



Inspirar para Transformar

Instrumentação e Medição

Aula 2

Objetivos de aprendizado

Conhecer o conceito de analogia entre fenômenos, no contexto da analogia eletro-hidráulica;

Saber trabalhar com Sistema Internacional de Unidades;

Ser capaz de aplicar a Lei de Ohm na análise de circuitos resistivos (série, paralelo e série-paralelo);

Ser capaz de aplicar a Lei de Kirchhoff na análise de circuitos resistivos simples;

Desenvolver a habilidade de redigir relatórios de engenharia;

Desenvolver habilidades manuais mínimas de laboratório: montagem de circuitos em protoboard, utilização de multímetros para medição de tensão, resistência e corrente.

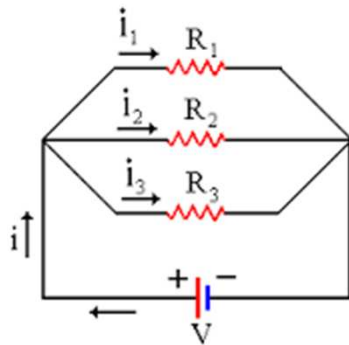
Feedback atividade anterior: “Projeto do Sistema de Aquecimento” + Discussão (30 min)

Para calcularmos o valor da corrente elétrica e da tensão para cada resistor em um circuito elétrico devemos aplicar as **leis de Kirchhoff**.

Estas leis foram formuladas em 1845 por Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887). Elas baseiam no princípio de conservação da energia e no princípio de conservação da carga elétrica:

1ª Lei → Lei de Corrente de Kirchhoff:

Em um nó, a soma das correntes elétricas que entram é igual à soma das correntes que saem.

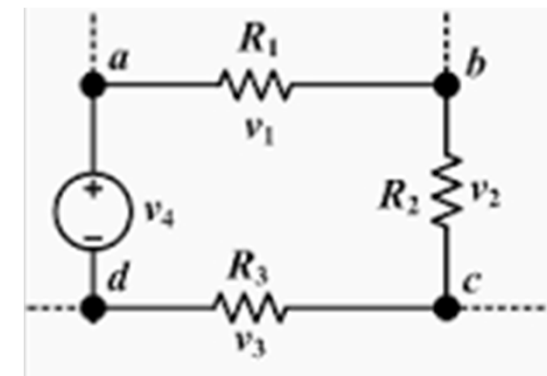
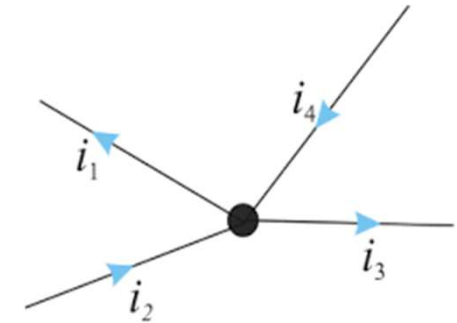


