

[11] - Identificação do Metal e de um Semicondutor a partir do comportamento teórico.

Conexões para montar o seguinte circuito

A₁ - Multímetro
Matrix MX54

A₂ - Multímetro
Digital Phillips
PM2421

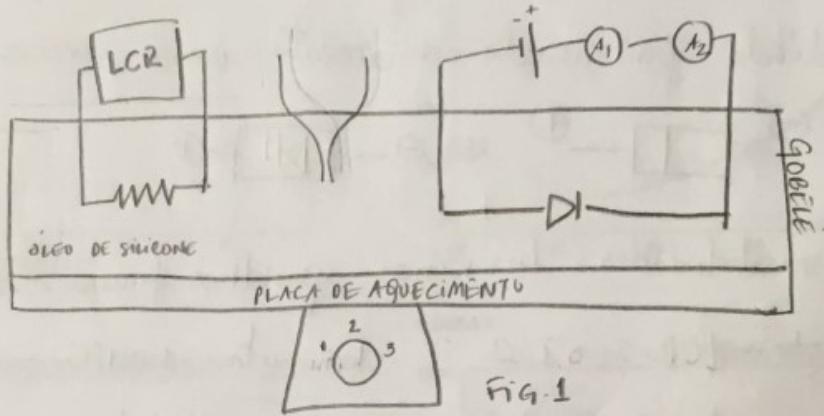


FIG.1

A fonte de tensão utilizada era de 15V e o disco de aquecimento tinha um controlador de potência (numerado de 1 a 3)

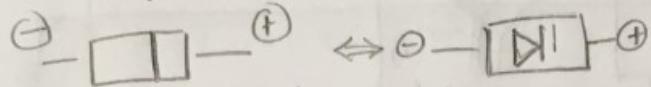
Este circuito apresenta uma alteração em relação ao proposto no protótipo. Ao invés de termos apenas um multímetro em série, tínhamos dois (A₁ e A₂). O A₂ é bastante mais sensível que o A₁, permitindo discernir oscilações mais pequenas nos valores enquanto que o A₁ apresenta um arredondamento dessas oscilações.

Para a montagem no interior do gobeli tiremos o cuidado de garantir que o fio de cobre e o termopar se encontravam no centro destes. Todos os dispositivos e amostras estariam num banho de óleo de silicone. A utilização do óleo é fundamental nesta atividade pois

→ apresenta uma elevada capacidade térmica, ou seja, demora algum tempo a aquecer assim como a arrefecer, o que permite uma boa recolha de pontos uma vez que mantém a temperatura estável.

→ o ponto de ebulição do óleo de silicone encontra-se muito acima do valor máximo de temperatura que atingimos durante a atividade

O diodo foi usado no circuito em reverse-bias:



As sensibilidades dos rádios aparelhos eram as seguintes:

- LCR: 0.1Ω Termômetro: $\pm 0.1^\circ\text{C}$

- $A_1: \pm 0.01\mu\text{A}$ $A_2: \pm 0.01\text{nA} / \pm 0.01\mu\text{A}^{\otimes}$

* Trabalhamos com o A_2 em modo AUTO dai apresentar escadas.

Apesar para o A_1 quer para o A_2 , as escalas foram selecionadas /corroboradas pelos cálculos feitos na preparação do trabalho.

Seguidamente, procedemos à recolha de dados segundo o seguinte procedimento:

1. Colocamos a placa de aquecimento na potência 1 e registramos os valores de temperatura ($^\circ\text{C}$), resistência (Ω) e intensidade de corrente (nA)

2. Aos 10°C desligamos a placa de aquecimento, continuando a registrar valores

3. Continuámos a registar até a temperatura reduzir para os 33°C

4. Repetimos o mesmo procedimento de subida e descida com a placa de aquecimento na potência 3.

com estes dados construimos os gráficos 1 a 4, onde

NOTA: Os erros associados às valoress recolhidos tiveram em conta a sensibilidade do aparelho. Porém, para o amperímetro, uma vez que apresentava oscilações significativas, considerámos a 1ª casa decimal estável.

Análise dos resultados

① $p \text{ vs. } T$ = resistividade & temperatura

A relação entre estas grandezas é, em aproximação, dada por (1) $p(T) = p_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$ onde $\rho = \frac{\pi A}{l}$, A - área desecção do fio e l - comprimento do fio.

Os valores do diâmetro do fio - d - para o cálculo de A e os valores de l estão na Tabela 1.

