



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Estudo Experimental de Associações de Resistores e Efeito Joule

Relatório de Laboratório

**Arthur Cadore Matuella Barcella, Faber Bernardo Junior
Gabriel Luiz Espindola Pedro**

Junho de 2025

Engenharia de Telecomunicações - IFSC-SJ

Sumário

1. Introdução:	3
2. Revisão de literatura:	3
3. Resistores Comerciais	3
3.1. Série E12	3
3.2. Série E24	4
4. Materiais e métodos:	5
5. Associação de resistores:	5
5.1. Distribuição normal dos valores medidos:	5
5.2. Associação de resistores (série, paralelo e mista):	7
6. Efeito Joule	8
6.1. Aquecimento de água	8
7. Conclusão:	9
8. Referências:	10

1. Introdução:

Este experimento tem como objetivo analisar o comportamento de associações de resistores em série e paralelo, utilizando cinco resistores de $1k\Omega$ e cinco de $1M\Omega$. Serão realizadas medições em corrente contínua (CC), empregando multímetro e osciloscópio para observar as respostas dos circuitos.

Este estudo é fundamental para compreender como a disposição dos resistores afeta a resistência total de um circuito, além de proporcionar experiência prática com instrumentos de medição e análise experimental.

2. Revisão de literatura:

A associação de resistores é fundamental em circuitos elétricos. Em série, a resistência equivalente é a soma dos valores individuais. Em paralelo, o inverso da resistência equivalente é a soma dos inversos das resistências. Em CA, além da resistência, pode haver influência de capacitâncias e indutâncias parasitas, especialmente em altas frequências. O multímetro permite medir resistência, tensão e corrente em CC, enquanto o osciloscópio possibilita a análise de formas de onda e resposta dinâmica dos circuitos.

Esta seção revisa os conceitos teóricos necessários para a análise experimental, reforçando a importância de entender as associações e as limitações práticas dos instrumentos.

3. Resistores Comerciais

Os resistores comerciais seguem séries padronizadas (E12, E24, etc.), que definem os valores disponíveis no mercado. O conhecimento dessas séries é essencial para a escolha adequada dos componentes em projetos eletrônicos, garantindo precisão e facilidade de reposição.

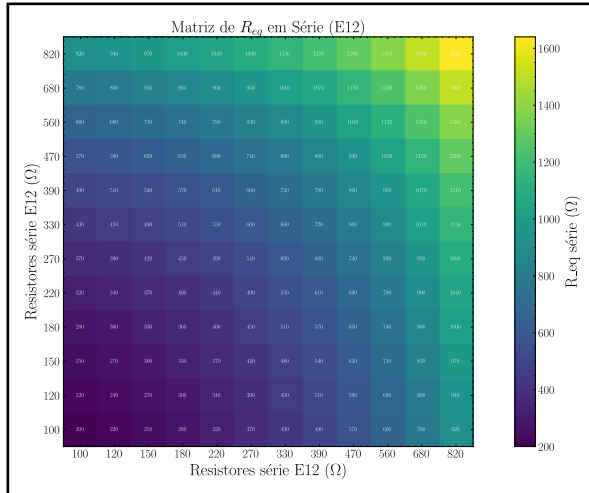
3.1. Série E12

A série E12 é uma das séries comerciais mais comuns, composta por valores padronizados de resistores. As figuras abaixo ilustram como os resistores dessa série podem ser associados em série e em paralelo:

$$R_{eq} = \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) \quad (1)$$

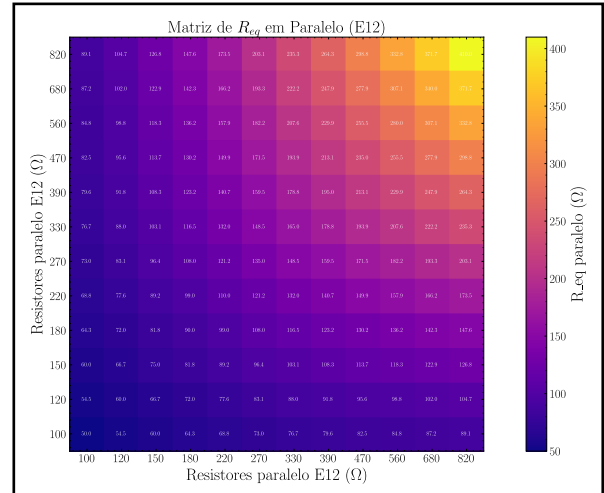
$$\frac{1}{R_{eq}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right) \quad (2)$$