$$i_1 + i_2 + i_3 = i$$

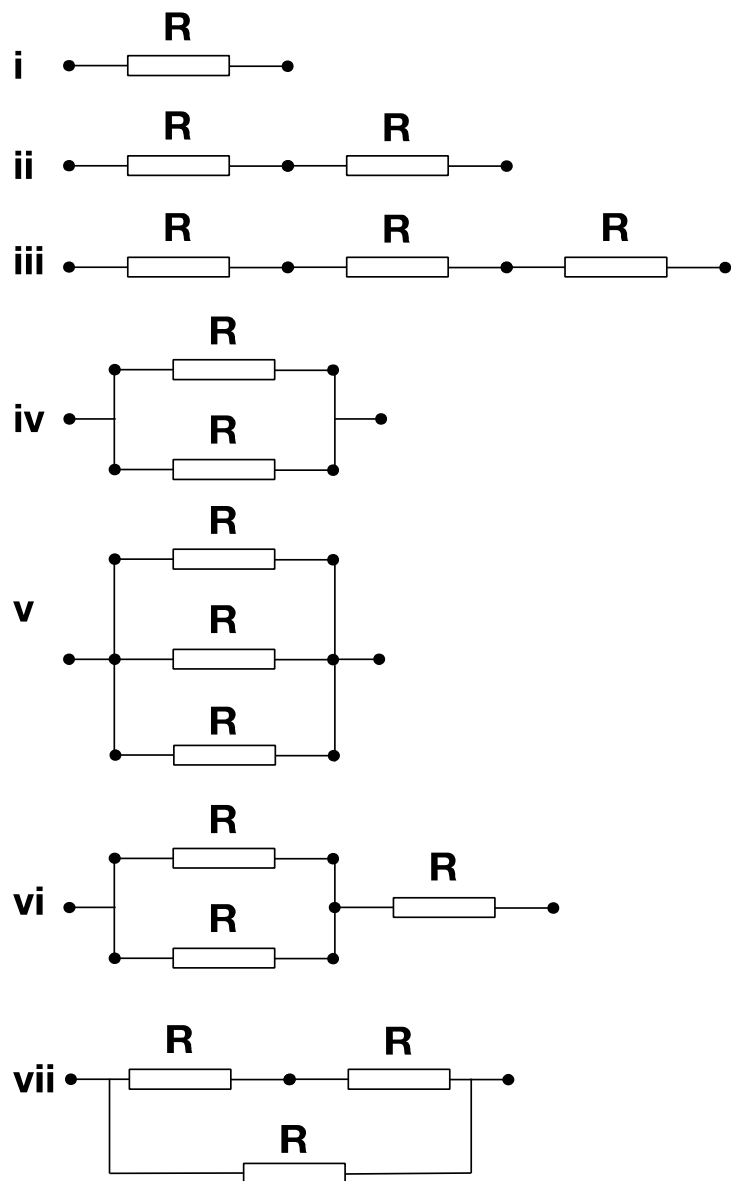
2ª Lei → Lei de tensão de Kirchhoff:

Em uma malha fechada, percorrendo sua extensão em um único sentido, a soma algébrica das tensões é igual a zero.

$$v_1 + v_2 + v_3 - v_4 = 0$$



Sistema de Aquecimento do Chuveiro Elétrico



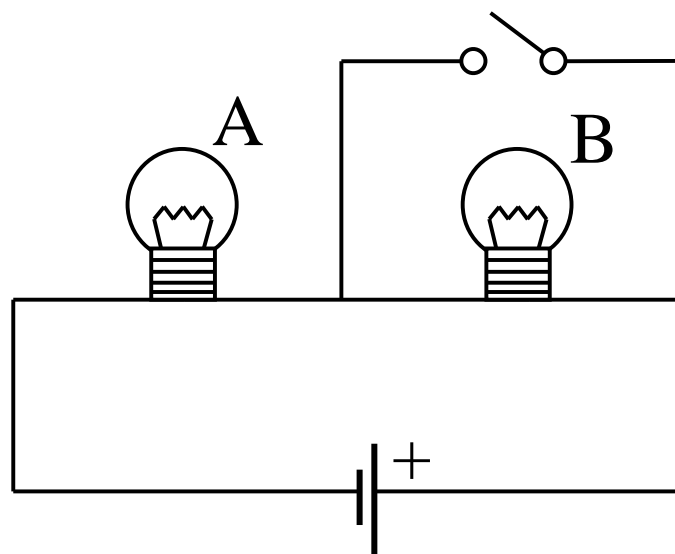
Arranjo	R_{eq} / R	$P / (U^2/R)$
i	1	1
ii	2	1/2
iii	3	1/3
iv	1/2	2
v	1/3	3
vi	3/2	2/3
vii	2/3	3/2

Briefing sobre Peer Instruction + Quiz: circuitos resistivos (5 + 15min)

Quiz – Problema 1

1) O circuito abaixo consiste em duas lâmpadas incandescentes de mesma resistência. Considere que o brilho é proporcional à potência dissipada. Quando a chave é fechada, o brilho de A :