② Medições com a Potência 1

Uma vez que (1) traduz uma dependência linear entre p e T , reduzimos a gama experimental para que a aproximação fosse aplicável.

Selecionámos a gama contida em $[10,50]^\circ\text{C}$ e fiz-se o ajuste linear a esse conjunto de dados, um para a subida e outro para a descida.

Com este ajuste obtivemos os gráficos 5A e 5B.

Para a determinação do coeficiente α de (1) basta notar que

$$p = \alpha p_0 (T - T_0) + p_0 \Leftrightarrow y = mx + b$$

Portanto, $\alpha = \frac{m}{p_0}$. O valor de p_0 corresponde à resistividade do fio no inicio da recolha de dados. Em particular, a temperatura mínima para a subida e a temperatura máxima para a descida.

Obtiremos

$$\Rightarrow \alpha_{\text{subida}} = (3.86 \pm 0.01) \times 10^{-3}, \% \text{ erro} = 0.08\%$$

$$\Rightarrow \alpha_{\text{descida}} = (3.97 \pm 0.01) \times 10^{-3}, \% \text{ erro} = 3\%$$

O valor de referência utilizado foi $\alpha_{\text{ref}} = 3.86 \times 10^{-3}$ (20°C)
tirado de [1]

Uma análise adicional que fizemos foi estudar a derivada da expressão (1). Assim, não teríamos a dependência de α em T_0 .

$$\frac{dp}{dT} = \frac{d}{dT}(p_0(T-T_0) + p_0) = [\alpha p_0]$$

Para o mesmo intervalo / gama de ajuste, a derivada é de facto aproximadamente constante

$$\cdot \text{SUBIDA: } \approx 3.2 \pm 1.9 \Omega \text{mm}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\cdot \text{DESCIDA: } \approx 3.1 \pm 2.2 \Omega \text{mm}^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Nos gráficos 5A e 5B vemos que alguns pontos apresentam um desvio significativo da média. De forma a tentar avaliar o impacto destes desvios no valor da média, realizámos um estudo da distribuição dos valores das derivadas - gráficos 6A e 6B

Verifica-se que as distribuições para a subida e descida são bastante semelhantes e que ambas, os valores estão contidos no intervalo $[5, 6]$, desvio padrão da média de valores.

1.2 Medição com a potência 3

A análise foi análoga a 1.1, sendo que neste caso obtivemos os gráficos 7A e 7B.

Os valores de α foram:

$$\rightarrow \alpha_{\text{subida}} = (3.25 \pm 0.07) \times 10^{-3}, \gamma_{\text{erro}} = 16\%$$

$$\rightarrow \alpha_{\text{descida}} = (3.77 \pm 0.01) \times 10^{-3}, \gamma_{\text{erro}} = 2\%$$

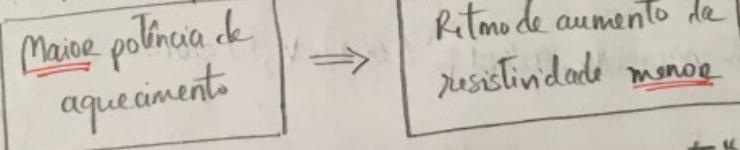
Foi feito o mesmo estudo da derivada e distribuição de valores, tendo sido obtidos os distribuições em 8A e 8B e os valores:

$$\cdot \text{SUBIDA: } \approx (1.9 \pm 1.3) \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^{\circ\text{C}^{-1}}$$

$$\cdot \text{DESCIDA: } \approx (2.5 \pm 1.8) \times 10^{-3} \Omega \text{ mm}^{\circ\text{C}^{-1}}$$

Neste caso, não observamos a mesma simetria entre a subida e a descida na distribuição dos valores. Certos pontos nos extremos da gama têm influência preponderante na média.

Das análises para aquecimento/arrefecimento, conclui-se que



O fio de cobre tem um certo "tempo de resposta" a alterações de temperatura, que, neste caso, concluímos ser maior que a taxa de aquecimento com a potência 3.

Para além disso, verificámos que quer em 1.1 quer em 1.2, na descida, a relação $p(T)$ decresce a um ritmo de $\approx 0.002 \Omega \text{ mm}^{\circ\text{C}^{-1}}$. Ou seja, a descida é independente da potência de aquecimento. Esta observação é plausível uma vez que o arrefecimento do fio de cobre depende apenas da sua condutividade e capacidade térmicas do cobre.

