

Relatório 3: Condutividade de Componentes

Daniel de Sousa Cipriano - RA 233228

Thyago Martins Paula Santos - RA 237752

Otávio Araujo Valderrama - RA 254099

1. TEXTO PRINCIPAL

O objetivo desse experimento foi analisar o comportamento das curvas características de corrente por tensão, de dois dispositivos condutores, um resistor e um diodo, observando o diferente comportamento das curvas para os dois diferentes tipos que classificam esses dispositivos, resistor ôhmico e diodo não ôhmico. Em dispositivos eletrônicos, a resistência (R) é uma grandeza utilizada para manipular tensões e correntes, sendo medida pela razão da amplitude da diferença de potencial (V) por amplitude de corrente (I). A ddp cria um campo elétrico entre as extremidades de um dispositivo condutor, esse campo gera uma força que ocasiona a movimentação de elétrons em um material condutor, esse movimento é caracterizado como a corrente que percorre o dispositivo.

Pensando na resistência como uma função da tensão e a corrente como consequência desta, a resistência pode assumir valores constantes, dispositivos que seguem essa determinação são chamados ôhmicos. Para um dispositivo ser ôhmico ele necessita seguir a Lei de Ohm. A Lei de Ohm afirma que para condições de temperatura constante (entre outras condições) a resistência também é constante, o que significa que a resistência não varia com a tensão. Dispositivos que não seguem essa determinação, são chamados dispositivos não ôhmicos, nesse caso, a resistência pode variar com valores de tensão e corrente.

Considerando um resistor ôhmico com resistência nominal e um diodo de silício operando em uma pequena faixa de polarização direta e inversa, o valor da resistência desses dispositivos pode ser estimado pela Equação 1. Para determinarmos como um dispositivo conduz corrente em função da variação de tensão, podemos analisar as curvas características deles, esboçando um gráfico $I \times V$, no qual a corrente é posta no eixo das ordenadas (variável dependente) e a tensão no eixo das abscissas (variável independente).

$$R(V) = V/I \quad (1)$$

Os materiais utilizados para a realização do experimento foram: um resistor com resistência nominal igual a 100 ohms ($\pm 5\%$), um diodo de silício, um resistor de proteção de resistência nominal igual a 220 ohms, dois multímetros, uma fonte de tensão e uma protoboard.

Para montagem dos circuitos necessários na obtenção das curvas características, é necessário avaliar as resistências internas dos aparelhos (amperímetro e volímetro) que fazem parte do sistema. A resistência interna dos equipamentos é coletada através de um ohmímetro. Para isso é montado um circuito no qual dois multímetros, nas funções ohmímetro e amperímetro, são conectados um ao outro. Através desse circuito o ohmímetro lê a resistência interna do amperímetro. Sendo esse o mesmo método utilizado para encontrar a resistência interna do volímetro.

Para a obtenção da curva característica do resistor foi adotado o circuito representado pela Fig. 1. Nesse circuito, o valor de tensão é medido sem interferência em todo o sistema, enquanto a corrente é dada pela soma da corrente no dispositivo com a corrente no volímetro. Esse caso é ideal, pois, uma vez que a resistência interna do resistor de $(100 \pm 5\%)$ ohms é muito menor que a resistência interna do multímetro operando em modo volímetro, medida por $(11,053 \pm 0,002)$ mega ohms, a corrente medida pelo volímetro será mínima e a análise da corrente no dispositivo se torna possível. Assim, se enquadrando nas especificações do circuito.

Analisando o gráfico de curva característica para o resistor (Fig.4), obtivemos dados variando a fonte de tensão em um intervalo de 0 V a 5 V, para tensões positivas e negativas, com variação de 0,5 V para cada ponto. Foram medidos pontos até 5 V em decorrência da potência de dissipação máxima suportada pelo resistor, dada por 1/4 de Watt. Podemos observar que a relação entre a corrente e a tensão é crescente e linear, tanto para valores negativos quanto para positivos, assim, não existindo nenhum outro tipo de dependência para a sua linearidade. Essa linearidade confirma a hipótese de que a resistência do resistor é aproximadamente constante. Podemos observar essa relação também no gráfico de resistência x tensão (Fig.5), é evidente que existe uma constância na relação entre

a resistência interna do dispositivo e a tensão aplicada pela fonte de tensão, confirmando então o comportamento de dispositivo ôhmico para o resistor.