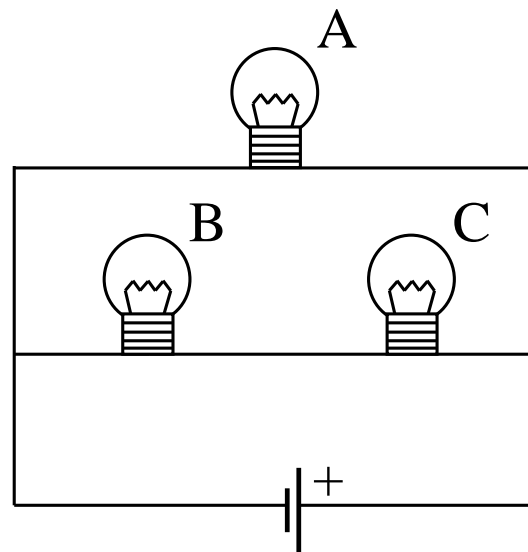
- a. aumentará;
- b. permanecerá o mesmo;
- c. diminuirá.



Quiz – Problema 2

2) Três lâmpadas incandescentes de mesma resistência são montadas de acordo com a figura. Considerando que o brilho é proporcional à potência dissipada, o brilho total das lâmpadas B e C, se comparado ao brilho de A, será:

- a. duas vezes maior;
- b. igual;
- c. metade.



Sistema Internacional de Unidades (30 min)

Sistema Internacional de Unidades (SI)

É um conjunto sistematizado e padronizado de definições para unidades de medida, utilizado em quase todo o mundo moderno, que visa uniformizar e facilitar as medições e as relações internacionais daí decorrentes.

Concebido em torno de sete unidades básicas :

Grandezas Fundamentais	Unidade	Nome	Símbolo da dimensão
Comprimento	m	metro	L
Massa	kg	kilograma	M
Tempo	s	segundo	T
Temperatura	K	kelvin	Θ
Corrente elétrica	A	ampère	I
Quantidade de substância	mol	mol	N
Intensidade luminosa	cd	candela	J

Sistema Internacional de Unidades (SI)

Grandezas Fundamentais	Unidade	Nome	Símbolo da dimensão
Comprimento	m	metro	L

O valor de uma grandeza é geralmente expresso sob a forma do produto de um número por uma unidade. Ex: 1,0 m

O nome das unidades deve ser sempre escrito em letra minúscula.
Exemplos: metro cúbico, quilograma, newton

Por convenção, as grandezas físicas são organizadas segundo um sistema de dimensões. Cada uma das sete grandezas de base do SI é considerada como tendo sua própria dimensão, que é simbolicamente representada por uma única letra maiúscula em tipo romano sem traço ou barra.

SI – Grandezas derivadas

A partir das grandezas fundamentais (ou básicas), podem-se derivar todas as outras unidades existentes: **grandezas derivadas**

Estas **grandezas derivadas** podem ser expressas em função das grandezas de base por meio de equações da física.

Aceleração:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \rightarrow \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s^2}$$

$$[a] = \frac{L}{T^2}$$

Dimensão: comprimento

Dimensão: tempo

SI – Grandezas derivadas

2ª Lei de Newton:

$$F = ma \rightarrow kg \cdot \frac{m}{s^2} \equiv N \quad \text{newton}$$

Dimensão: massa

$$[F] = \frac{M \cdot L}{T^2}$$

Dimensão: comprimento

Dimensão: tempo

SI – Grandezas derivadas

Trabalho e Energia:

$$\tau = F \cdot \Delta L \rightarrow N \cdot m \equiv J \quad \text{joule}$$

Dimensão: massa

$$[\tau] = \frac{M \cdot L^2}{T^2}$$

Dimensão: comprimento

Dimensão: tempo

SI – Grandezas derivadas

Potência:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \rightarrow \frac{J}{s} \equiv W \quad \text{watt}$$