Figura 2: Elaborada pelo Autor



Matriz de resistores em série

Figura 3: Elaborada pelo Autor



Matriz de resistores em paralelo

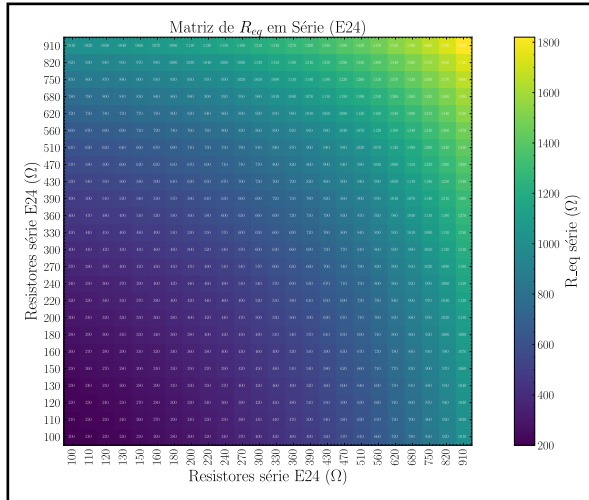
A associação em série resulta em uma resistência total maior, enquanto a associação em paralelo reduz a resistência equivalente.

3.2. Série E24

A série E24 oferece maior granularidade de valores comerciais, permitindo combinações ainda mais precisas para projetos eletrônicos. As associações possíveis são exemplificadas nas figuras a seguir:

$$R_{eq} = \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) \quad (3)$$

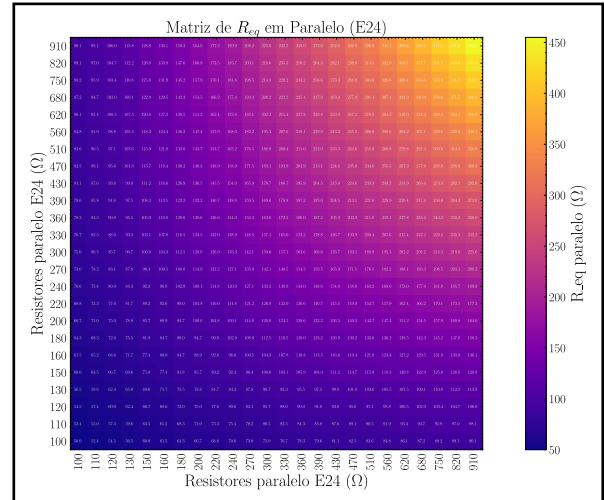
Figura 5: Elaborada pelo Autor



Matriz de resistores em série

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right) \quad (4)$$

Figura 6: Elaborada pelo Autor



Matriz de resistores em paralelo

Essas associações demonstram como a escolha da série influencia a flexibilidade de valores alcançáveis em um projeto.

4. Materiais e métodos:

- 10 resistores de 1kΩ
- 10 resistores de 1MΩ
- Fonte de alimentação CC
- Multímetro digital
- Protoboard e cabos
- Resistor de aquecimento 1000W (220VAC) para simulação do efeito Joule

Foram montados circuitos com resistores em série, paralelo e mista. As medições de resistência, tensão e corrente foram realizadas com o multímetro digital. O protoboard facilita a montagem dos circuitos sem a necessidade de solda.

Para simular o efeito Joule, foi utilizado um resistor de aquecimento 1000W (220VAC) submerso em 500mL de água, com a temperatura ambiente de 25°C, e foi monitorada a temperatura da água ao longo do tempo até a temperatura de evaporação.

5. Associação de resistores:

5.1. Distribuição normal dos valores medidos:

A análise estatística dos valores medidos permite determinar a média, desvio padrão e erro médio dos resistores:

- Média:

$$R = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) \quad (5)$$

Onde:

- R é a média
- n o número de resistores.
- Desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(R_i - R)^2}{n} - 1 \right)} \quad (6)$$

Onde:

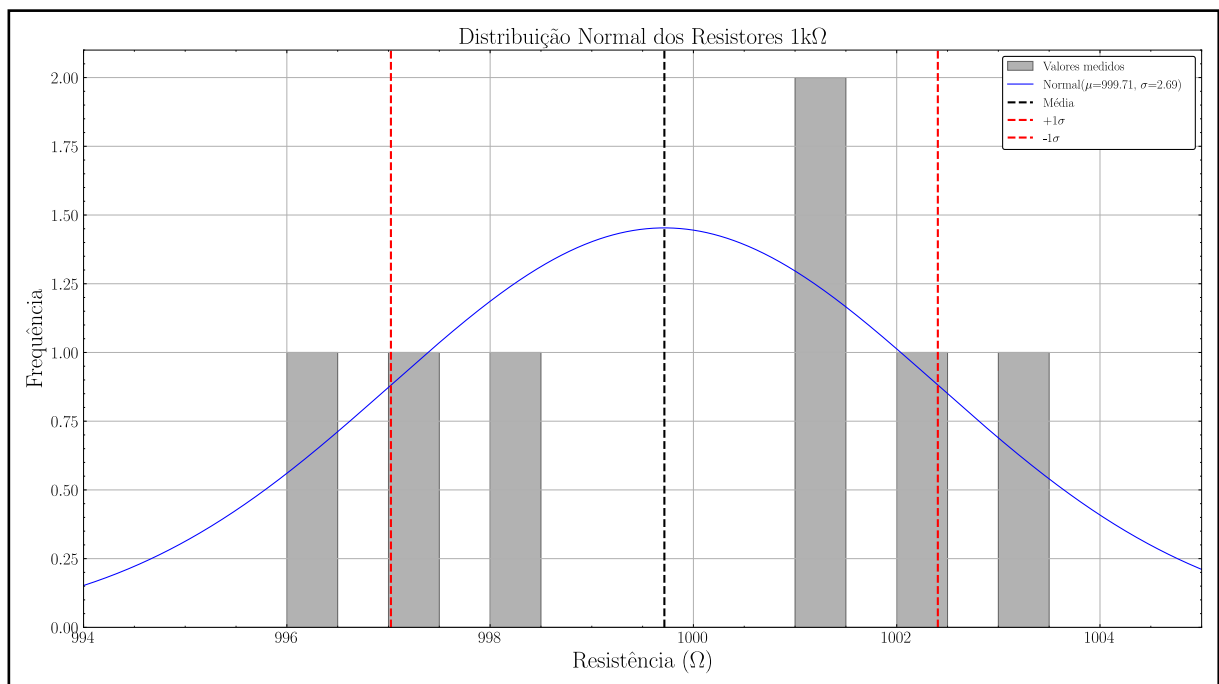
- σ representa a dispersão dos valores em relação à média.
- Erro médio:

$$\Delta R = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

Onde:

- ΔR é o erro médio
- σ é o desvio padrão
- n é o número de resistores.

Figura 7: Elaborada pelo Autor



Distribuição normal dos valores medidos

5.2. Associação de resistores (série, paralelo e mista):

O erro absoluto na associação em série é:

$$\Delta R_{eq} = \sum_{i=1}^n \Delta R_i \quad (8)$$

Onde:

- ΔR_{eq} : é a incerteza total
- ΔR_i : são as incertezas individuais de cada resistor.

A propagação de erro para paralelo:

$$\Delta R_{eq} = R_{eq}^2 \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta R_i}{R_i^2} \right)^2} \quad (9)$$

Onde:

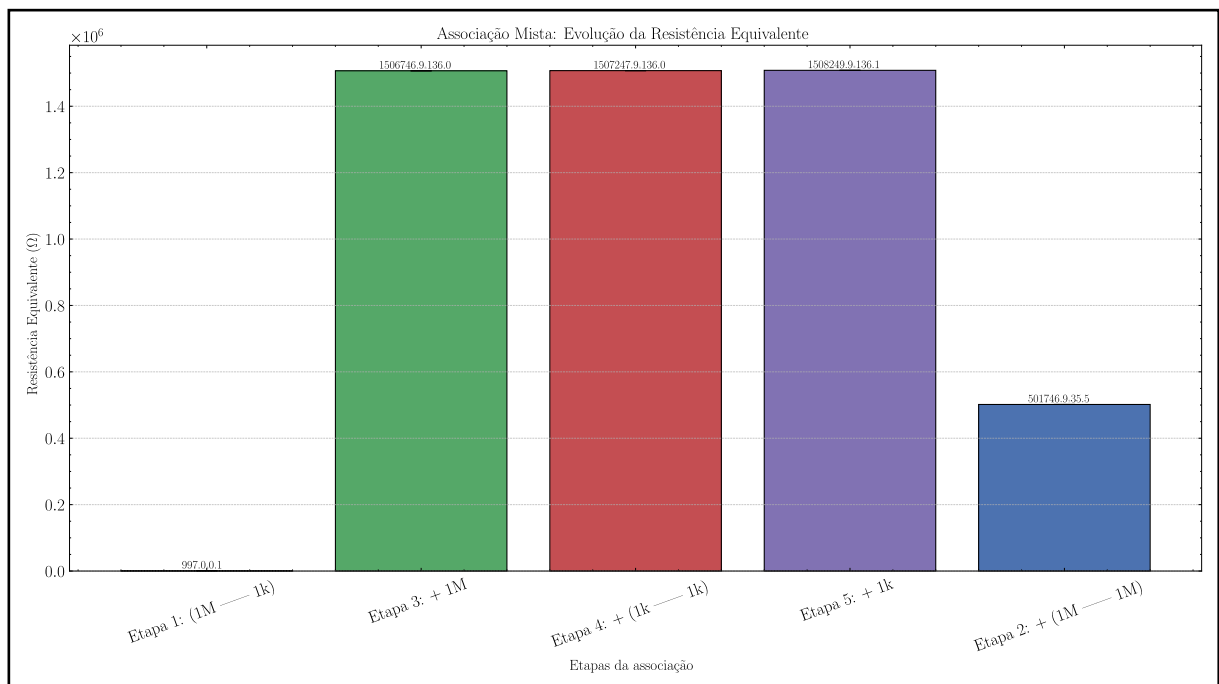
- ΔR_{eq} : é a incerteza total da associação em paralelo.
- ΔR_i : são as incertezas individuais de cada resistor.
- R_{eq} : é a resistência equivalente.

Considerando o circuito misto de exemplo abaixo:

$$R_{eq} = 1K\Omega + (1M\Omega \parallel 1k\Omega) + (1M\Omega \parallel 1M\Omega) + (1k\Omega \parallel 1k\Omega) + 1M\Omega \quad (10)$$

Podemos calcular a resistência equivalente das etapas do circuito misto, como mostrado abaixo:

Figura 8: Elaborada pelo Autor



Calculo das resistências do circuito misto

6. Efeito Joule

6.1. Aquecimento de água

O efeito Joule consiste na transformação da energia elétrica em energia térmica devido à passagem de corrente por um condutor ou resistor. Esse fenômeno é fundamental em aplicações como aquecedores elétricos, fusíveis, lâmpadas incandescentes e em muitos processos industriais.

No contexto deste experimento, investigamos o aquecimento de uma amostra de água quando submetida à dissipação de potência elétrica em um resistor submerso. O objetivo é analisar como a energia fornecida ao sistema é convertida em aumento de temperatura, levando em conta também as perdas térmicas para o ambiente.

A modelagem matemática do aquecimento é baseada na seguinte equação diferencial, que incorpora tanto o fornecimento de energia elétrica quanto a perda de calor para o ambiente (lei de Newton do resfriamento):

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P}{mc} - k(T - T_{\text{amb}}) \quad (11)$$

Onde:

- T : temperatura da água (em °C ou K)
- P : potência dissipada pelo resistor (em W)
- m : massa da água (em kg)
- c : calor específico da água (em J/kg·K)
- k : coeficiente de resfriamento para o ambiente (em s⁻¹)
- T_{amb} : temperatura ambiente (em °C ou K)

A solução numérica foi implementada de forma discreta, atualizando a temperatura a cada intervalo de tempo d_t :

$$T_{i+1} = T_i + \left(\frac{P}{mc} - k(T_i - T_{\text{amb}}) \right) d_t \quad (12)$$

Onde:

