|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  **Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos**  **PSI - EPUSP** |  |

**PSI 3214 – LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO ELÉTRICA**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No. USP** | **Nome** | **Nota** |
|  |  |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Data:** | **Turma:** | **Profs:** |

Experiência 1: PONTES DE WHEATSTONE

**GUIA DE ATIVIDADE REMOTA E ROTEIRO DO RELATÓRIO**

**Edição 2020**

Elisabete Galeazzo, Leopoldo Yoshioka,

iNÉS pEREYRA, mARCELO CARRENO E hENRIQUE pERES,

**1. Introdução**

Antes de iniciar a atividade remota você deve ter lido e estudado a apostila de Introdução Teórica e assistido à aula online. A leitura da apostila de “Introdução Teórica” antes da aula online ajudará a aproveitar e assimilar melhor as explicações do professor, e será fundamental para a execução da atividade remota. Caso fique com alguma dúvida durante a leitura do material, ou durante a execução das atividades remotas, envie uma pergunta por meio do Fórum Específico de sua turma no eDisciplinas.

**2. O que faremos nesta experiência?**

O objetivo desta experiência é projetar, montar e efetuar medições com uma ***Ponte de Wheatstone***. O **projeto** será feito como **atividade remota** e as **mediçõe**s serão feitas de forma **presencial** em fevereiro de 2021. Um circuito elétrico na configuração de ponte, contendo quatro elementos resistivos, conforme mostrado na Fig. 1. A configuração em ponte é apropriada para medições em que se deseja obter elevada sensibilidade, ou seja, detectar pequenas variações de uma determinada grandeza elétrica.



**Figura 1 –** Circuito elétrico da Ponte de Wheatstone.

Nesta experiência, a resistência R1 será um **extensômetro** (também conhecido como *strain gauge*) que será o elemento do qual queremos medir a **variação da resistência**. O extensômetro que utilizaremos está montado (colado) numa barra de alumínio como mostrado na Fig. 2 a seguir.

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Montagem | 1. Detalhe do extensômetro |

**Figura 2 –** Extensômetro montado sobre uma barra de alumínio.

**R2** e **R4** serão resistores fixos e a resistência variável **R3**, mostrada na Fig.1, será implementada por meio de uma caixa de resistências (também chamada de década resistiva). A caixa de resistências[[1]](#footnote-1) que utilizaremos nesta experiência será similar à mostrada na Fig. 3 a seguir.



**Figura 3:** Exemplo caixa de resistências que será utilizada nesta experiência**.**

Esta experiência é constituída de duas partes. A **primeira parte** consiste na **aula online**, ministrada pelo professor responsável pela sua turma, e **atividades remotas** (projeto da ponte e resposta das questões), que será desenvolvida pelo aluno. A **segunda parte** consiste na **montagem** da ponte projetada e realização de **medidas experimentais** a serem realizadas **presencialmente**, no laboratório didático, no mês de fevereiro de 2021.

**3. Projeto do Circuito da Ponte de Wheatstone**

Como mencionado anteriormente, esta etapa da experiência será realizada na forma de atividade remota. Os resultados deverão ser apresentados no “Relatório de Atividade Remota”, e encaminhado, via eDisciplinas, até **23 hs do mesmo dia da aula** para as turmas da manhã, e até **11hs do dia seguinte** para as turmas da tarde.

**3.1 Objetivo do Projeto**

O objetivo do projeto será determinar os elementos constituintes da ponte (Fig.1), incluindo as resistências (**R2, R3** e **R4**) e a alimentação do circuito (**E**), numa configuração onde o objeto de medição é um extensômetro (**R1**). Você deve considerar que o detector, na saída da ponte, indicará se a ponte está ou não em equilíbrio. Teoricamente, esse detector terá impedância infinita (na prática, utilizaremos um multímetro digital como detector, que atenderá tal especificação, visto que sua impedância interna é cerca de 3 ordens de grandeza das resistências do circuito).