Dimensão: massa

$$[P] = \frac{M \cdot L^2}{T^3}$$

Dimensão: comprimento

Dimensão: tempo

SI – Grandezas derivadas

Potência elétrica e Lei de Ohm:

$$P = UI \rightarrow U = \frac{P}{I} \rightarrow \frac{W}{A} \equiv V \quad \text{volt}$$

Dimensão: corrente elétrica

$$U = RI \rightarrow R = \frac{U}{I} \rightarrow \frac{V}{A} \equiv \Omega \quad \text{ohm}$$

Dimensão: corrente elétrica

Sistema Internacional de Unidades (SI)

Todas as unidades existentes podem ser derivadas das unidades fundamentais (ou básicas) do SI.

Exemplos:

Grandezas Derivadas	Unidade	Nome	Símbolo da dimensão
Aceleração	m/s^2	-----	L.T^{-2}
Força	N	newton	M. L.T^{-2}
Trabalho e energia	J	joule	$\text{M. L}^2.\text{T}^{-2}$
Potência	W	watt	$\text{M. L}^2.\text{T}^{-3}$
Tensão elétrica	V	volt	$\text{M. L}^2.\text{T}^{-3}.\text{I}^{-1}$
Resistência elétrica	Ω	ohm	$\text{M. L}^2.\text{T}^{-3}.\text{I}^{-2}$

Prefixos do SI: Múltiplos

Os prefixos do SI permitem escrever quantidades sem o uso da notação científica, de maneira mais clara para quem trabalha em uma determinada faixa de valores.

Exemplos de Prefixos Múltiplos do SI:

Nome do Prefixo	Fator	Símbolo
kilo	10^3	k
mega	10^6	M
giga	10^9	G
tera	10^{12}	T

Prefixos do SI: Submúltiplos

Exemplos de Prefixos Submúltiplos do SI:

Nome do Prefixo	Fator	Símbolo
mili	10^{-3}	m
micro	10^{-6}	μ
nano	10^{-9}	n
pico	10^{-12}	p

Analogia Eletro-Hidráulica (30 min)

Analógia eletro-hidráulica

Hidráulica	Eletricidade
$\Delta p = R_H Q$	$U = Ri$
Diferença de pressão (Δp)	Diferença de potencial (U)
Vazão volumétrica (Q)	Corrente elétrica (i)
Resistência hidráulica (R_H)	Resistência elétrica (R)
Variação de pressão na bomba disponível (Δp_0)	Fonte de tensão (U_0)
Resistência hidráulica na válvula ($R_{H,v}$)	Resistência elétrica (R)

