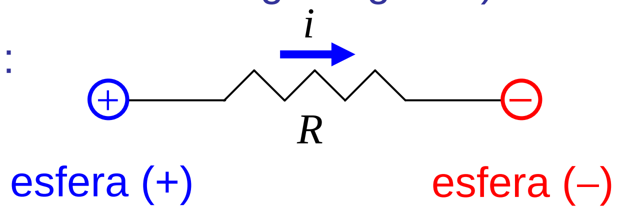
7. Circuitos (baseado no Halliday, 4ª edição)

Bombeamento de Carga

Para fazermos com que os portadores de carga fluam através de um resistor, devemos ter em um dos terminais um potencial (ex.: esfera de carga positiva) maior que no outro terminal (ex.: esfera de carga negativa).

Ex.:



se as esferas são carregadas, elas logo se descarregam, fazendo que a corrente vá a zero em pouco tempo.

Então, necessitamos de um dispositivo que mantenha o fluxo de constante de cargas entre os terminais do resistor. Neste caso tal dispositivo deve realizar um trabalho constante sobre os portadores de carga $\rightarrow$ chamamos tal dispositivo de **dispositivo de fem**.

Dispositivo de fem

"Mantém o fluxo de cargas entre seus terminais, realizando um trabalho contínuo sobre os portadores de carga."

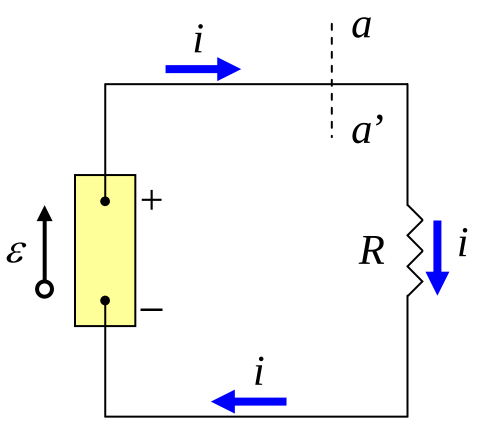
1) As vezes chamado de **sede de fem**.

2) O termo **fem** vem da antiga denominação de "força eletromotriz".

O dispositivo de fem fornece uma fem, ε, significando que trabalha sobre os portadores de carga.

Ex.: baterias, pilhas, gerador elétrico, usinas, células solares, células combustíveis (provêm de energia as espaçonaves), termopilhas (fornece energia a bordo de algumas espaçonaves e estações remotas na Antártica), gerador de van de Graaff, de forma geral até mesmo organismos vivos podem ser tratados como dispositivos de fem.

Trabalho, Energia e Fem



Dispositivo de fem (bateria) que faz parte de um circuito simples:

a) Terminais $\rightarrow$ parte superior, terminal positivo.
$\rightarrow$ parte inferior, terminal negativo.

b) A fem é representada pela seta do terminal negativo para o positivo.

Sentido da corrente:

Interno ao dispositivo de fem $\rightarrow$ do terminal negativo para o positivo, que é o sentido que o dispositivo faz com que os portadores de carga positiva se movam através dele.

Externo ao dispositivo de fem $\rightarrow$ a corrente no circuito move-se no mesmo sentido da fem.

Dentro do dispositivo de fem

Os portadores de carga positiva movem-se de uma região de baixo potencial elétrico (baixa energia potencial elétrica) no terminal negativo, para uma região de potencial mais alto (energia potencial mais alta) no terminal positivo.

Fora do dispositivo de fem

Os portadores de carga positiva movem-se em sentido contrário apontando do terminal de potencial mais alto (positivo) para o de potencial mais baixo (negativo).

Conclusão: deve haver alguma fonte de energia dentro do dispositivo que lhe permita realizar trabalho sobre as cargas a assim movê-las no sentido da seta de fem.

Analisando o circuito

a) Em qualquer intervalo de tempo dt, uma carga dq passa através de qualquer seção transversal do circuito, como aa'.

b) O dispositivo deve realizar um trabalho dW para levar a carga dq do potencial menor para o maior (dentro do dispositivo).

$$\boxed{\varepsilon \overset{def.}{=} \frac{dW}{dq}}$$ (definição de fem)

“O trabalho realizado pelo dispositivo, por unidade de carga, para mover a carga de seu terminal de potencial mais baixo para o seu terminal de potencial mais alto..”

Unidade (ε):

a) $[\varepsilon] = [W] / [q]$ $\rightarrow$ no S. I. $\rightarrow$ **J / C** $\rightarrow$ recebe o nome de Volt (**V**).

b) Valor unitário

$$\boxed{1V = \frac{1J}{1C}}$$ (como já foi visto)

Dispositivo Ideal de fem

1º) Resistência interna, r, nula (não oferece resistência interna ao movimento de cargas de um terminal para outro) $\rightarrow r = 0\ \Omega$.

2º) A d. d. p. entre os terminais de um dispositivo ideal de fem. é igual à fem do dispositivo $\rightarrow \varepsilon = V_b - V_a$.

Ex.: uma bateria ideal com fem = 12,0 V, tem 12,0 V entre os seus terminais.

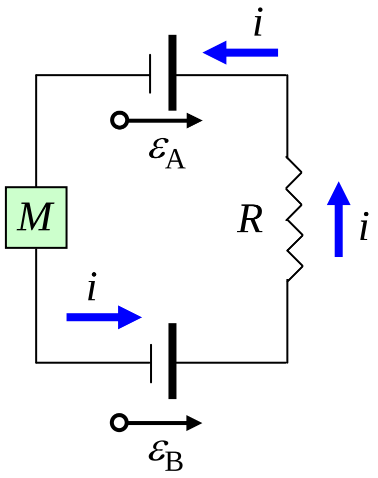
Dispositivo Real de fem

1º) Possui resistência interna (oferece uma resistência interna ao movimento de cargas) $\rightarrow r \neq 0\ \Omega$.

2º) Quando um dispositivo real de fem não está ligado a um circuito (não há corrente através do dispositivo), a d. d. p. é igual a fem $\rightarrow \varepsilon = V_b - V_a$.