Podemos encontrar os coeficientes angular e linear deste gráfico através do ajuste através do método dos mínimos quadrados. Obtemos valores de $a = (0,0098 \pm 0,0002) \text{ A/V}$ e $b = (-1,7712 \times 10^{-6} \pm 0,0004) \text{ A}$. Dado que o coeficiente angular representa a condutância, representada pelo inverso da resistência e medida em Siemens (Ω^{-1}), podemos obter o valor da resistência do resistor (R_x), $R_x = \frac{1}{0,0098} = (101,7 \pm 2,4) \text{ ohms}$, com o valor obtido de R_x , podemos analisar que existe uma aproximação de valores, levando em consideração as incertezas, tanto para o valor de resistência nominal ($100 \pm 5\%$) ohms, quanto para o valor medido com o multímetro ($99,5 \pm 1,2$) ohms, sendo assim, notamos que os valores estão dentro da incerteza esperada. Em relação ao coeficiente linear, tem-se que este representa o ponto de interceptação da reta com o eixo das ordenadas, no experimento para o resistor, ele expressa o valor de corrente para qual a tensão é nula.

Observando o gráfico de curva característica para o diodo (Fig. 6), podemos notar que a relação entre corrente e tensão não é linear, e sim, apresenta um comportamento exponencial em uma faixa de valores na qual o diodo opera em polarização direta, com intervalo de tensão entre $(0,53 \pm 0,01) \text{ V}$ e $(0,69 \pm 0,01) \text{ V}$, na qual o valor de resistência é decrescente, e consequentemente, a corrente se torna crescente. Enquanto que, para o diodo operando em polarização inversa, com intervalo de tensão entre $(-2,86 \pm 0,01) \text{ V}$ e $(-0,83 \pm 0,01) \text{ V}$, a resistência atinge valores muito altos, o que faz a corrente medida tender a zero. Com isso podemos confirmar a hipótese de que o diodo possui comportamento de dispositivo não ôhmico.

Em relação ao circuito utilizado para obtenção de dados com o diodo em polarização inversa, tem-se que a utilização do circuito aplicado para a configuração de polarização direta, não é o mais adequado, já que, como dito anteriormente, este só é útil quando o valor da resistência do diodo é pequena em relação a resistência interna do voltímetro, o que não se aplica para o diodo em polarização inversa, que possui resistência muito elevada. Por isso, para esse caso foi utilizado o circuito representado na Fig. 3, no qual a corrente total no sistema é medida sem interferência, enquanto a tensão é dada pela queda de potencial no dispositivo, somada à queda de potencial no amperímetro. Para esse caso foi considerado o valor de resistência interna obtido para o amperímetro na escala adequada, dado por $(5,6 \pm 0,2) \text{ ohms}$.

O comportamento exponencial da curva do diodo é refletido no gráfico de resistência em função da tensão aplicada entre seus terminais (Fig. 7), no qual podemos observar o decaimento da resistência com o aumento da tensão. Podemos utilizar a relação descrita pela Equação 1 para gerar uma relação logarítmica entre as grandezas, utilizando o logaritmo neperiano e propriedades dos logaritmos, obtemos a Equação 2.

$$\ln(I) = \ln\left(\frac{V}{R}\right) = \ln(V) - \ln(R) \quad (2)$$

Gerando gráficos de resistência em função da tensão (Fig. 8) e de corrente em função da tensão (Fig. 9), ambos em escala logarítmica, podemos observar a conversão do comportamento exponencial em um comportamento linear na escala logarítmica. Esse formato possibilita a melhor visualização do decaimento não linear da resistência do diodo em função da tensão aplicada e a implicação dessa variação no crescimento da corrente.

Comparando as curvas características obtidas para o resistor de resistência nominal e para o diodo de silício, podemos observar a diferença do comportamento da corrente e variação da resistência, ambos em função da variação de tensão. Para um dispositivo ôhmico, caso do resistor, temos uma relação linear de corrente x tensão com a resistência se mantendo aproximadamente constante. Enquanto que, para o diodo em polarização direta, temos uma faixa na qual a relação é exponencial, com a resistência decrescendo em função da tensão e causando crescimento da corrente, assim como, para o diodo em polarização inversa, temos a resistência atingindo valores muito altos, fazendo com que a corrente caia para valores próximos de zero. Aplicando escala logarítmica, obtemos uma relação linear, que facilita a observação desse comportamento característico da curva do diodo.