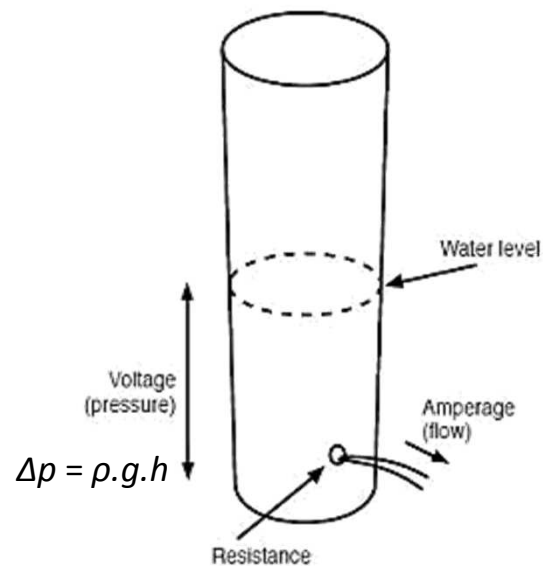


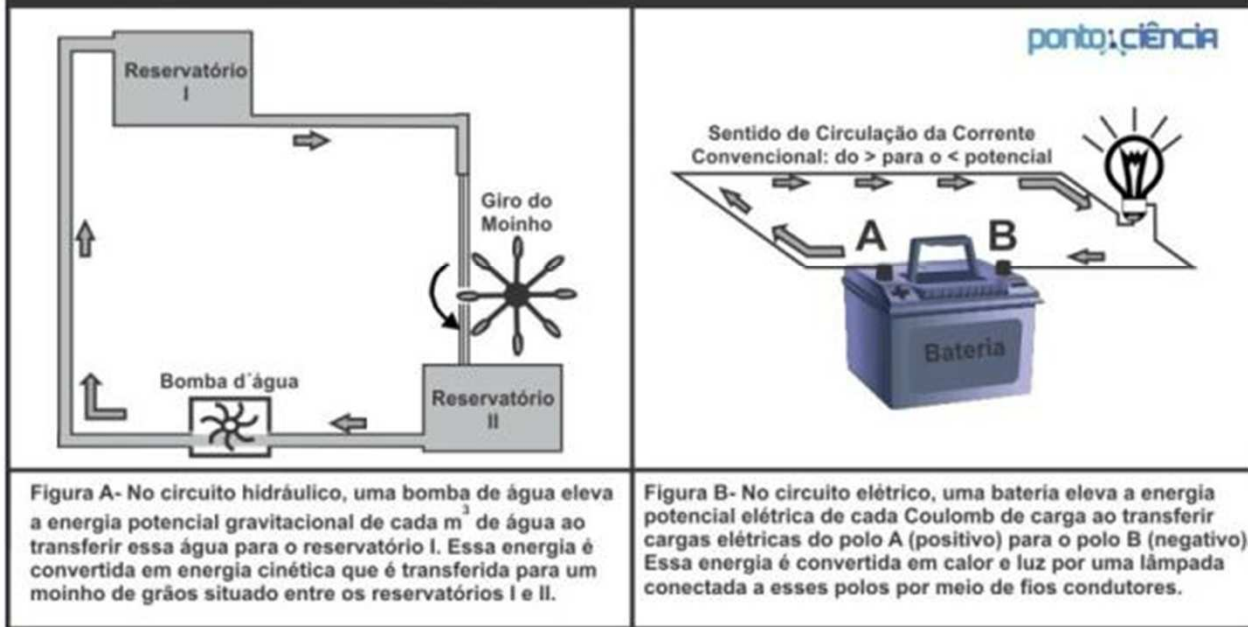
Figure 1-33. Think of voltage as pressure, and amperes as flow.



Figure 1-34. Larger resistance results in smaller flow—but if you increase the pressure, it may overcome the resistance and increase the flow.

Analógia eletro-hidráulica

Comparação entre as transformações de energia em circuitos Hidráulico e Elétrico simples



Analógia elétrico-hidráulica 1 - Circuito simples

A imagem apresenta uma analogia entre um circuito hidráulico e um circuito elétrico. A bomba d'água e a bateria elevam a energia potencial dos seus respectivos circuitos para gerar um fluxo. No caso do circuito hidráulico, quem flui é a água e o fluxo de água faz mover um moinho que faz o papel de aparelho consumidor de energia. No caso do circuito elétrico, quem flui são elétrons e o fluxo de elétrons, ou corrente elétrica, faz brilhar a lâmpada que, nesse caso, faz o papel de aparelho consumidor de energia.

Autor: Helder de F. e Paula

Analogia eletro-hidráulica

- ❖ Um fio condutor apresenta uma resistência elétrica dada pela limitação do fluxo de corrente em função das características do fio condutor.

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

ρ é a resistividade elétrica do condutor (depende do material utilizado), ℓ é o comprimento e A é a área da seção do condutor.

- ❖ Uma tubulação também apresenta resistência hidráulica, dada pela perda de carga em função das características da tubulação:

A perda de carga h em uma tubulação é dada por:
$$h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Sendo f o fator de atrito, L o comprimento do tubo, D o seu diâmetro, V a velocidade média do fluido e g a aceleração da gravidade.