3º) Quando há corrente através deste dispositivo, a d. d. p. entre os terminais difere da sua fem → $\varepsilon \neq V_b - V_a$.

Obs.: pode-se fazer a analogia do dispositivo de fem e uma pessoa levantando bolas e fazendo-as rolar por uma prateleira (circuito elétrico) até um tubo com óleo viscoso (resistência elétrica).



A e B → duas baterias ideais.
R → resistor
M → um motor elétrico (ideal) usado para levantar peso.

As baterias estão conectadas de forma a enviar corrente em sentido contrário.

O sentido efetivo da corrente no circuito é determinado pela bateria de maior fem (vamos supor a B)

a) Então a bateria A está sendo carregada pela B.

b) A bateria B está tendo a sua energia química exaurida

Então podemos dizer que:

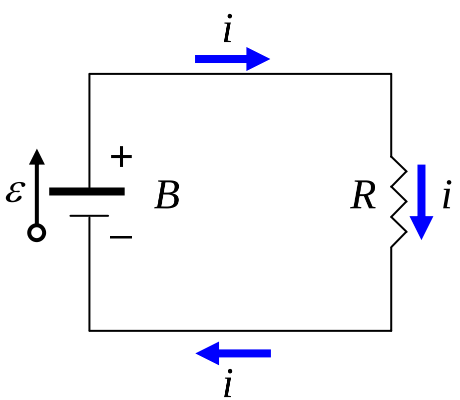
Energia química da bateria B

- Trabalho realizado pelo motor M sobre a massa m
- Energia térmica produzida no resistor R
- Energia química armazenada em A

O Cálculo da Corrente

Dois métodos básicos : 1º) Métodos baseados na conservação da energia
2º) Métodos baseados na conservação da carga elétrica.

Analisando o Circuito: o circuito consiste de uma bateria ideal B, com uma fem ε, um resistor R e fios de ligação (resistência desprezível).



B → bateria ideal.
ε → fem da bateria.
R → resistor
i → corrente elétrica.

Método da Energia

Resistor: num intervalo de tempo dt, a energia fornecida pela bateria, $P = R\,i^2$, aparece no resistor sob a forma de energia térmica

$$P \overset{def.}{=} \frac{dW}{dt} = R\,i^2 \quad \text{e a energia} \quad dW = R\,i^2\,dt.$$

Bateria: da definição da fem e lembrando que $dq = i\,dt$

$$\varepsilon \overset{def.}{=} \frac{dW}{dt} \quad \text{ou} \quad dW = \varepsilon\,dq = \varepsilon\,i\,dt.$$

Fazendo o balanço de energia $R\,i^{\cancelto{1}{2}}\,\cancel{dt} = \varepsilon\,\cancel{i}\,\cancel{dt}$, finalmente

$$\boxed{\varepsilon = R\,i}$$

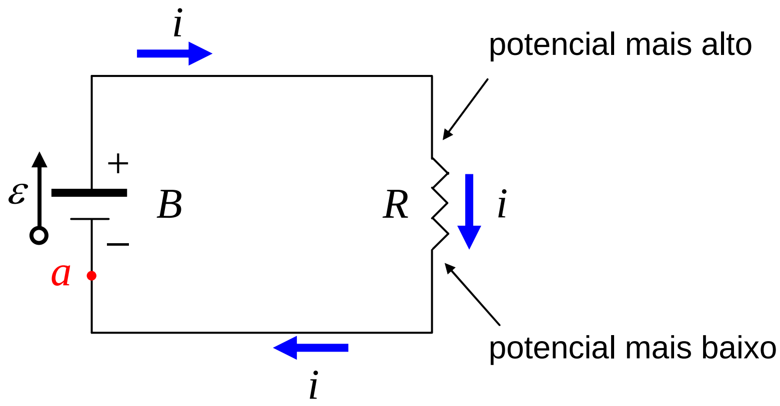
1) “A fem é a energia por unidade de carga transferida pela bateria às cargas em movimento.”

2) “A grandeza $R\,i$ é a energia por unidade de carga transferida pelas cargas em movimento ao resistor, sob a forma de energia térmica.”

$$\boxed{i = \frac{\varepsilon}{R}}$$

Método do Potencial (ex.: Regra das Malhas de Kirchhoff)

Usaremos um circuito de malha única, mas o método pode ser utilizado em circuitos de muitas malhas.



B $\rightarrow$ bateria ideal.
ε $\rightarrow$ fem da bateria.
R $\rightarrow$ resistência elétrica.
i $\rightarrow$ corrente elétrica.
a $\rightarrow$ ponto de partida arbitrário.

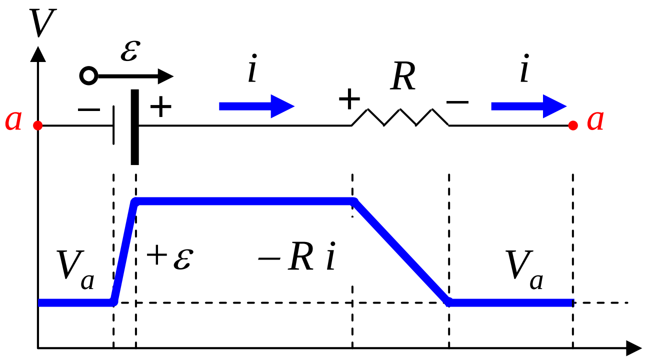
1º) Método Potencial (caso geral)

"Partindo de um ponto qualquer, fazemos o percurso no circuito em qualquer sentido, somando algebricamente as d. d. p. que encontrarmos. Quando retornamos ao ponto de partida, devemos encontrar o mesmo valor de potencial." $\rightarrow$ conservação da energia.

Para entender o método, vamos usar o circuito acima.

Ponto de partida arbitrário: vamos partir do ponto a.