Em relação ao resistor de proteção, sua função principal é limitar a corrente que flui pelos dispositivos de teste, aumentando a resistência do sistema e evitando sobrecargas que podem causar dano a elementos sensíveis, como o diodo.

2. FIGURAS E TABELAS

Fig. 1: Simulação no software Tinker Cad do circuito utilizado para obtenção da curva característica para o resistor

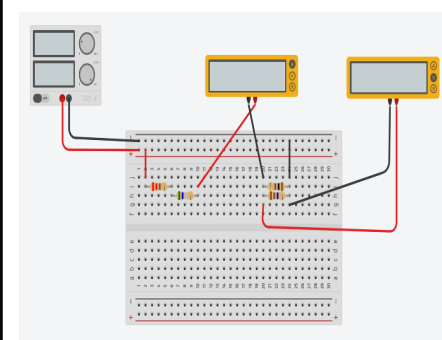


Fig. 2: Simulação no software Tinker Cad do circuito utilizado para obtenção da curva característica para o diodo em polarização direta

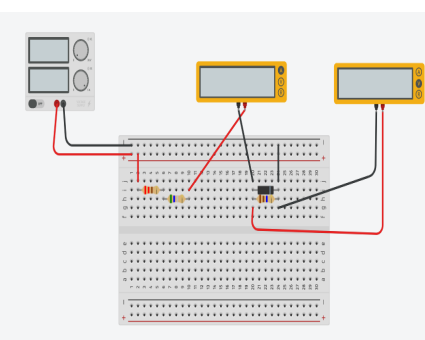


Fig. 3: Simulação no software Tinker Cad do circuito utilizado para obtenção da curva característica para o diodo em polarização inversa