O valor final de α é:

$$\bar{\alpha} = (3.86 \pm 0.006) \times 10^{-3}, \gamma_{\text{erro}} = 0.2\%, \text{ incerteza relativa} = 0.15\%.$$

② \rightarrow Corrente no diodo em reverse bias. Temperatura

A corrente num diodo é dada por $I(T) = A e^{-\frac{\Delta}{k_B T}}$

Linearizando esta expressão para

$$\ln(I) = \ln(A) - \frac{\Delta}{k_B T} \quad (2)$$

Tomando como abcissa Δ/T e ordenada $\ln(I)$

2.1 Medidas com a potência 1

com a expressão (2) e removendo pontos duvidadosos, i.e., aqueles cujos valores de resíduos superiores a 10% obtivemos os gráficos 9 e 10

Do dedire do ajuste foi possível calcular o bandgap Δ

$$m = -\frac{\Delta}{k_B} \Rightarrow \Delta = -m k_B$$

Obtivemos:

$$\rightarrow \Delta_{\text{subida}}: (0.6180 \pm 0.0006) \text{ eV}, \% \text{ erro: } 8\%$$

$$\rightarrow \Delta_{\text{descida}}: (0.601 \pm 0.001) \text{ eV}, \% \text{ erro: } 10\%$$

2.2 Medidas com a potência 3

Analogamente, às medidas para a potência 1, analisamos os dados linearizados para a potência 3, tendo sido obtidos os gráficos 11 e 12 e os valores

$$\rightarrow \Delta_{\text{subida}}: (0.619 \pm 0.003) \text{ eV}, \% \text{ erro: } 8\%$$

$$\rightarrow \Delta_{\text{descida}}: (0.603 \pm 0.002) \text{ eV}, \% \text{ erro: } 10\%$$

O valor final (média ponderada) dos dois casos é

$$\bar{\Delta} = (0.6130 \pm 0.0005) \text{ eV}, \% \text{ erro: } 8\%, \text{ e incerteza relativa: } 0.08\%$$

⇒ CONCLUSÕES

Verificamos a aproximação que descreve a dependência linear entre a resistividade do cobre (dos metais em geral) com a temperatura na gama aplicável. A partir deste estudo conseguimos determinar o coeficiente de variação relativa - α -

$$\bar{\alpha} = (3.86 \pm 0.006) \times 10^{-3}$$

$$\% \text{ erro} = 0.2\%$$

Constatou-se que a potência com a qual se aquece a amostra tem apenas influência no aquecimento e não no arrefecimento.

Foi determinada a bandgap do material do diodo,

$$\bar{E_g} = (0.6130 \pm 0.0005) \text{ eV}$$

$$\% \text{ erro} = 8\%$$

valor com o qual inferimos que se tratava de um diodo de germanio

Foi estimado o intervalo de valores nos quais está contida a espessura da zona de depliegue para um diodo de germanio:

$$w \in [5, 33] \mu\text{m}$$

Anexo

→ Incertezas e fórmulas

$$\cdot \mu(\alpha_{\text{exp}}) = \sqrt{\frac{\mu^2(\alpha)}{P_0^2} + \frac{(m \cdot \mu(p_0))^2}{P_0^4}}$$

$$\cdot \mu(p_0) = \mu(R) \cdot \frac{A}{L}$$

→ Para os gráficos $I \leq T$:

$$\cdot \mu(n) = \frac{\mu(T)}{T^2} \quad \cdot \mu(y) = \frac{2 \mu(I)}{I}$$

→ BandGap

$$\cdot \mu(\Delta) = k_B \mu(m)$$

$$(\frac{Lk}{r})$$

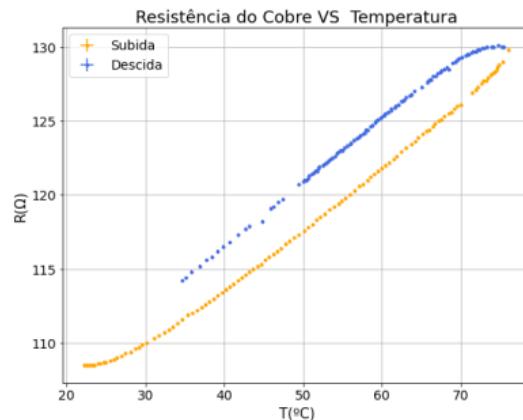


FIGURA 3

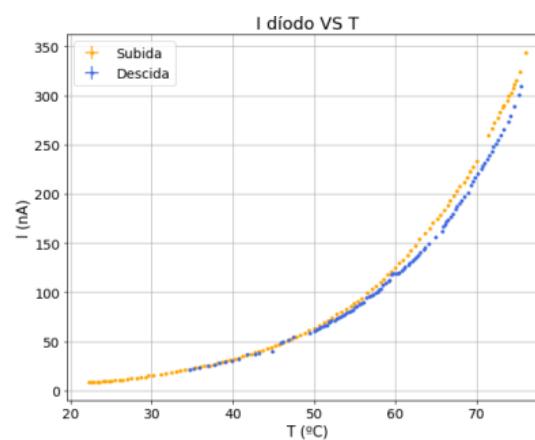


FIGURA 4

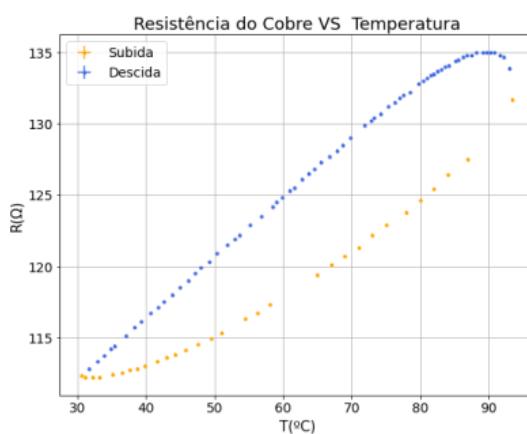


FIGURA 5A E 5B

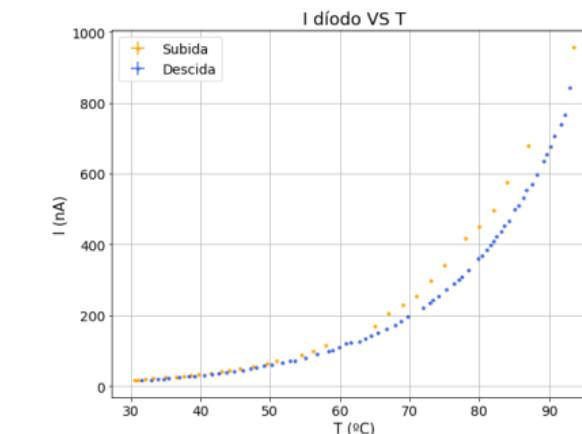


FIGURA 6A E 6B

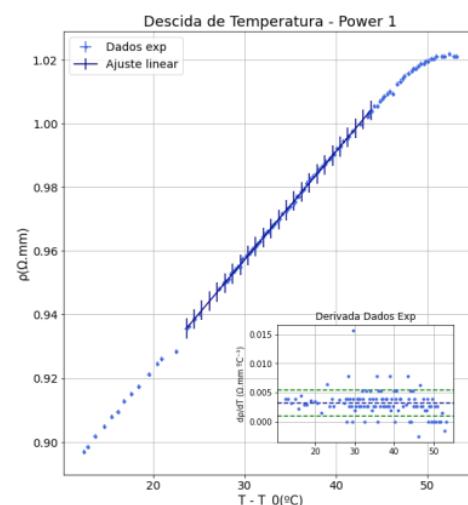
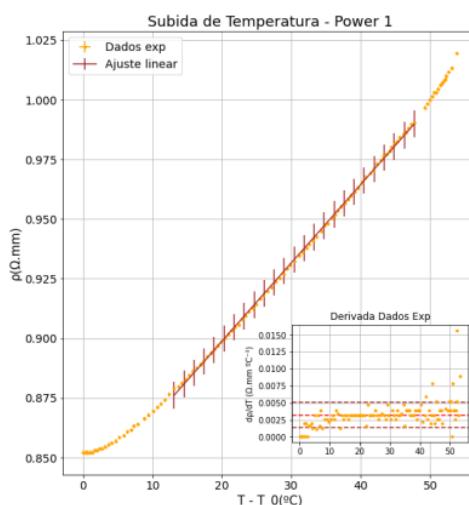


TABELA 1:

Dados Experimentais	Valor	Incerteza
V_0 (V)	15	-
T_0 subida P1 ($^{\circ}$ C)	22.3	-
R_{Cu} subida P1 (Ω)	108.5	-
T_0 descida P1 ($^{\circ}$ C)	76.1	-
R_{Cu} descida P1 (Ω)	129.8	0.1
T_0 subida P3 ($^{\circ}$ C)	30.6	-
R_{Cu} subida P3 (Ω)	112.3	-
T_0 descida P3 ($^{\circ}$ C)	93.5	-
R_{Cu} descida P3 (Ω)	131.7	-
Dimensões fio		
L (cm)	10	-
d(mm)	1	-
A(m^3)	7.85E-07	-