Percurso arbitrário no circuito: vamos percorrer no sentido horário.



a) O potencial do ponto a é V_a.

b) Como a bateria é ideal, a d. d. p. entre os seus terminais é igual a fem, então a variação de potencial é $+\varepsilon$.

c) Seguindo até o resistor, a extremidade superior do resistor está a um potencial mais alto (potencial mais alto da bateria), mas quando passamos por ele, temos uma queda de potencial de $-R\,i$.

d) Retornamos ao ponto a, com nenhuma variação de potencial, e encontramos o potencial V_a.

$$\cancel{V_a} + \varepsilon - R\,i = \cancel{V_a} \quad \text{então} \quad \boxed{\varepsilon - R\,i = 0}\ .$$

2º) Regra das Malhas de Kirchhoff (aplicação do método potencial)

"A soma algébrica das variações de potencial encontradas ao longo de uma malha fechada de qualquer circuito, deve ser nula." → conservação da energia.

Gustav Robert Kirchhoff (12 de março de 1824, Königsberg, Prússia – 17 de outubro de 1887, Berlin, Alemanha) foi um físico alemão.

Teve grande contribuições científicas principalmente no campo dos circuitos elétricos, na espectroscopia, na emissão de radiação dos corpos negros e na teoria da elasticidade (modelo de placas de Kirchhoff). Kirchhoff propôs o nome de "radiação do corpo negro" em 1862. É o autor de duas leis fundamentais da teoria clássica dos circuitos elétricos e da emissão térmica.

Aplicando a regra das malhas no mesmo circuito, temos $\varepsilon - R\,i = 0$. O mesmo resultado anterior.

Obs.: a equação obtida em ambos os métodos, mostra que na verdade a regra das malhas de Kirchhoff, é uma forma de eliminarmos os potenciais flutuantes em relação ao potencial do referencial terra. Escolhemos o sistema de referência e a energia de referência de tal forma que eliminamos V_a.

Em ambos os casos analisados, podemos resolver para i, e temos

$$\boxed{i = \frac{\varepsilon}{R}}$$

Que é o mesmo resultado encontrado pelo método da energia.

Obs.: teríamos encontrado o mesmo resultado se tivéssemos percorrido a malha fechada no sentido anti-horário

$$-\varepsilon + R\,i = 0.$$

Então, podemos aplicar a regra das malhas percorrendo uma malha fechada em qualquer sentido.

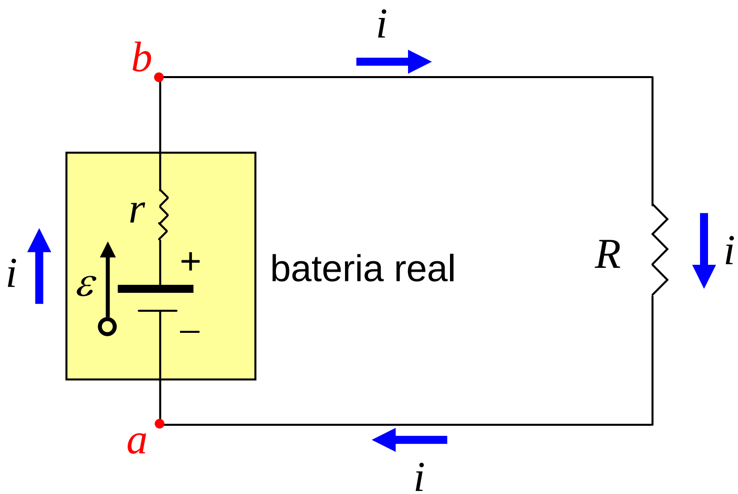
Regras a serem usadas em circuitos mais complexos:

Regra das resistências: percorrendo-se um resistor no sentido da corrente, a variação de potencial é $-R\,i$; no sentido oposto é $+R\,i$. (Num análogo gravitacional, andando-se correnteza abaixo num riacho, nossa elevação diminui; andando-se correnteza acima ela aumenta).

Regra da fem: percorrendo-se um dispositivo ideal de fem, no sentido da seta da fem, a variação do potencial é $+\ \varepsilon$; no sentido oposto é $-\ \varepsilon$.

Outros Circuitos de Única Malha

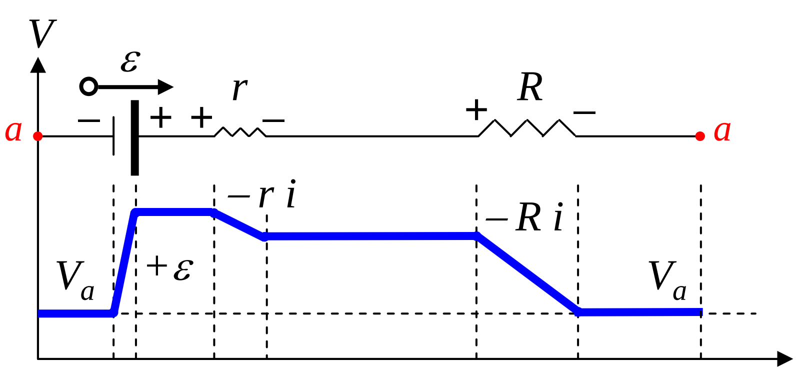
1º) Dispositivo real de fem (resistência interna)



a) Bateria real de fem com resistência interna r, ligada por um fio a um resistor R.

r $\rightarrow$ resistência elétrica do material condutor da bateria (característica não removível da bateria).

b) Aplicando o método dos potenciais no sentido horário e começando em a.



Método dos potenciais: $\cancel{V_a} + \varepsilon - r\,i - R\,i = \cancel{V_a}$. Então

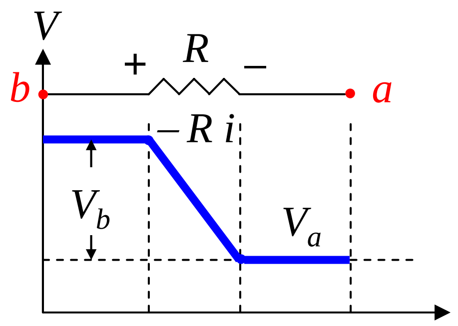
$$\boxed{\varepsilon - r\,i - R\,i = 0}$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R + r}$$ (Corrente elétrica no circuito).

2º) Diferença de Potencial Entre Dois Pontos Quaisquer do Circuito

Muitas vezes queremos calcular a d. d. p. entre dois pontos de um circuito, o método dos potenciais pode ser útil neste momento.