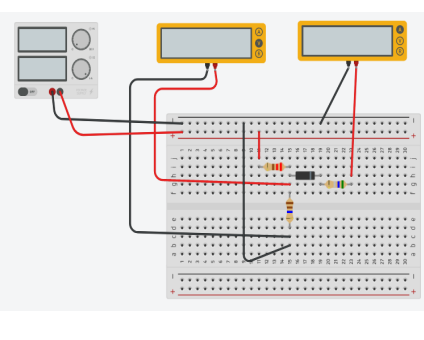


Gráfico de Curva Característica para o Resistor

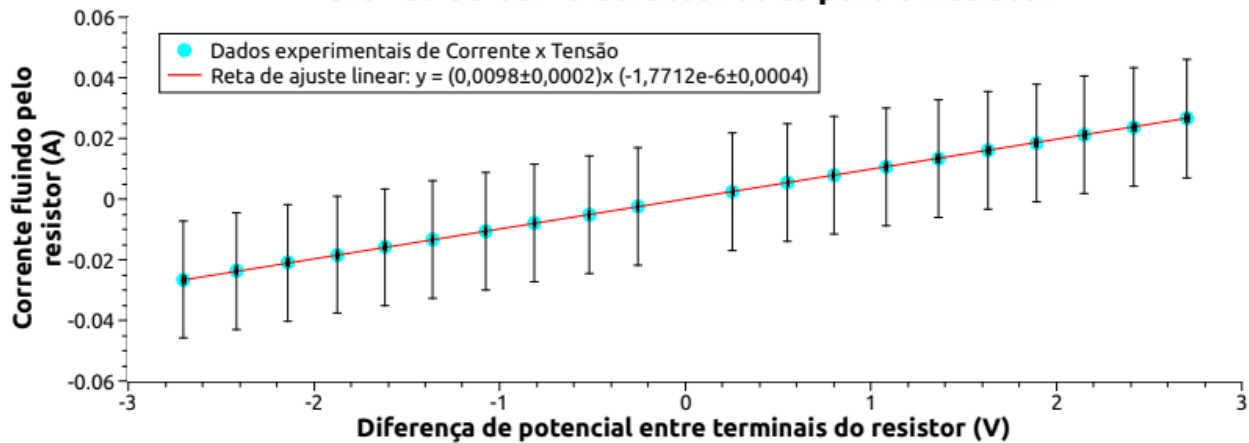


Fig. 4: Gráfico de Curva Característica com ajuste linear, para o resistor

Gráfico de resistência do resistor por variação de tensão

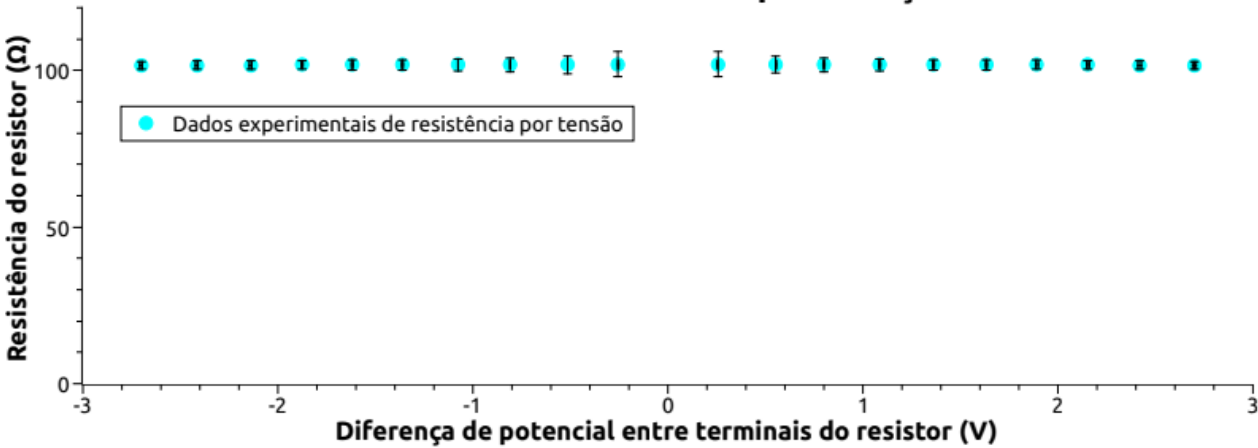


Fig. 5: Gráfico de resistência do resistor por tensão aplicada entre os terminais