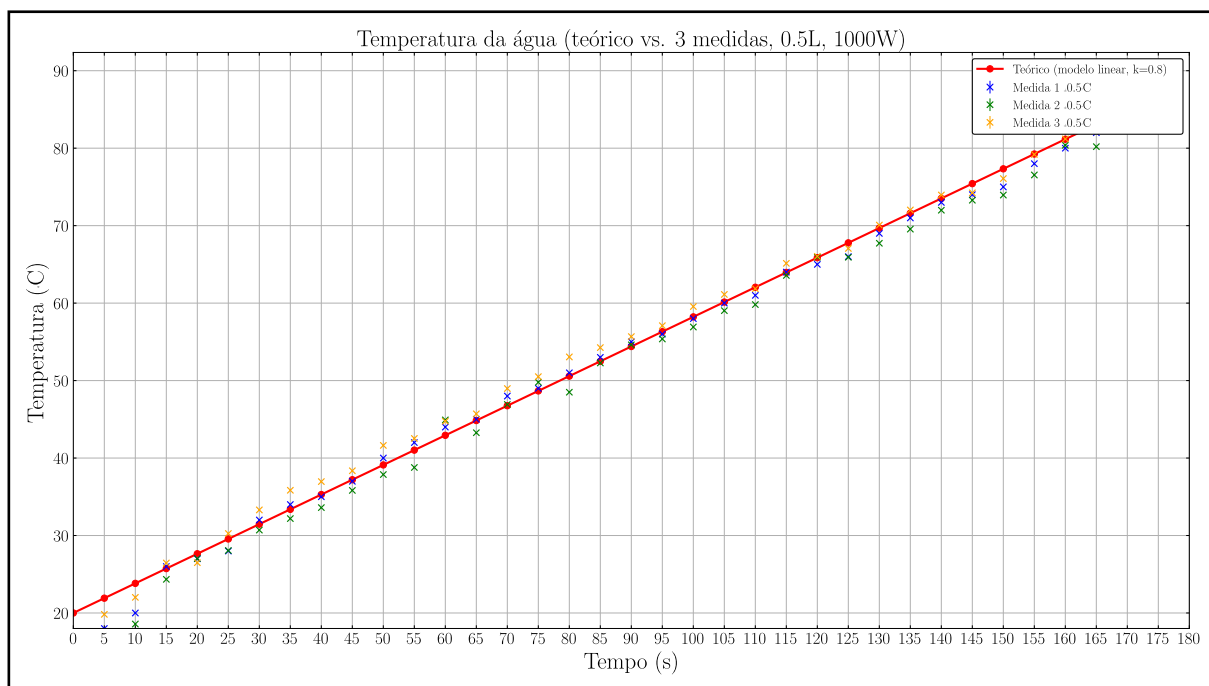
- T_i : temperatura no instante i
- d_t : passo de tempo da simulação (em segundos)

Configuração experimental:

- A potência P foi calculada a partir da tensão e corrente aplicadas ao resistor.
- A massa m da água e o calor específico c são conhecidos.
- O coeficiente k foi estimado a partir da taxa de resfriamento observada experimentalmente.

O gráfico a seguir apresenta a evolução da temperatura da água ao longo do tempo, mostrando tanto a curva teórica prevista pelo modelo quanto dados experimentais simulados. A diferença entre as curvas pode ser atribuída a fatores como perdas adicionais, imprecisão na medição de k ou variações ambientais.

Figura 9: Elaborada pelo Autor



Curva de aquecimento da água por efeito Joule

O estudo do efeito Joule é essencial para o dimensionamento seguro de dispositivos elétricos, evitando sobreaquecimento e otimizando a eficiência energética de sistemas de aquecimento.

7. Conclusão:

O experimento permitiu compreender, na prática, os princípios fundamentais das associações de resistores em série, paralelo e mista, bem como a influência dessas configurações na resistência equivalente de um circuito. As medições e análises estatísticas mostraram a importância de considerar as tolerâncias e incertezas dos componentes, reforçando a necessidade do cálculo de erros experimentais para uma avaliação precisa dos resultados.

A investigação do efeito Joule demonstrou como a energia elétrica é convertida em calor, evidenciando o papel dos resistores como elementos dissipadores. A modelagem matemática e a comparação com dados experimentais destacaram a relevância de fatores como perdas térmicas e transferência de calor para o ambiente, aspectos essenciais para o dimensionamento seguro de dispositivos elétricos.

Além de consolidar conceitos teóricos, o experimento proporcionou experiência com instrumentos de medição e análise de dados, habilidades essenciais para a formação em Engenharia. O estudo reforça a importância do rigor experimental e da análise crítica dos resultados, fundamentais para o desenvolvimento de soluções eficientes e seguras em projetos eletrônicos e sistemas de energia.

8. Referências:

- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2014.
- HAYT, W. H.; KEMMERLY, J. E.; DURBIN, S. M. Análise de Circuitos em Engenharia. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2019.
- Manuais dos instrumentos utilizados.