Analogia eletro-hidráulica

Admitindo-se fluido newtoniano temos a seguinte expressão para o cálculo do fator de atrito ,

$$f = \frac{64}{Re_D} \quad , \text{ sendo } Re_D \text{ o número de Reynolds definido em função do diâmetro.}$$

Combinando as duas expressões podemos escrever $h = 32\nu \frac{L}{D^2} \frac{V}{g}$. Introduzindo a vazão volumétrica ($Q = V.A$) e a relação entre perda de carga e variação de pressão ($\Delta p = \rho.g.h$, sendo ρ a massa específica do fluido) $\Delta p = \frac{128}{\pi} \mu \frac{L}{D^4} Q$, sendo μ a viscosidade dinâmica do fluido. Note que podemos escrever a expressão anterior no formato da Lei de Ohm, definindo a resistência hidráulica como:

Hidráulica	Eletricidade
$\Delta p = R_H Q$	$U = Ri$
Diferença de pressão (Δp)	Diferença de potencial (U)

$$R_H = \frac{128}{\pi} \mu \frac{L}{D^4}$$

Analogia eletro-hidráulica

Hidráulica	Eletricidade
$\Delta p = R_H Q$	$U = Ri$
Diferença de pressão (Δp)	Diferença de potencial (U)
Vazão volumétrica (Q)	Corrente elétrica (i)
Resistência hidráulica (R_H)	Resistência elétrica (R)
Variação de pressão na bomba disponível (Δp_0)	Fonte de tensão (U_0)
Resistência hidráulica na válvula ($R_{H,v}$)	Resistência elétrica (R)

R_H (para fluido newtoniano) :

$$R_H = \frac{128}{\pi} \mu \frac{L}{D^4}$$

Potência Hidráulica:

$$P_H = \Delta p \cdot Q$$

R (do fio condutor) :

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Potência Elétrica:

$$P = U \cdot i$$

Projeto de uma rede de distribuição de petróleo (Briefing 10 + 120 min)

Individual
(entrega: duas semanas)