Parâmetros das derivadas

Parâmetros de Ajuste Linear Subida P1		
m	3.29E-06	1E-08
b	8.331E-04	3.00E-07
r^2	0.9994	6E-06
Parâmetros de Ajuste Linear Descida P1		
m	3.39E-06	1E-08
b	8.556E-04	3E-07
r^2	0.9995	3E-06
Parâmetros de Ajuste Linear Subida P3		
m	2.87E-06	7E-08
b	8.380E-04	3E-06
r^2	0.996	7E-06
Parâmetros de Ajuste Linear Descida P3		
m	3.328E-06	7E-09
b	8.830E-04	2E-04
r^2	0.9998	7E-06

FIGURA 6A

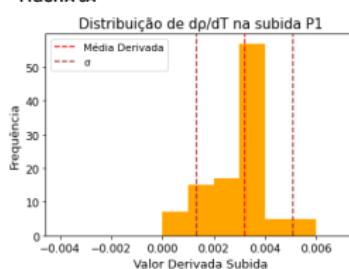


FIGURA 6B

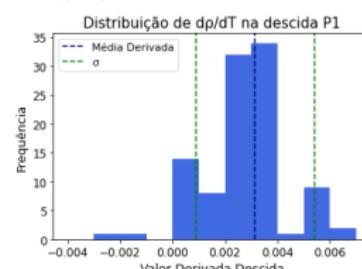


FIGURA 7A e 7B