Problema: Considere o mesmo circuito anterior onde os pontos que vamos considerar são os pontos a e b.



De $b \rightarrow a$ no sentido horário

a) Vamos partir do ponto b, percorrer o circuito no sentido horário até o ponto a.

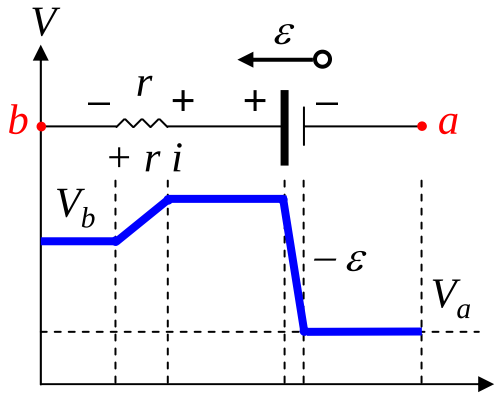
$V_b - R\,i = V_a$, então temos $V_b - V_a = R\,i$.

Isto nos diz que o potencial do ponto b é maior que o potencial do ponto a, como supusemos na representação ao lado.

b) Usando o valor da corrente do item anterior

$$V_b - V_a = \varepsilon \frac{R}{R + r}$$

"Para determinar a d. d. p. entre dois pontos quaisquer num circuito, partimos do ponto e percorremos o circuito até encontrarmos o outro ponto, seguindo qualquer caminho, somando algebricamente as variações de potencial que encontrarmos."



De $b \rightarrow a$ no sentido anti-horário

a) Vamos partir do ponto b, percorrer o circuito no sentido anti-horário até o ponto a.

$V_b + r\,i - \varepsilon = V_a$, então temos $V_b - V_a = \varepsilon - r\,i$.

Então $V_b - V_a = \varepsilon$, quando $i = 0$ A ou $r = 0\ \Omega$.

$i = 0$ A $\rightarrow$ circuito aberto.
$r = 0\ \Omega$ $\rightarrow$ dispositivo ideal de fem.

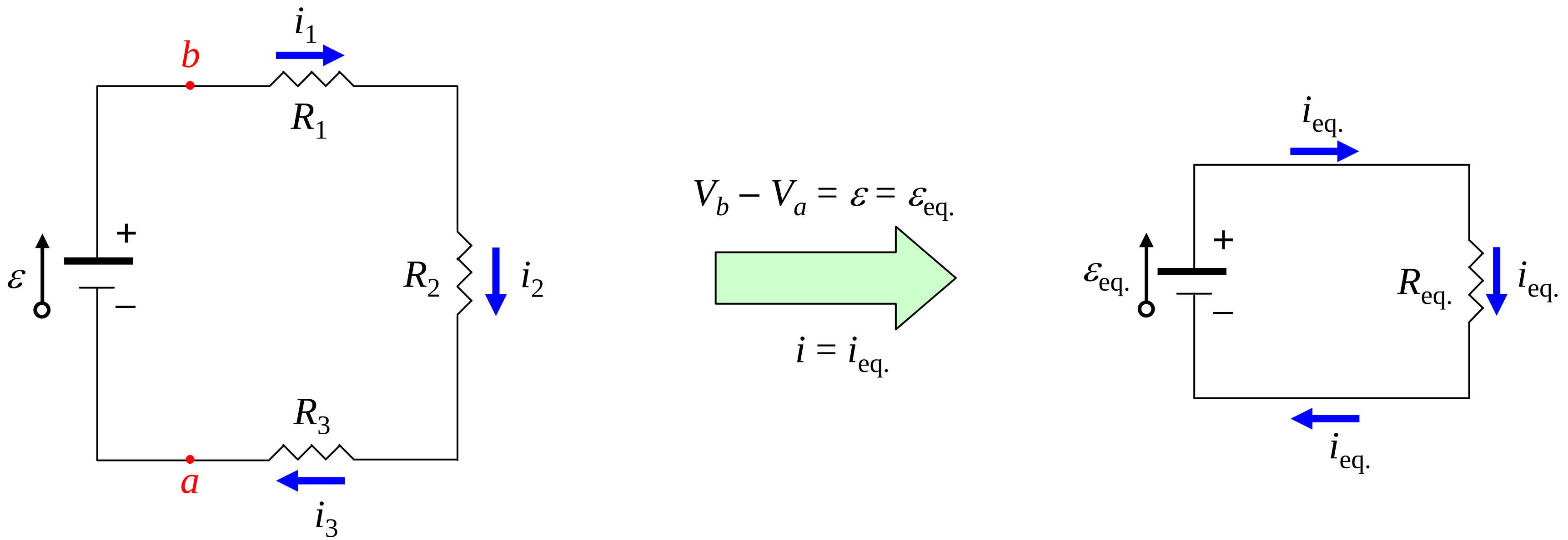
b) Usando o mesmo valor da corrente do 1º) caso

$$\boxed{V_b - V_a = \varepsilon \frac{R}{R + r}}$$

Obs.: não importa o sentido que percorremos o circuito, devemos encontrar a mesma d. d. p. entre os pontos a e b, pois esta d. d. p. independe da trajetória.