Gráfico de curva característica para o diodo

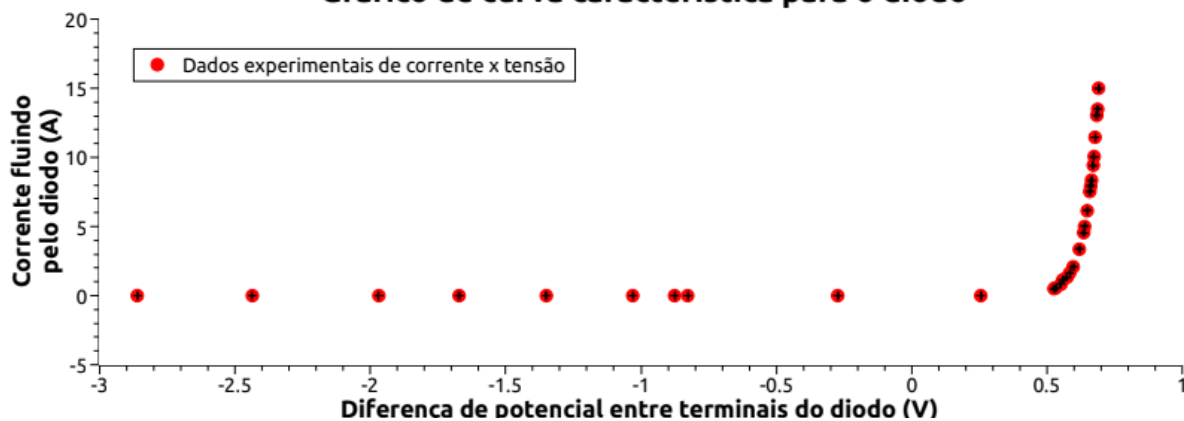


Fig. 6: Gráfico de Curva Característica para o diodo

Gráfico de resistência do diodo por variação de tensão

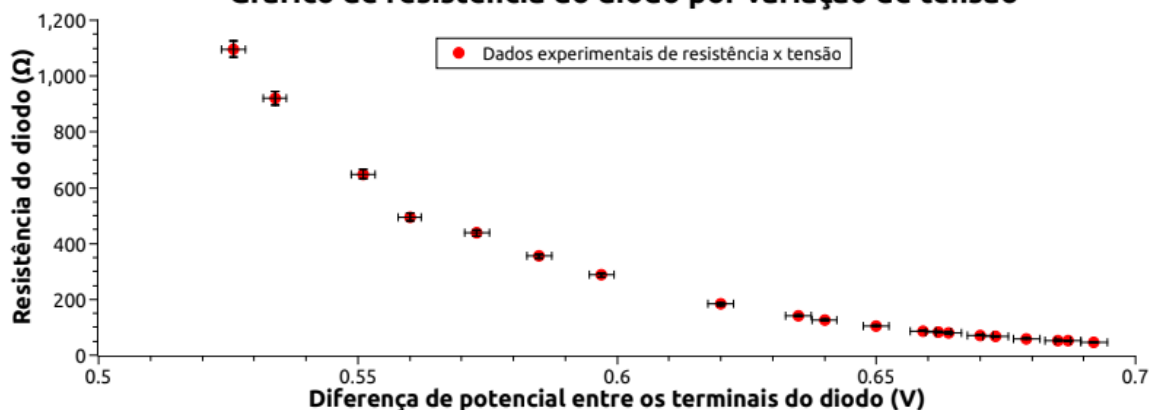


Fig. 7: Gráfico de Resistência do Diodo por Variação de Tensão

Gráfico de resistência do diodo por variação de tensão em escala logarítmica

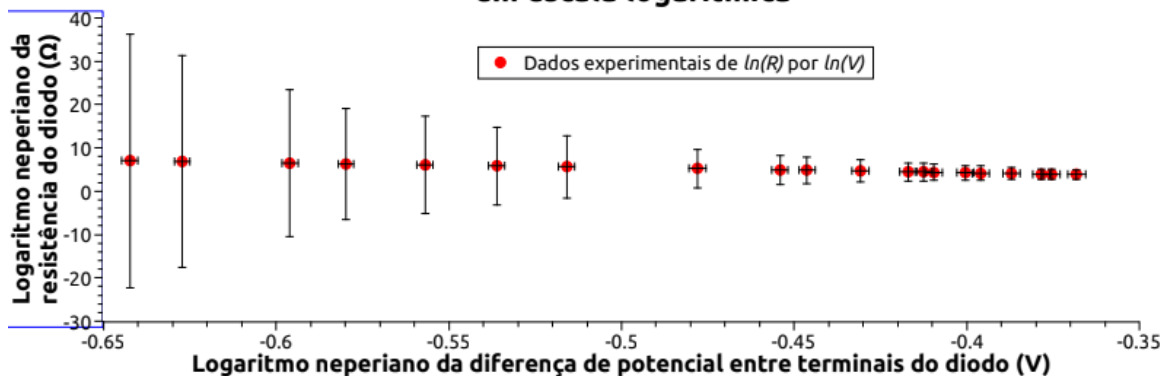


Fig. 8: Gráfico de Resistência do Diodo por Variação de Tensão em Escala Logarítmica