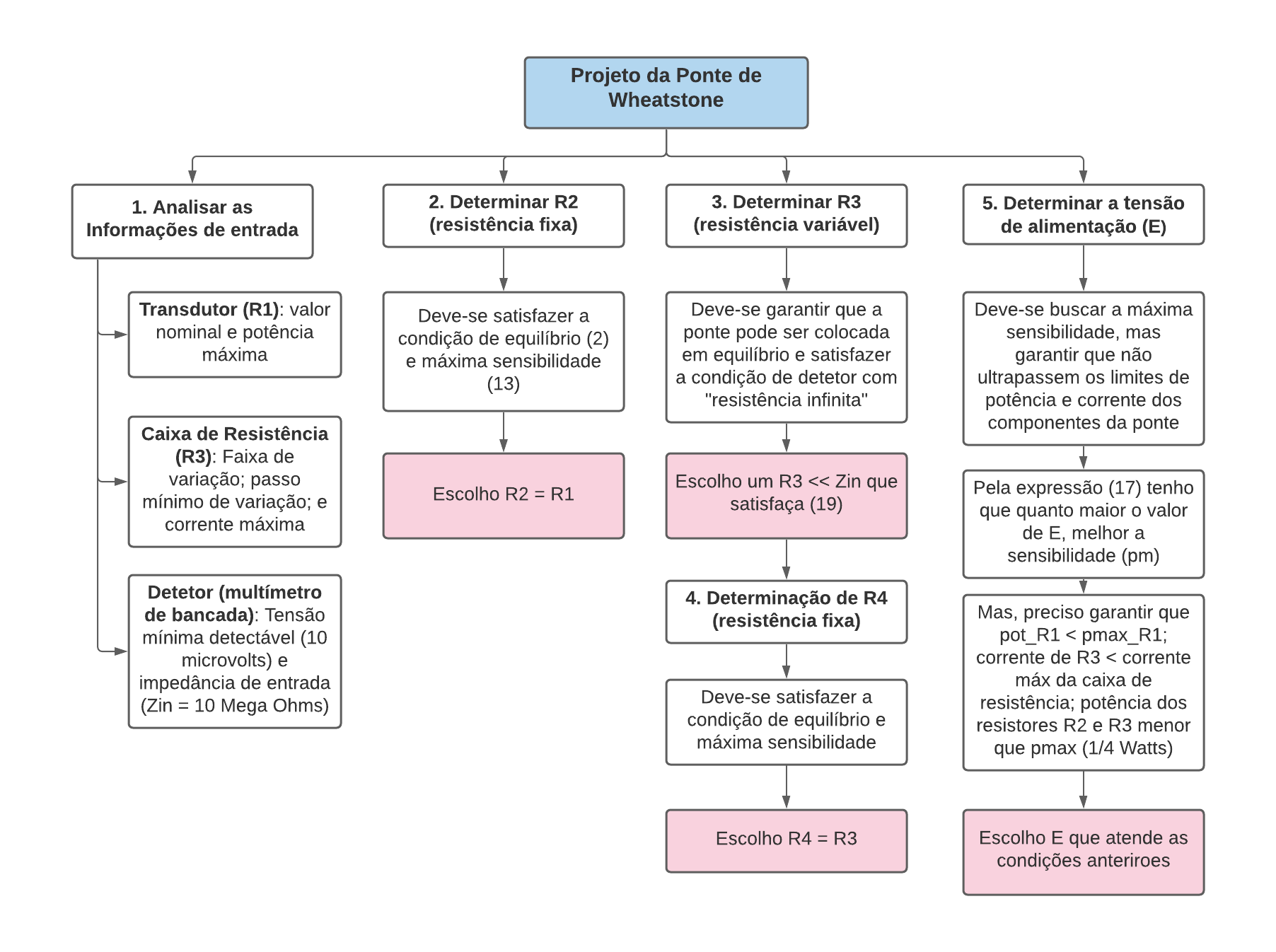
**3.2 Requisitos de Projeto**

Quanto aos requisitos de projeto, o circuito projetado deverá atender às seguintes condições:

* ser possível colocar a ponte em equilíbrio
* a ponte deve apresentar a melhor sensibilidade possível;
* a ponte deve funcionar dentro dos limites operacionais dos componentes (abaixo das tensões, correntes e potências máximas especificadas pelo fabricante).

**3.3 Projeto da Ponte de Wheatstone**

A Fig. 3 esquematiza o processo que vocês deverão seguir para executar o projeto da ponte, e que atenda os objetivos e os requisitos especificados nos itens 3.1 e 3.2.



**Figura 3 – Esquema do processo de projeto da Ponte de Wheatstone.**

**3.3.1. Análise das informações de entrada do projeto**

O primeiro passo será analisar as especificações do extensômetro, caixa de resistências e detetor.

**a) Especificações do transdutor (extensômetro)**

Deve-se verificar o valor nominal da resistência do transdutor (R1) especificada pelo fabricante, e o valor da potência máxima (Pot\_R1\_max) que pode ser submetida. Consulte o **Anexo 1** – Extensômetros Elétricos e preencha a **Tabela 1** a seguir.