3º) Resistências em Série

Problema: dadas as resistências de uma combinação em série, devemos encontrar o resistor equivalente, que para a mesma bateria, substitui os demais resistores da combinação.



a) A bateria do circuito equivalente deve ter a mesma fem que o original e produzir a mesma corrente que o circuito a ser substituído $\rightarrow$ condição de circuito equivalente.

b) A bateria aplica uma d. d. p. $V_b - V_a = V = \varepsilon = \varepsilon_{eq.}$ (bateria ideal).

c) A corrente elétrica que percorre ambos os circuitos

$$\boxed{i = i_{eq.} = i_1 = i_2 = i_3 = \cdots}$$

d) Aplicando a Regra das Malhas de Kirchhoff, partindo de $b \rightarrow a$, no sentido horário, então $\varepsilon - V_1 - V_2 - V_3 - \ldots = 0$ ou

$$\boxed{V_b - V_a = \varepsilon = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots}$$

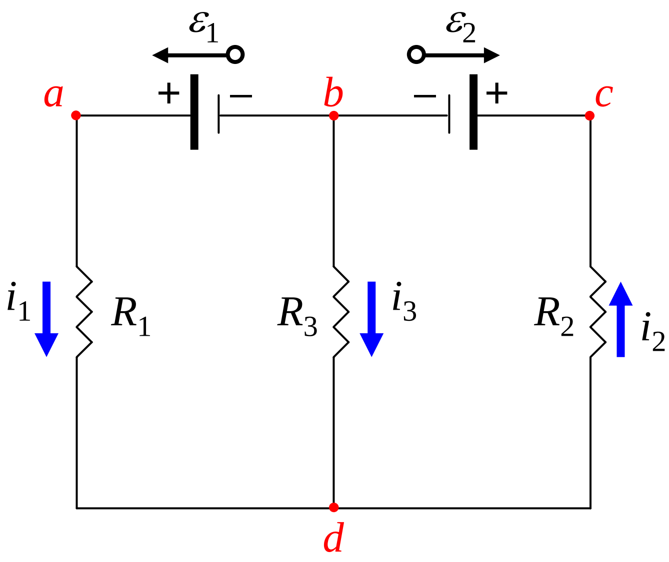
c) Usando a lei básica $V = R\,i$

$V_b - V_a = \varepsilon = R_1\, i_1 + R_2\, i_2 + R_3\, i_3 + \cdots = \varepsilon_{eq.} = R_{eq.}\, i_{eq.}$, então a resistência equivalente fica

$$\boxed{R_{eq.} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots} \quad \text{ou} \quad \boxed{R_{eq.} = \sum_{i=1}^{N} R_i}\,.$$

"Dizemos que uma combinação de resistências está em série quando a d. d. p. aplicada através da combinação é a soma das d. d. p.(s) resultantes através de cada uma das resistências elétricas."

Circuitos de Malhas Múltiplas



As baterias possuem resistência interna desprezíveis (ideais)

a) Circuito com duas malhas (*abda* e *bcdb*).

b) Dois nós (*b* e *d*).

c) Três ramos $\rightarrow$ esquerda (*bad*) $\rightarrow$ corrente i_1.
$\rightarrow$ direita (*bcd*) $\rightarrow$ corrente i_2.
$\rightarrow$ central (*bd*) $\rightarrow$ corrente i_3.

O sentido das correntes foram escolhidos arbitrariamente:

a) Analisando o sentido das fem(s) vemos que i_3 devia apontar para cima e não para baixo.

b) Este sentido foi escolhido incorretamente para mostrar que a álgebra corrigirá automaticamente esta suposição.

Ferramentas básicas para resolver circuitos complexos:

1. Regra das Malhas $\rightarrow$ fundamentada na conservação da energia.
2. Regra dos Nós $\rightarrow$ fundamentada na conservação da carga.

1º) Regra das Malhas de Kirchhoff

Vamos aplicá-la para as duas malhas, *abda* e *bcdb*.

a) Percorrendo a malha da esquerda no sentido anti-horário partindo de *b*.

$$\varepsilon_1 - R_1\, i_1 + R_3\, i_3 = 0$$

b) Para a malha da direita, partindo também de *b*, no sentido anti-horário.

$$-R_3\, i_3 - R_2\, i_2 - \varepsilon_2 = 0$$

2º) Regra dos Nós de Kirchhoff

A carga elétrica que é levada para o nó *d*, pelas correntes que chegam (i_1 e i_3), é retirada pela corrente que sai do nó (i_2).

$$i_1 + i_3 = i_2$$

Obs.: quando aplicamos a regra dos nós ao nó b, temos exatamente a mesma equação.

A Regra dos Nós de Kirchhoff:

"A soma algébrica das correntes que chegam a qualquer nó deve ser igual à soma das correntes que saem daquele nó." $\rightarrow$ conservação da carga elétrica.

Temos três equações, envolvendo as três correntes. Resolvendo para as três incógnitas (i_1, i_2 e i_3):

$$\begin{aligned} -R_1\, i_1 + 0\, i_2 + R_3\, i_3 &= -\varepsilon_1 \\ 0\, i_1 - R_2\, i_2 - R_3\, i_3 &= \varepsilon_2 \\ i_1 - i_2 + i_3 &= 0 \end{aligned}$$

Podemos resolver o sistema de equações através da **Regra de Cramer**, por exemplo:

$$i_1 = \frac{\begin{vmatrix} -\varepsilon_1 & 0 & R_3 \\ \varepsilon_2 & -R_2 & -R_3 \\ 0 & -1 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -R_1 & 0 & R_3 \\ 0 & -R_2 & -R_3 \\ 1 & -1 & 1 \end{vmatrix}} \quad \text{onde} \quad \boxed{i_1 = \frac{\varepsilon_1 (R_2 + R_3) - \varepsilon_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}}\,.$$

Fazendo o mesmo para i_2 e i_3, temos:

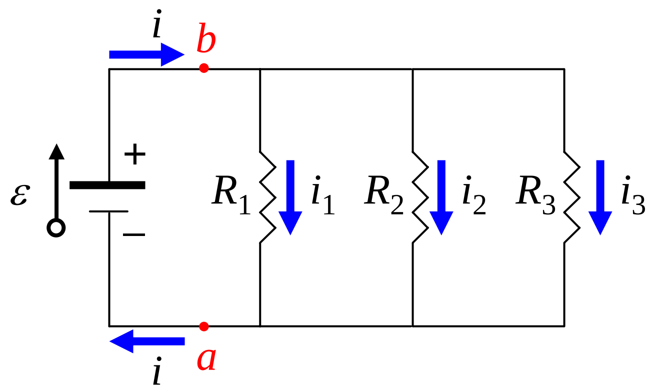
$$i_2 = \frac{\begin{vmatrix} -R_1 & -\varepsilon_1 & R_3 \\ 0 & \varepsilon_2 & -R_3 \\ 1 & 0 & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -R_1 & 0 & R_3 \\ 0 & -R_2 & -R_3 \\ 1 & -1 & 1 \end{vmatrix}}$$ onde $$\boxed{i_2 = \frac{\varepsilon_1 R_3 - \varepsilon_2\,(R_1 + R_3)}{R_1\,R_2 + R_2\,R_3 + R_1\,R_3}}$$ e

$$i_3 = \frac{\begin{vmatrix} -R_1 & 0 & -\varepsilon_1 \\ 0 & -R_2 & \varepsilon_2 \\ 1 & -1 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} -R_1 & 0 & R_3 \\ 0 & -R_2 & -R_3 \\ 1 & -1 & 1 \end{vmatrix}}$$ onde $$\boxed{i_3 = -\frac{\varepsilon_1\,R_2 + \varepsilon_2\,R_1}{R_1\,R_2 + R_2\,R_3 + R_1\,R_3}}$$.