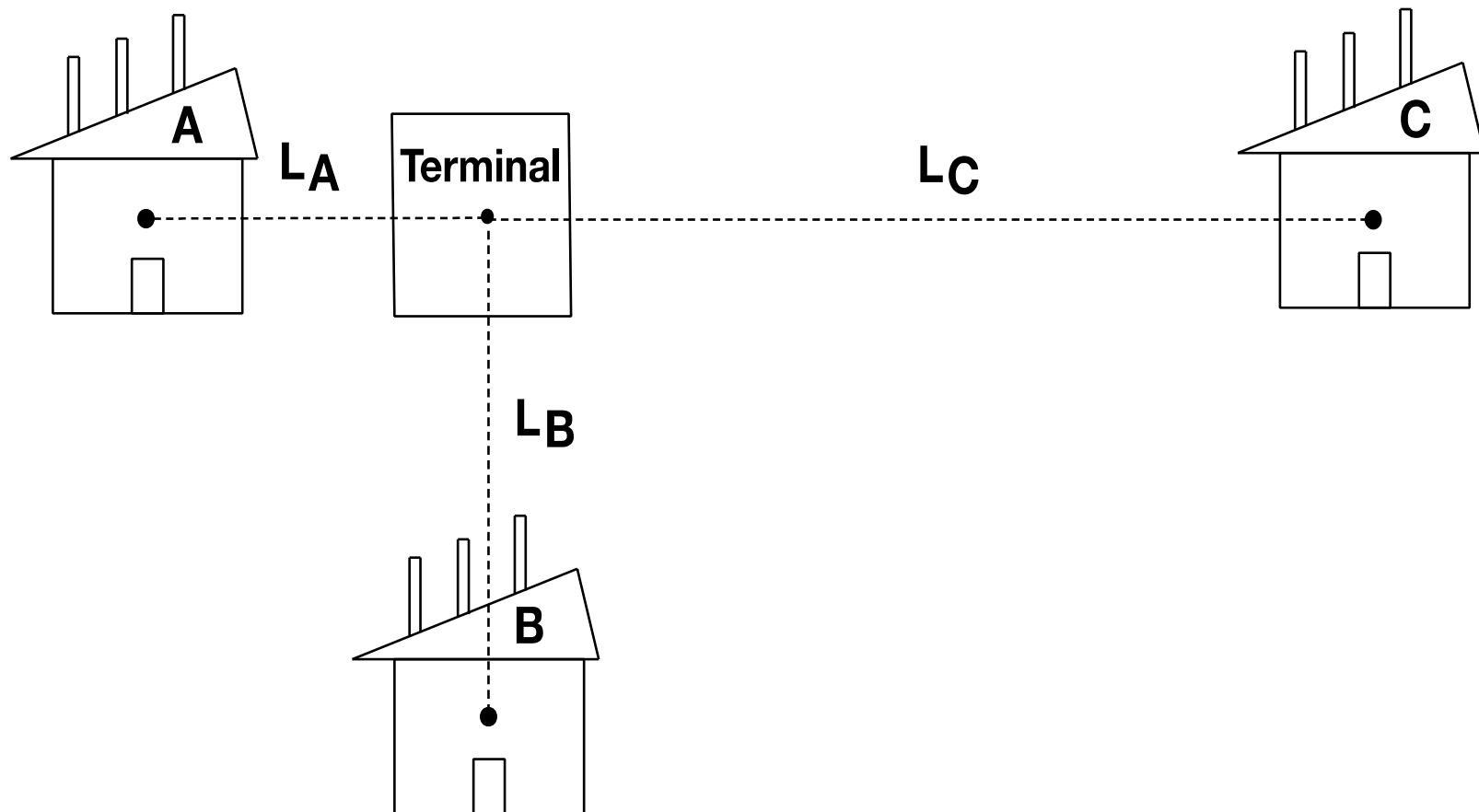
Distribuição de petróleo

Projete um sistema de distribuição de petróleo de um Terminal para três Refinarias (A, B, C), obedecendo os pré-requisitos (vazões volumétricas mínimas e máximas) e as condições expostas (bombas, tubos e válvulas).

Encontre soluções através de modelos: analogia por resistores.

Escolha a solução ideal analisando o custo energético das soluções: cálculo das potências dissipadas.

Distribuição de petróleo



Informações para o projeto

Refinaria	L [km]	Q_{\min} [L/s]	Q_{\max} [L/s]
A	36	80	100
B	50	135	145
C	100	100	145
AB	62	----	----
BC	112	----	----
AC	136	----	----

Analogia eletro-hidráulica

Hidráulica	Eletricidade
$\Delta p = R_H Q$	$U = Ri$
Diferença de pressão (Δp)	Diferença de potencial (U)
Vazão volumétrica (Q)	Corrente elétrica (i)
Resistência hidráulica (R_H)	Resistência elétrica (R)
Variação de pressão na bomba disponível (Δp_0)	Fonte de tensão (U_0)
Resistência hidráulica na válvula ($R_{H,v}$)	Resistência elétrica (R_v)

Equivalência em resistência elétrica: 10 km de linha = 33 Ω ;

Equivalência em tensão (diferença de potencial): 900 kPa = 3 V;

Equivalência corrente elétrica por vazão volumétrica = 6,905 (L/s)/mA.

Analogia eletro-hidráulica

Dispomos no domínio hidráulico de:

- Estação de bombeamento ($\Delta P_0 = 900 \text{ kPa}$);
- Tubos com comprimento variável e diâmetro constante de 24”;
- Válvulas com diâmetro de 24”;
- Bomba auxiliar de 450 kPa.

Dispomos no domínio elétrico de:

- Bateria principal com $U_0 \approx 3 \text{ V}$;
- Resistores de 1, 2, 5, 10, 50, 60, 100, 150 e 330 Ω de 1 a 2 %;
- Bateria auxiliar de $U_0 \approx 1,5 \text{ V}$.

Leituras e atividades recomendadas

- Leitura do documento Sistema Internacional de Unidades;
- Consulta do documento Vocabulário Internacional Metrológico para os tópicos hoje apresentados.

Faça uma reflexão sobre conhecimentos e habilidades adquiridos, e dificuldades encontradas!