**Tabela 1 – Parâmetros do Extensômetro**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Resistência nominal\*** | **Resistência medida** | **Corrente máxima** | ***Gauge Factor* (F)** |
|  | xxxxxx | (Apresente seus cálculos)  P = R.I2  I = (P/R)1/2  [mA] |  |

(\*) escolher o sensor de menor valor

Responda as seguintes perguntas:

a1) Descreva o princípio de funcionamento do extensômetro.

|  |
| --- |
| Resposta:  Ler o Anexo 1 |

a2) O que é *Gauge Factor*?

|  |
| --- |
| Resposta: (obs. Está sendo perguntado GF da barra completa (30cm)  Ler o Anexo 1  Relação entre x e y |

**b) Especificações da Caixa de Resistência**

Deve-se verificar a faixa de variação da caixa de resistências e passo mínimo de variação (ΔRmin). Por exemplo, vamos considerar uma caixa de resistência com 5 botões de seleção (cada botão pode ser ajustado para qualquer valor de 0 a 9) com fatores de multiplicação de x0,1Ω; x1Ω; x10Ω; x100Ω; x1000 Ω. Nesse caso, essa caixa permitirá uma variação discreta (**passo mínimo de 0,1 Ω**) dentro de uma faixa de **0,0Ω** até **9999,9Ω.** Além disso, deve-se verificar a corrente máxima que pode ser utilizada na caixa de resistência.

Consulte o **Anexo 2 – Caixa de Resistências** e preencha a Tabela 2 a seguir.

**Tabela 2 – Informações da Caixa de Resistências**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Marca e Modelo** | **Faixa de Variação\*** | **Corrente máxima** |
| Marca:  Modelo:  Quantidade de décadas: |  | Passo de 1 Ω:  Passo de 1000 Ω: 3  Passo de 10 kΩ: 3 |

(\*) Escolher o modelo com resolução mínima menor.

Responda as seguintes perguntas:

b1) Qual é o **menor passo de variação** da Caixa de Resistência (**ΔR3\_min**)?

|  |
| --- |
| Resposta: |

b2) Supondo que você ajustou a caixa de resistência para um valor de **100 kΩ**. Qual é o **menor passo de variação relativa** (**ΔR33m\_in/R3**)?

|  |
| --- |
| Resposta (apresente os cálculos):  Fazer a conta |

b3) Como exercício, suponha que você ajustou a caixa de resistência para um valor de **33 kΩ**. Qual será a tensão máxima que pode ser aplicada nesta caixa de resistência?

|  |
| --- |
| Resposta (apresente os cálculos):  R3 = 33 **kΩ**.  Vmax\_R3 = R3.Imax (corrente max da escala de 10K) |

**c) Especificações do Detetor**

Utilizaremos como detetor um multímetro de bancada. Devemos verificar a tensão mínima detectável e a impedância de entrada. Consulte o Anexo 3 – Multímetro Digita de Bancada e preencha a Tabela 3 a seguir.

**Tabela 3 – Informações do Multímetro Digital de Bancada**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Informações do Multímetro** | **Faixa de medição** | **Resistência de entrada\*** |
| Marca:  Modelo: | Menor escala:  Máxima resolução: |  |

(\*) Canal 1

Responda as seguintes perguntas:

c1) Baseando-se na especificação do equipamento, qual é a **menor tensão detectável pelo multímetro?**

|  |
| --- |
| Resposta: |

***Observação:*** *como o ambiente de medição do laboratório didático está sujeito a interferências eletromagnéticas da rede elétrica e de equipamentos elétricos, a medição de tensão estará sujeita a ruídos. Portanto deve-se considerar uma incerteza de medição bem maior do que a menor tensão detectável segundo a especificação do fabricante. Para efeito de projeto vamos considerar que a menor tensão detectável pelo multímetro de bancada (Vgmin) seja de* ***10 µV.***

c2) Considerando a especificação do equipamento, estime uma faixa de valores de resistência para a qual podemos considerar que o multímetro digital é um **medidor de resistência infinita**. Justifique a sua resposta, apresentando a sua premissa.

|  |
| --- |
| Resposta (justificar):  Sei que Rin = 10MOhma e preciso escolher um R3 << Rin |

**3.3.2. Determinação do valor de R2**

Para determinar o valor de **R2**, deve-se aplicar a condição de equilíbrio (2)[[2]](#footnote-2) e a condição de máxima sensibilidade da ponte (13). **R1** é a resistência do transdutor que se quer medir utilizando a ponte. Utilize a resistência nominal do extensômetro obtido no **item 3.3.1a** para iniciar o projeto.

a) Qual é o valor do resitsor **R2**? Justifique a resposta.

|  |
| --- |
| Resposta:  R2 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (usar valor do data sheet do extensômetro)  Justificativa: |

b) Suponha que a corrente que passa pela resistência R2 seja igual à máxima corrente permitida no extensômetro. Utilizando o resultado obtido no **Item 3.3.1,** calcule a potência dissipada na resistência R2 nessas condições.

|  |
| --- |
| Respostas:  Pot\_R2 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ = R2(Imax\_R2)2 = R2(Imax\_R2)2  Cálculos:  Pergunta adicional: um resistor de 1/8 W (0,125W ou 125mW) poderia ser utilizado no projeto?\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Justifique: |