Obs.: das equações acima, vemos que i_3 tem um sinal negativo, não importando quais sejam os valores das resistências e das fem(s). Logo o sentido desta corrente é o oposto ao considerado. Enquanto que i_1 e i_2 podem ter qualquer sentido, dependendo dos valores numéricos das resistências e das fem(s).

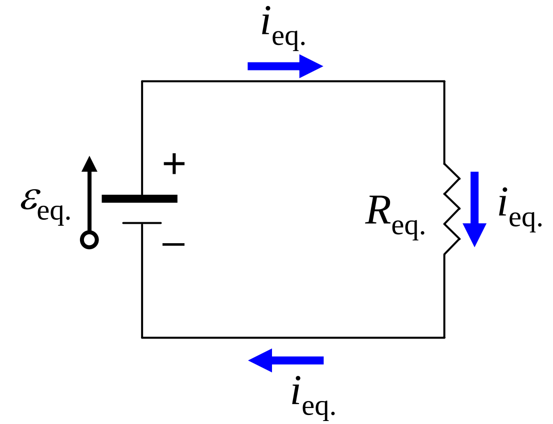
Resistências em Paralelo

Problema: três resistências em paralelo a uma bateria ideal de fem ε.



$V_b - V_a = \varepsilon = \varepsilon_{eq.}$

$i = i_{eq.}$



a) A bateria do circuito equivalente deve ter a mesma fem que o original e produzir a mesma corrente que o circuito a ser substituído $\rightarrow$ condição de circuito equivalente.

b) A bateria aplica uma d. d. p. $V_b - V_a = V = \varepsilon = \varepsilon_{eq.}$ (bateria ideal).

c) Aplicando a Regra dos Nós de Kirchhoff para o nó *b* (por exemplo)

$$\boxed{i = i_{eq.} = i_1 + i_2 + i_3 + \cdots}$$

d) Como cada resistor possui em seus terminais, a mesma d. d. p.

$$\boxed{V_b - V_a = \varepsilon = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots}$$

c) Usando a lei básica $V = R\,i$ na expressão para corrente elétrica

$\dfrac{\varepsilon_{eq.}}{R_{eq.}} = \dfrac{V_1}{R_1} + \dfrac{V_2}{R_2} + \dfrac{V_3}{R_3} + \cdots$, usando d), então a resistência equivalente fica

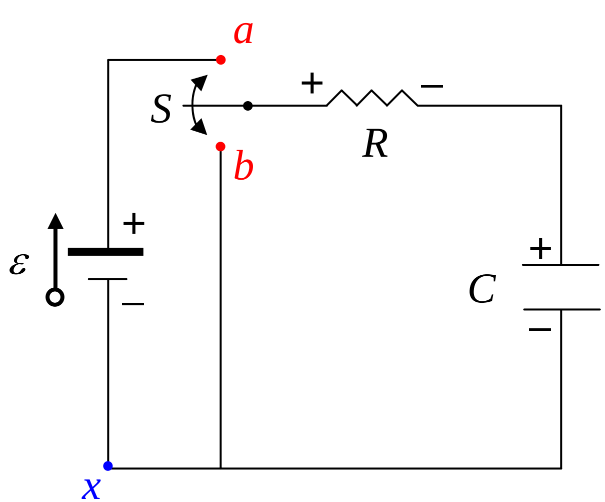
$$\boxed{\frac{1}{R_{eq.}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots} \quad \text{ou} \quad \boxed{\frac{1}{R_{eq.}} = \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{R_i}}\,.$$

Circuito RC

Antes: tratamos até aqui com correntes elétricas que não variam no tempo.

Agora: vamos tratar com correntes elétricas variáveis no tempo.

1º) Carregando um Capacitor



O capacitor está inicialmente descarregado. Movendo-se a chave S para a temos um circuito **RC** em série e a fem, ε, em série com a resistência R e a capacitor C.

Como a corrente varia no tempo?

Para responder isso, vamos aplicar a Regra das Malhas no circuito (com chave S em a), no sentido horário e começando do ponto x:

$\varepsilon - V_R - V_C = 0$ ou $\boxed{V_R + V_C = \varepsilon}$.

Usando $V_R = R\,i$ e $q = C\,V_C$, então, $R\,i + \dfrac{q}{C} = \varepsilon$, tanto q quanto i variarão com o tempo, logo esta é uma equação com duas variáveis (q, i), precisamos de mais uma equação $i = \dfrac{dq}{dt}$.

Então temos a equação de carga $$\boxed{R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \varepsilon}$$

Devemos achar uma condição inicial que satisfaça a exigência de que o capacitor esteja inicialmente descarregado.

Condição de contorno = condição inicial = para $t = 0$ s, $q_0 = 0$ C.

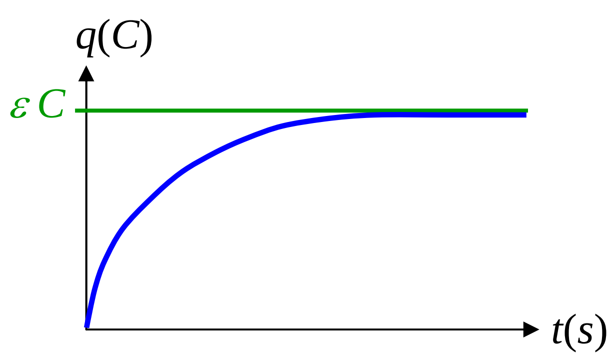
Felizmente a equação diferencial é de variáveis separáveis $\dfrac{dq}{1-{q}/{\varepsilon C}} = \dfrac{\varepsilon}{R}dt$

1º) A carga elétrica $\boxed{q = \varepsilon C\,(1 - e^{-t/RC})}$.