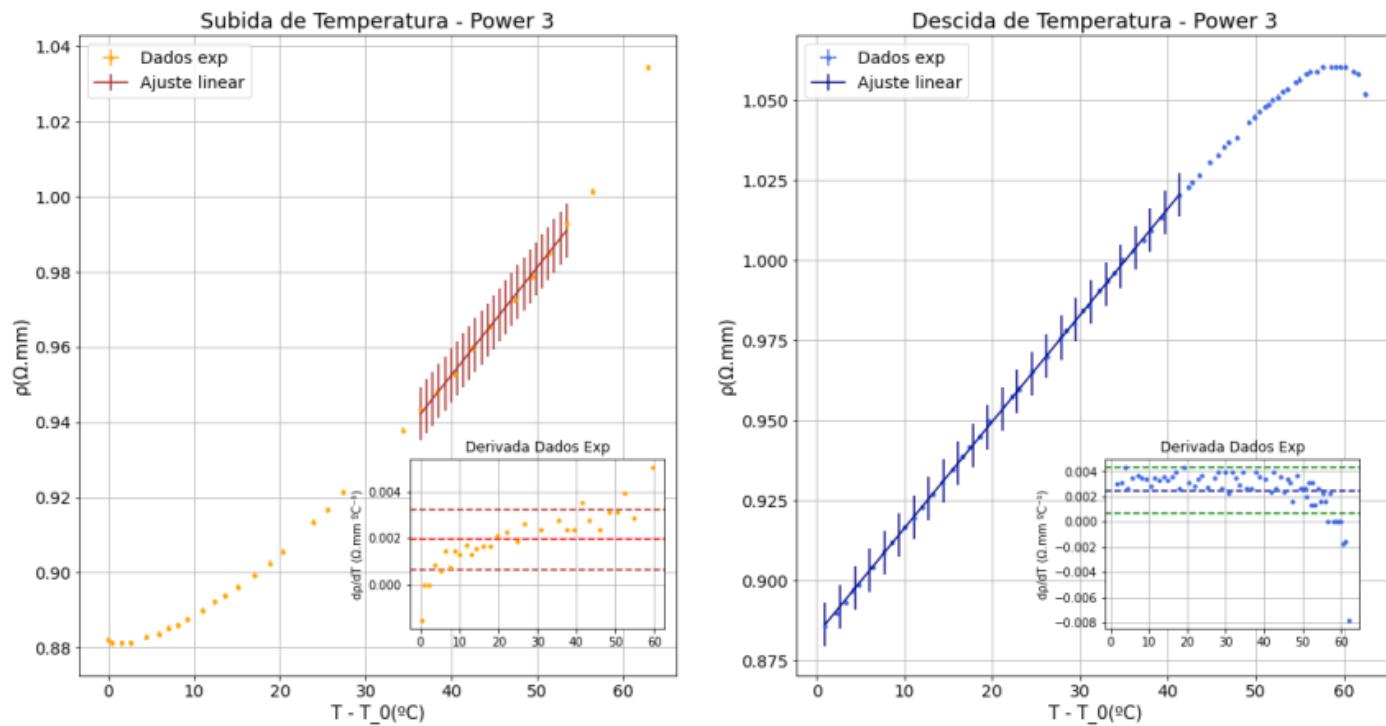


FIGURA 8A

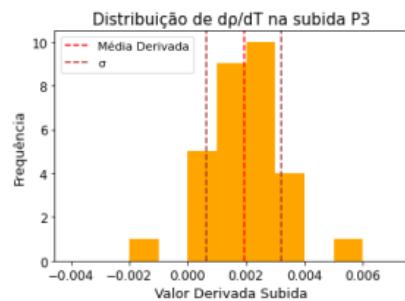
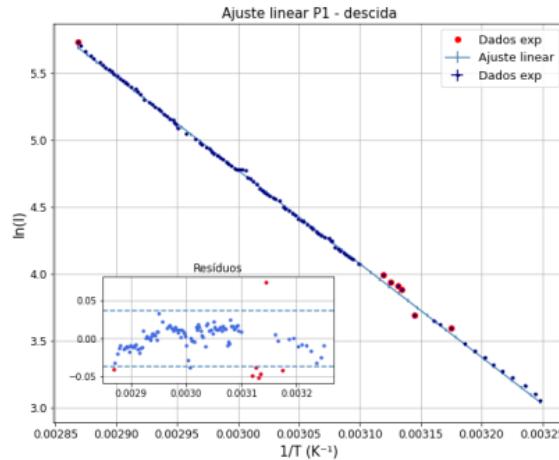
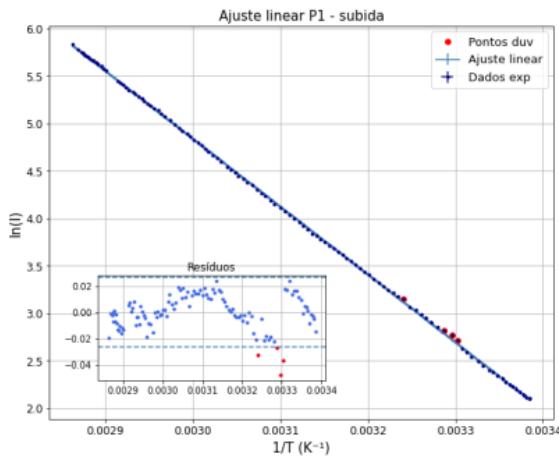
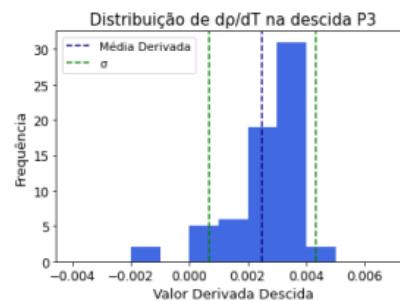


FIGURA 8B



Parâmetros de Ajuste Linear Subida P1			
m	-7,172	7	u(m)
b	26.36	0.02	u(b)
r ²	0.99990	0.01	u(y)

Parâmetros de Ajuste Linear Descida P1			
m	6,978	15	u(m)
b	25.71	0.04	u(b)
r ²	0.9996	0.01	u(y)

Ajuste linear P3 - subida

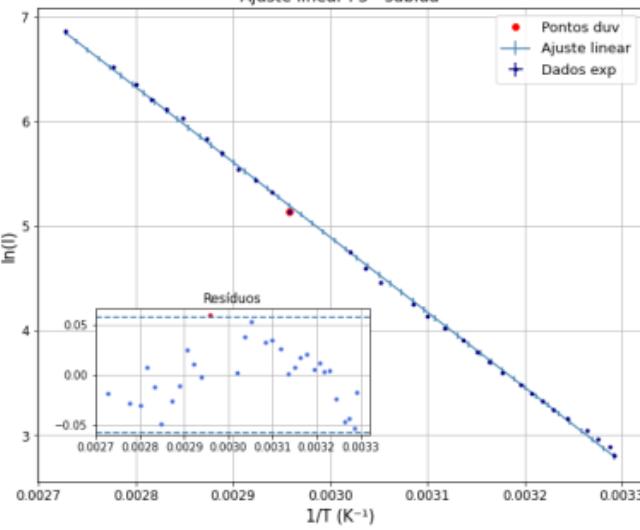


FIGURA 12

Ajuste linear P3 - descida

