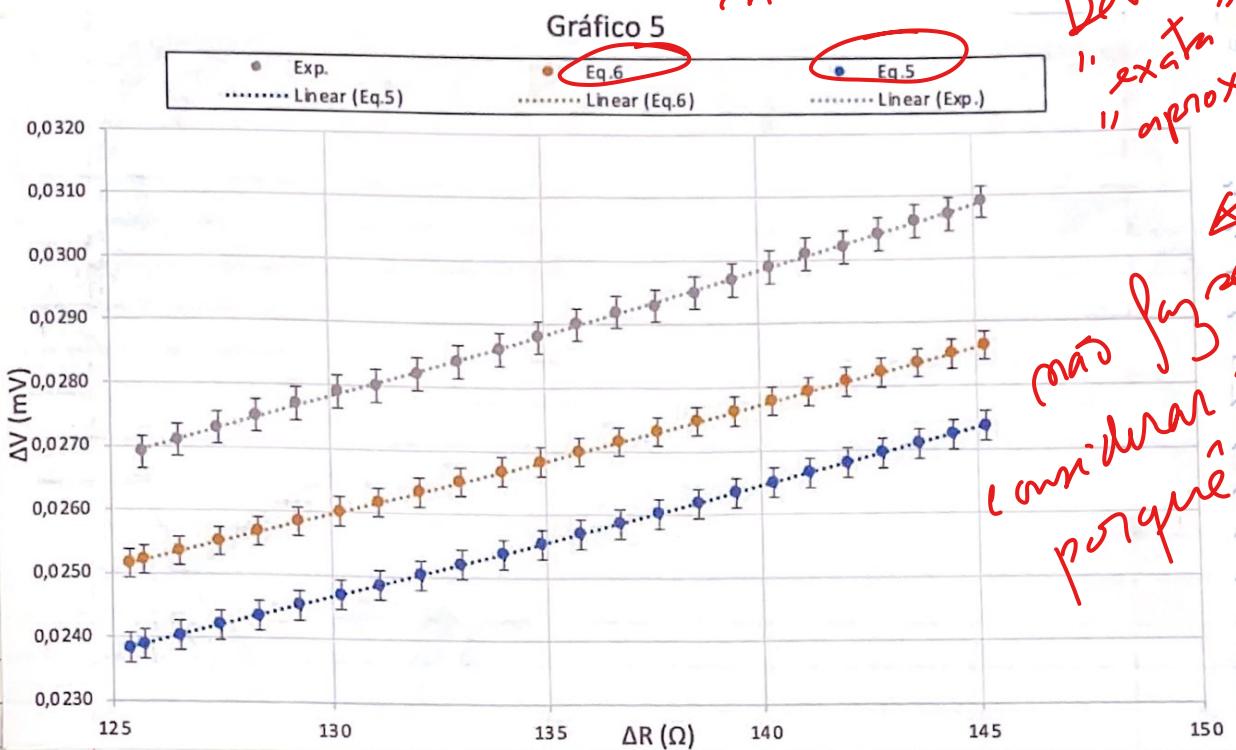
$$R_{3i} = R_4 = 1142,65 \pm 0,7 \Omega$$

Leitura: $\mu(R) = 1142,65 \Omega$ com 1 decimal
utilizando a equação 6

utilizando as equações 5 e 6 é possível realizar
ajustes técnicos e comparar os os dados obtidos
experimentalmente.

ordem de
registo de
leitura

é esse valor que deve ser considerado R'
gerar a tabela
2a. exista $\mu_{\text{com}} R = 1000\Omega$



• nos pontos da eq. 5 e 6 foram calculados bairros de incerteza com um valor ^{fixo} de $\pm 0,00003 \Omega$ → porque?

• nos pontos da reta regressão linear exp foram calculados bairros de incerteza com um valor ^{fixo} de $\pm 0,0001 \Omega$

Tabela 7 - Matriz de ajuste ao eq. 5			
m	0,000202	0,0015	b
sm	0,000001	0,0001	sb
r ²	0,9994	0,00003	sy

Tabela 8 - Matriz de ajuste à eq 5			
m	0,00017852	0,001446	b
sm	0,00000008	0,000011	sb
r ²	0,999995	0,000003	sy