2º) A corrente elétrica $i = \dfrac{dq}{dt}$ e $\boxed{i = \dfrac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}}$.

3º) A d. d. p. no capacitor $V_C = \dfrac{q}{C}$ e $\boxed{V_C = \varepsilon\,(1 - e^{-t/RC})}$.

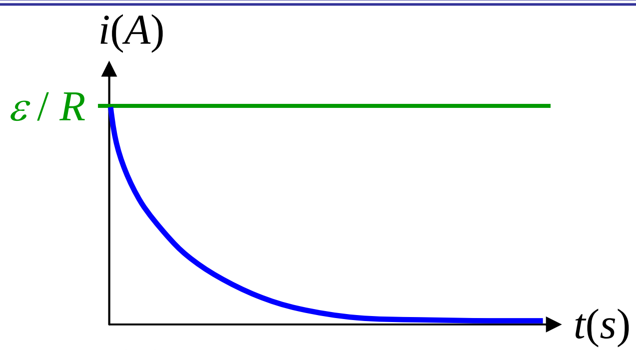
4º) A d. d. p. no resistor $V_R = R\,i$ e $\boxed{V_R = \varepsilon\, e^{-t/RC}}$.



Usando a equação para carga q:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $q = 0$ C.

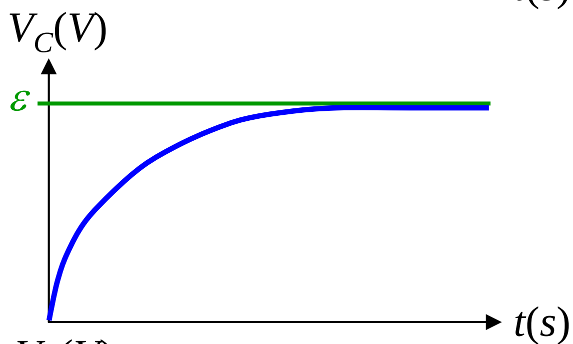
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $q \to \varepsilon C$.



Usando a equação para i:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $i = \varepsilon / R$.

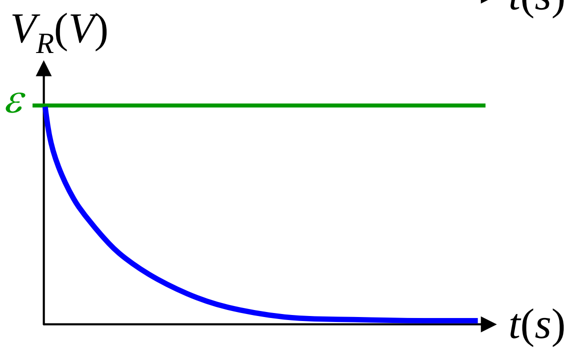
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $i \to 0$ A.



Usando a equação para carga V_C:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $V_C = 0$ V.

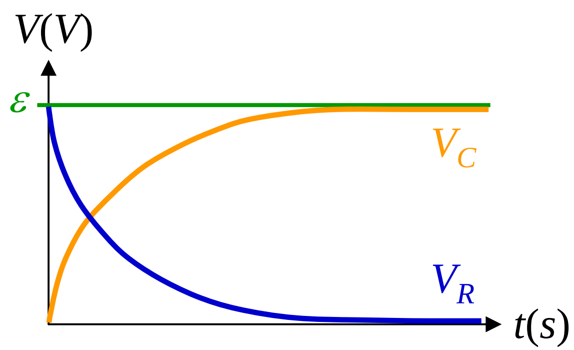
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $V_C \to \varepsilon$.



Usando a equação para V_R:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $V_R = \varepsilon$.

b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $V_R \to 0$ V.



2º) Descarga de um Capacitor

Suponha agora que o capacitor está plenamente carregado ($V_C = \varepsilon$ e $q = \varepsilon\, C$), e para $t = 0$ s, giramos a chave S para o ponto b, para que o capacitor C possa descarregar na resistência R.

Como a corrente de descarga do capacitor varia no tempo?

A equação anterior continua sendo válida, exceto que agora não temos a bateria no circuito ($\varepsilon = 0$ V).

$$\boxed{V_R + V_C = 0}$$

Então, a equação de descarga é $$\boxed{R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0}$$

A condição inicial agora é que o capacitor esteja inicialmente totalmente carregado.

Condição de contorno = condição inicial = para $t = 0$ s, $q_0 = \varepsilon\, C$.

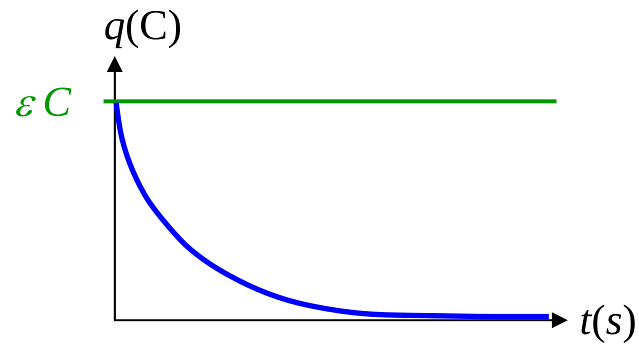
Da mesma maneira que a anterior, esta equação também é de variáveis separáveis, então podemos escrever: $\dfrac{dq}{q} = -\dfrac{dt}{RC}$

1º) A carga elétrica $$\boxed{q = \varepsilon\, C\, e^{-t/RC}}$$.

2º) A corrente elétrica $i = \frac{dq}{dt}$ e $\boxed{i = -\frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC}}$. Esta corrente é oposta a de carga.