**3.3.3. Determinação do valor de R3**

O valor de R3 deve ser escolhido de tal maneira que sejam atendidas as seguintes condições:

1. Satisfazer a premissa de que o detector possui “resistência infinita”. Para isso precisamos escolher um valor de **R3** suficientemente menor (fator de 100 a 1000 vezes) do que a impedância de entrada do multímetro digital (Zin).
2. Garantir que a ponte possa ser colocada em equilíbrio. Ou seja, a variação mínima relativa de **R3 (ΔR3min/R3)** deve ser menor do que a sensibilidade relativa da ponte (pm), ou seja, deve satisfazer a condição (19).
3. Inicialmente é escolhido um valor qualquer de **R3** que satisfaça a **condição I**. Depois, deve-se verificar se a **condição II** foi satisfeita. Se precisar, suponha inicialmente que a tensão de alimentação, E, é 10 V. Posteriormente, deverá ser verificado se essa suposição é válida.

a) Baseado nas considerações I a III e nos resultados do Item 3.3.1, determine um valor de R3.

|  |
| --- |
| Resposta:  R3 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Cálculos e justificativa: |

b) O valor de **R3** obtido no item a satisfaz as **condições I e II?**

|  |
| --- |
| Resposta:  Condição I:  Condição II: |

**3.3.4. Determinação do valor de R4**

Para a determinar o valor de **R4**, deve-se aplicar a condição de equilíbrio (2) e a condição de máxima sensibilidade da ponte (13). Utilize o valor de **R3** obtido no item anterior.

a) Qual é o valor da resistência **R4**? Justifique a resposta.

|  |
| --- |
| Resposta:  **R4** = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Justificativa: |

b) Baseando-se no resultado e das premissas adotadas no item 3.3.3, calcule a potência dissipada na resistência **R4** nessas condições.

|  |
| --- |
| Respostas:  Pot\_R4 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Cálculos:  Pergunta adicional: um resistor de 1/8 W poderia ser utilizado no projeto?\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Justifique: |

**3.3.5. Determinação do valor da tensão de alimentação da ponte (E)**

Pela expressão (17) podemos ver que quanto maior o valor de E, menor será o valor de **pm**, e, portanto, melhor será a sensibilidade da ponte. Porém, precisamos assegurar que não ultrapassemos os limites de potência e de corrente dos componentes da ponte. Devemos considerar:

1. Potência máxima do transdutor especificada pelo fabricante;
2. Potência máxima das resistências fixas (**R2** e **R4**), conforme o tipo de resistor disponível;
3. Corrente máxima da caixa de resistência, conforme a especificação do fabricante.

a) Baseado nas considerações de A a C e nos resultados dos Itens 3.3.1 a 3.3.4, determine o valor máximo das tensões que podem ser aplicadas no ramo 1 (**R1** e **R2**) e no ramo 2 (**R3** e **R4**). Apresente os cálculos e justifique a resposta.

|  |
| --- |
| **Respostas:**  Tensão máxima no ramo 1 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Cálculos e justificativa:  Tensão máxima no ramo 2 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Cálculos e justificativa: |

b) Baseado no resultado do **item a**, defina um valor para a tensão de alimentação (**E**) da Ponte de Wheatstone. Justifique a resposta.

|  |
| --- |
| **Resposta:**  Tensão de alimentação da ponte = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  Justificativa: |

**3.4. Esquema de montagem da Ponte de Wheatstone**

No item 3.3 realizamos o projeto da Ponte de Wheatstone. Vamos consolidar as informações e os resultados obtidos.

a) Faça um diagrama esquemático da montagem da Ponte de Wheatstone, incluindo os equipamentos, componentes e ligações necessárias para a realização da experiência. Indique no diagrama os valores dos componentes e os ajustes necessários dos equipamentos e caixa de resistência. Acrescente observações e os comentários que achar que sejam úteis na parte prática presencial da experiência.

|  |
| --- |
| **Resposta:**  Diagrama esquemático da montagem:  Comentários: |

A PRIMEIRA PARTE DA EXPERIÊNCIA 1 TERMINA AQUI. A SEGUNDA PARTE, **MONTAGEM E MEDIÇÕES** ,SERÁ REALIZADA NO LABORATÓRIO DIDÁTICO, EM FEVEREIRO DE 2021.

1. Se você quer aprender como utilizar uma caixa de resistências, assista ao vídeo disponibilizado no e-disciplinas: “*Aprenda a utilizar uma caixa de resistências*”, para ter uma noção de como ela será utilizada neste experimento. [↑](#footnote-ref-1)
2. Ver a expressão 2 da Introção Teórica [↑](#footnote-ref-2)