Gráfico de corrente por tensão para o diodo em escala logarítmica

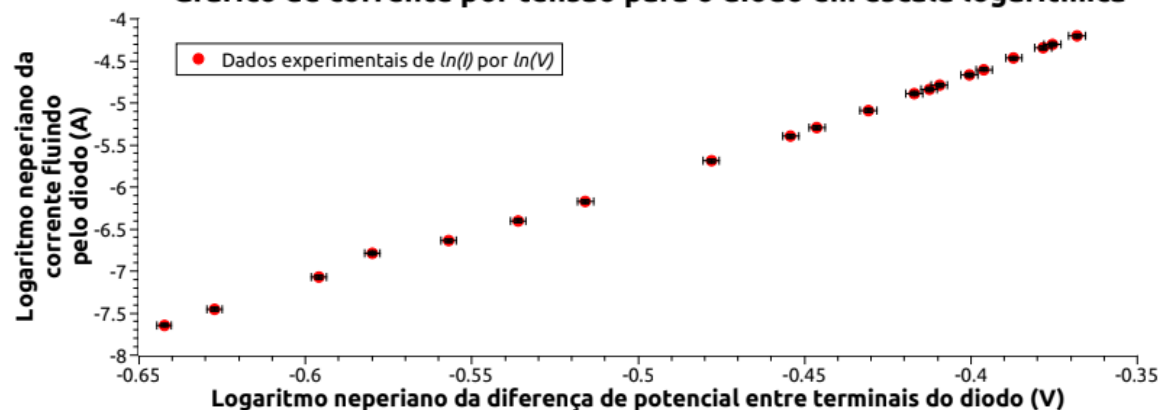


Fig. 9: Gráfico de Corrente por Tensão para o Diodo em Escala Logarítmica

3. INCERTEZAS

Para o cálculo das incertezas das resistências internas dos equipamentos (amperímetro e voltímetro), dentro das respectivas escalas, foram consideradas as incertezas de leitura (Equação 3) e de calibragem (Equação 4), ambas retangulares. Ao se obter esses dois valores, podemos calcular a incerteza combinada da resistência interna dos aparelhos (Equação 5). Esse procedimento também se aplica as outras medições de tensão, corrente e resistência por multímetro.

$$\sigma_{leitura} = \frac{Resolução}{2\sqrt{3}} \quad (3) \quad \sigma_{calibragem} = \frac{exatidão \times 2}{2\sqrt{3}} \quad (4) \quad \sigma_{combinada} = \sqrt{\sigma_{leitura}^2 + \sigma_{calibragem}^2} \quad (5)$$

Todos os valores das incertezas de resistência interna para as diferentes escalas estão listados na tabela abaixo.

Tensão		
resolução	escala	$\Delta (\Omega)$
0,1 mV	600 mV	0,1 mega ohms
0,001 V	6 V	0,002 mega ohms
0,01 V	60 V	0,01 mega ohms
0,1 V	600 V	0,1 mega ohms
1 V	1000 V	2 mega ohms
Corrente		
0,1 μ A	600 μ A	1,5 kilo ohms
1 μ A	6000 μ A	15 kilo ohms
0,01 mA	60 mA	0,02 ohms
0,1 mA	600 mA	0,2 ohms
10 mA	10A	18 ohms

A respeito da incerteza das resistências medidas experimentalmente do resistor, temos uma incerteza gaussiana (Equação 6) e uma incerteza propagada em função de valores de tensão e corrente (Equação 7), essa última se aplica também para a incerteza de medição da resistência do diodo. Obtemos a incerteza de resistência para o resistor (Equação 8) e diodo (Equação 9).

$$\sigma_{gaussiana\ resistor} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0,09092}{\sqrt{N}} = 0,02\ ohms \quad (6) \quad \sigma_{propagada\ resistor} = \sqrt{\sigma_v^2 * \frac{1}{i^2} + \sigma_i^2 * \frac{v^2}{i^4}} \quad (7)$$

$$\sigma_{resistor} = \sqrt{\sigma_{gaussiana\ resistor}^2 + \sigma_{propagada\ resistor}^2} \quad (8) \quad \sigma_{propagada\ diodo} = \sqrt{\sigma_v^2 * \frac{1}{i^2} + \sigma_i^2 * \frac{v^2}{i^4}} \quad (9)$$

Para a corrente e tensão nos dispositivos calculadas através dos circuitos de referência, temos.

$$\sigma_{propagada\ corrente} = \sqrt{\sigma_{corrente\ total}^2 + \sigma_{corrente\ voltímetro}^2} \quad (10)$$

$$\sigma_{propagada\ tensão} = \sqrt{\sigma_{tensão\ total}^2 + \sigma_{tensão\ amperímetro}^2} \quad (11)$$

Usando Método de Mínimos Quadrados (mmq) foi possível achar as incertezas do coeficiente angular (Equação 12) e linear (Equação 13).

$$\sigma_a = \sigma_{ldisp} \sqrt{\frac{N}{N \sum_{i=1}^N (x^2) - \left(\sum_{i=1}^N (x) \right)^2}} = 0,001752 * \sqrt{\frac{20}{1118,735644}} = 2,3 * 10^{-4} \frac{A}{V} \quad (12)$$

$$\sigma_b = \sigma_{ldisp} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x^2)}{N \sum_{i=1}^N (x^2) - \left(\sum_{i=1}^N (x) \right)^2}} = 0,001752 * \sqrt{\frac{55,937152}{1118,735644}} = 3,9 x * 10^{-4} A \quad (13)$$

Através do método de propagação de incertezas obtemos a incerteza da resistência medida para o resistor (Rx), através do coeficiente angular (Equação 14).

$$\sigma_{Rx} = \sqrt{\sigma_a^2 * \frac{1}{a^4}} = 2,4 \Omega \quad (14)$$