3º) A d. d. p. no capacitor $V_C = \frac{q}{C}$ e $\boxed{V_C = \varepsilon\, e^{-t/RC}}$.

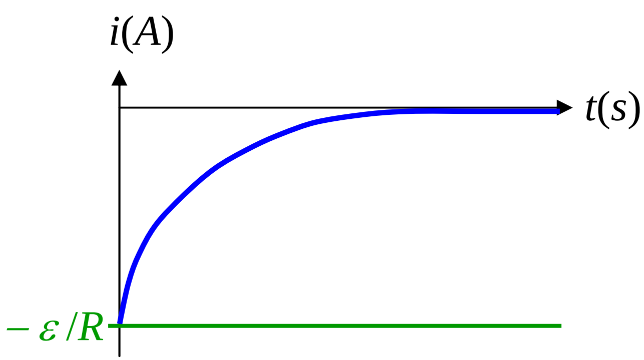
4º) A d. d. p. no resistor $V_R = R\,i$ e $\boxed{V_R = -\varepsilon\, e^{-t/RC}}$.



Usando a equação para carga q:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $q = \varepsilon C$.

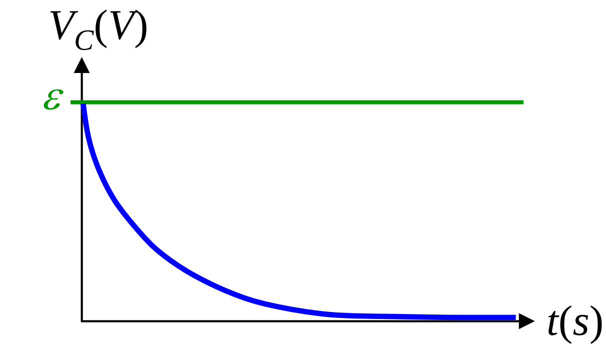
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $q \to 0$ C.



Usando a equação para i:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $i = -\varepsilon / R$.

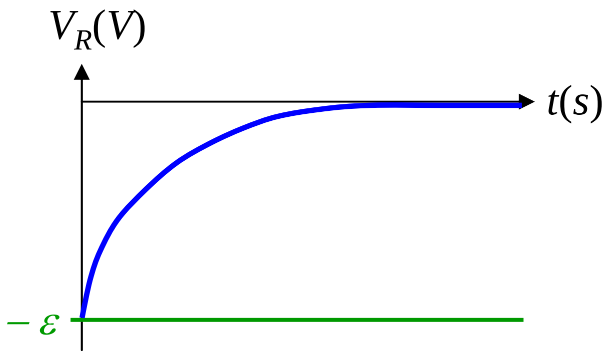
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $i \to 0$ A.



Usando a equação para carga V_C:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $V_C = \varepsilon$.

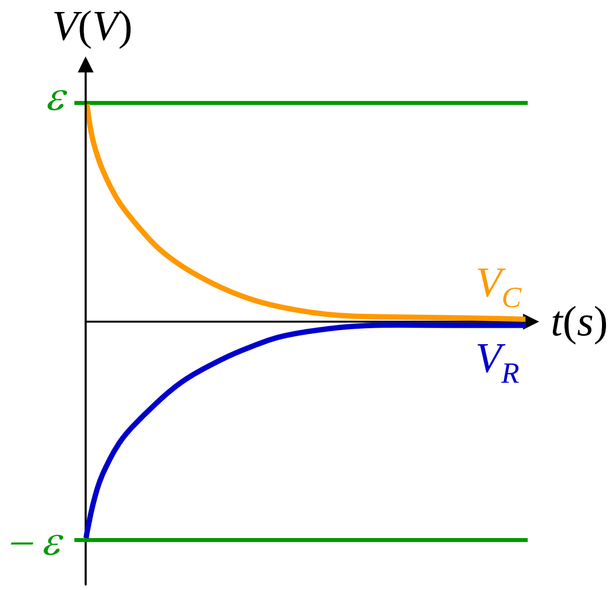
b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $V_C \to 0$ V.



Usando a equação para V_R:

a) para $t = 0$ s, $e^{-t/RC} = 1$ então $V_R = -\varepsilon$.

b) para $t \to \infty$, $e^{-t/RC} \to 0$ então $V_R \to 0$ V.



3º) A Constante de Tempo Capacitiva

O produto RC que aparece nas equações para carga e descarga, tem dimensão de tempo $\rightarrow e^{-t/RC}$ deve ser adimensional.

Analise dimensional:

$[R][C] \rightarrow$ no S. I. $1\Omega\, 1C = \frac{\cancel{1V}}{1A}\frac{1C}{\cancel{1V}} = \frac{\cancel{1A}1s}{\cancel{1A}} = 1s \rightarrow$ **s**

Representamos a constante de tempo capacitiva: $\boxed{\tau_C \overset{def.}{=} RC}$.

1) τ_C é então, igual ao tempo para que a carga do capacitor atinja uma fração $(1 - e^{-1}) \cong 63\%$, do valor final de equilíbrio (εC).

Basta substituir $t = RC$, na equação $q = \varepsilon C(1 - e^{-t/RC})$ então $q = \varepsilon C(1 - e^{-1}) \cong 0{,}63\varepsilon C$, onde εC é a carga de equilíbrio do capacitor para $t \rightarrow \infty$.

2) τ_C para descarga do capacitor é igual ao tempo para que a descarga do capacitor atinja uma fração $e^{-1} \cong 37\%$, do valor inicial (εC).

Da mesma forma, substituindo $t = RC$, na equação $q = \varepsilon C e^{-t/RC}$ então $q = \varepsilon C e^{-1} \cong 0{,}37\varepsilon C$ onde εC é a carga inicial do capacitor (quando $t = 0$ s).

Lista de Exercícios Complementar 7

1E)	pág. 149
6E)	pág. 150
10E)	pág. 150
14E)	pág. 150
21P)	pág. 151
29E)	pág. 151
30E)	pág. 151
44P)	pág. 153
51P)	pág. 153
53E)	pág. 154
57P)	pág. 154
60P)	pág. 154
66E)	pág. 154
79)	pág. 156