Tabela 9 - Matriz de ajuste à eq 6			
m	0,0001752	0,00319	b
sm	0,0000002	0,00002	sb
r ²	0,99998	0,000005	sy

equação exata:

$$\Delta V = \Delta R \cdot S_{\text{fator}} + 4 \times R_y + 2 \Delta R$$

equação aproximada

$$\Delta V = \frac{\Delta R \cdot S}{4 \cdot R_y} \quad (6)$$

Tabela 6 - Determinação de ΔV através das eq 5 e 6

$\Delta V (\pm 0,00003)$ mV (eq.5)	$\Delta V (\pm 0,00003)$ mV (eq.6)
0,02383	0,02515
0,02388	0,02521
0,02403	0,02535
0,02419	0,02552
0,02435	0,02568
0,02452	0,02584
0,02469	0,02601
0,02485	0,02617
0,02502	0,02634
0,02519	0,02650
0,02537	0,02667
0,02553	0,02683
0,02569	0,02699
0,02585	0,02715
0,02602	0,02731
0,02618	0,02747
0,02634	0,02762
0,02649	0,02778
0,02664	0,02792
0,02679	0,02807
0,02694	0,02821
0,02709	0,02836
0,02723	0,02849
0,02736	0,02862

NOTA !!



equações 6 e-
resultados de
uma aproximação
da equação 5 para
 320°C

Máx máxível !

Observando o gráfico 5 é possível aferir que
as relações dados pelos declives das duas
equações não semelhantes à obtida experimentalmente,
e assim para o cálculo de erros foram
computadas as variações dos declives dado
pelos diferentes ajustes teóricos e experimentais.

$$m_{eq_0} = 0,000202 \pm 0,000001 \text{ mV/s}$$

$$m_{eq_5} = 0,00017852 \pm 0,000011 \text{ mV/s}$$

$$m_{eq_6} = 0,0001752 \pm 0,0000002 \text{ mV/s}$$

Enes utilizando a equação 5: 13%
Enes utilizando a equação 6: 15%

demasiado duro:
algo está
errado no
que fiz!

→ Resultados finais

1ª parte: Resistências

$$R_a : 1198,900 \pm 0,002 \Omega \quad \text{Enr: } 0,5\%$$

$$R_b : 2164,000 \pm 0,002 \Omega \quad \text{Enr: } 2,1\%$$

$$R_c : 329 + 500 \pm 0,002 \Omega \quad \text{Enr: } 1,8\%$$

$$R_d : 6659,900 \pm 0,002 \Omega \quad \text{Enr: } 1,6\%$$

$$R_p : 625,500 \pm 0,002 \Omega \quad \text{Enr: } 1,2\%$$

2ª Parte: Resistência do termômetro de platina

$$\text{de alicíve} \quad R_p = 0,000202 \pm 0,000001 \text{ mV/}^\circ\text{C}$$

$$\text{Enr eqs } 5 = 13\%$$

$$\text{Enr eqs } 6 = 15\%$$

1/º inc?
2/º inc?

→ Conclusão

Verificou-se que o p.W. em eq. é um método que garante
99,9% < ... e 99,99% < ...
Da primeira parte desta atividade laboratorial,
face os resultados obtidos, confirmaram-se
os valores das resistências esperadas, quer pela
indicação pelos códigos de cores, quer pela medida
com o ohmímetro obtendo valores muito próximos
dos esperados com erros entre 0,5% e 2,1%. Com
a realização desta primeira parte também se
confirmaram as leis de associação de resistências,
obtendo um erro de 1,6% para a esperada pela
lei de associação em série e 1,2% para a
esperada para lei de associação em paralelo.

Da segunda parte da atividade, observamos
que a diferença de potencial aumenta como
aumento da resistência do termômetro, causado

(quando se
comparam os
valores obti-
dos e um
ohmímetro)

... mas foi possível confirmar o equilíbrio a 0°C

pelo aumento da temperatura conforme o esperado pelos pressupostos teóricos.

Uma vez que a massa ponte não estava em equilíbrio, os erros fez às equações serem não bastante elevados, obtivemos um erro mais maior, na eq. 6 (15%) do que na eq. 5 (13%), este põe a equação 6 em resultados de uma ~~aproximação~~ aproximação da equação 5 para $\theta = 0^\circ\text{C}$, condições ambientais diferentes das que se realizou esta experiência.

Por fim, analisamos também que os principais erros podem estar associados ao facto de determinar massas das condições iniciais (ponte em equilíbrio), o que é de facto do sistema não estar ~~em equilíbrio~~ num ponto de equilíbrio, pois todos os tensões medidas não superiores a 0. (podíamos ter começado com 0).

0,02679

0,02694

0,02709

0,02723

0,02738

0,02753

0,02768

0,02783

0,02798

0,02813

0,02828

0,02843

0,02858

0,02873

0,02888

0,02903

0,02918

0,02933

0,02948

0,02963

0,02978

0,02993

0,03008

0,03023