

# Prática 3: CAPACITORES

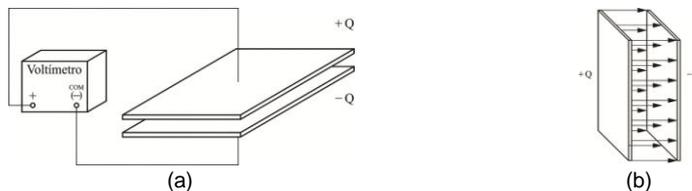
## Objetivos

Quando uma tensão é aplicada a um capacitor ele não se carrega instantaneamente, mas tem uma resposta temporal característica. Analogamente, o capacitor carregado tem uma curva de descarga característica. Nesta prática serão utilizados fonte de tensão, capacitores e resistores (ou lâmpadas) para estudar o processo de carga e descarga de um circuito RC através de diversos experimentos qualitativos. A curva de *decaimento* da tensão de um capacitor  $V_C(t)$  será medida e através da análise desta curva, o valor da constante de tempo do circuito será determinado.

## Introdução

Logo no começo da história da eletricidade percebeu-se que era relativamente fácil obter grandes diferenças de potencial, por exemplo, através de eletrização por atrito. O problema era conseguir grande quantidade de carga e armazená-la. Percebeu-se que quando um condutor era eletrificado, seu tamanho determinava a quantidade de carga que ele conseguia armazenar. O físico italiano **Alessandro Volta**, denominou assim **condensador** qualquer dispositivo capaz de armazenar cargas. Atualmente o termo capacitor é mais utilizado.

Figura 3-1 - (a) Capacitor de placas paralelas ligado a um voltímetro; (b) Distribuição de cargas nas placas do capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A uma determinada diferença de potencial ( $V$ ), como esquematizado na Fig.3-1((a) e (b)) a quantidade de carga ( $Q$ ) armazenada por um corpo depende de diversas características físicas, mas  $Q$  é proporcional a  $V$ . Ou seja, podemos definir a capacitância ( $C$ ) como:

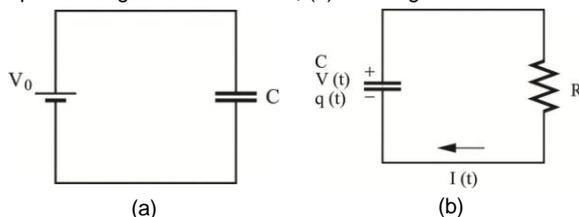
$$C = \frac{Q}{V}$$

No sistema MKS, a unidade de capacitância é Coulomb/Volt, que se denominou **Farad**, em homenagem ao cientista **M. Faraday**. **Volta** introduziu o termo capacidade elétrica em analogia com o conceito de capacidade térmica ou calor específico.

## Descarga de um Condensador

Para determinarmos a capacitância de um condensador,  $C$ , faremos um experimento que consiste em carregar o mesmo com uma tensão inicial  $V_0$  (Fig. 3-2(a)).

Figura 3-2 – (a) Circuito para carregar o condensador; (b) Descarga do condensador em uma resistência  $R$



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A Fig.3-2(b) ilustra que quando este capacitor carregado é ligado a um resistor, ele é descarregado pela corrente  $I(t)$ , ou seja, à medida que sua carga  $Q(t)$  diminui a tensão no capacitor  $V_c(t)$  diminui proporcionalmente a  $Q(t)$ . Este problema pode ser equacionado da seguinte forma:

$$V_c(t) = R I(t) \quad (1)$$

$$Q(t) = C V(t) \quad (2)$$

$$I(t) = - dQ(t)/dt \quad (3)$$

Utilizando as equações 1-3 podemos escrever a seguinte sequência de expressões:

$$dQ(t) = - I(t) dt \Rightarrow C dV_c(t) = - \frac{V_c(t)}{R} dt \Rightarrow \frac{dV_c(t)}{V_c(t)} = - \frac{dt}{RC} \quad (4)$$

Integrando a Eq.4 nos limites de integração de 0 a  $t$  no tempo e de  $V_0$  a  $V(t)$  em tensão, obtemos a expressão temporal da queda de tensão durante a descarga do condensador sobre a resistência  $R$ <sup>1</sup>:

$$V(t) = V_0 \cdot \exp(- t/\tau) \quad \text{onde } \tau = RC \quad (5)$$

O decaimento da tensão no capacitor é exponencial com tempo de resposta  $\tau = RC$ .

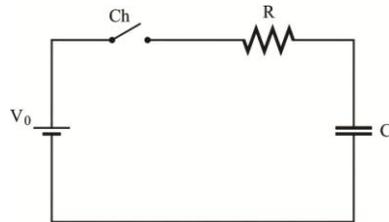
Ou seja, em  $t = \tau$ , temos  $V_c(\tau) \sim 0.37V_0$ . No entanto é mais prático usar  $t_{1/3}$  definido por

<sup>1</sup> Este cálculo pode ser encontrado em vários livros de Física Geral.

$t_{1/3} = \tau \ln 3 = 1.10\tau$  e  $V_c(t_{1/3}) = V_0/3$ . Logo, medindo experimentalmente  $V_c(t_{1/3})$ , podemos determinar o valor de  $RC$  a partir da Eq.5. Nesta prática vocês irão calcular o valor da capacitância do capacitor através da medida da resposta temporal de  $V_c(t_{1/3})$ .

Nesta prática vamos estudar, também, o caso em que um capacitor, inicialmente descarregado, é conectado em série a uma fonte (tensão  $V_0$ ) e a um resistor ( $R$ ) (Fig.3-3).

Figura 3-3 - Circuito RC



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Neste caso, se a chave  $S$  é fechada em  $t=0$ , a tensão no capacitor é dada por:

$$V(t) = V_0 \cdot [1 - \exp(-t/\tau)] \quad (6)$$

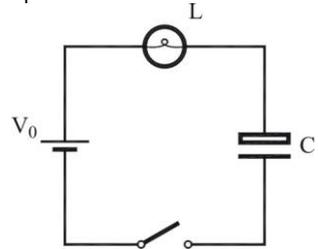
$$\text{onde } \tau = RC$$

# Experimentos

## I. Circuito RC Simples

**A.1. Previsão:** Um capacitor está conectado em série a lâmpada e a uma fonte de tensão contínua (de valor  $V_0=10V$ ), tal como ilustrado na Fig.3-4. Suponham que o circuito tenha sido ligado há muito tempo, ou seja, o estado estacionário já foi atingido. Respondam por escrito: como será o brilho da lâmpada?

Figura 3-4 – Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**ATENÇÃO:** Nesta prática utilizaremos capacitores que devem ser colocados na polarização correta onde uma faixa indica o terminal negativo.

Usaremos a notação ilustrada ao lado, onde a placa + representa a placa positiva (+) e a outra a negativa (-).

Para não se confundirem sugerimos o uso de um cabo vermelho ligado ao terminal positivo (+) e um cabo preto ligado ao terminal negativo (-)



**Obs:** a placa (+) está indicada pela cor vermelha

**CUIDADO**–

- montagem do capacitor com polaridade invertida pode danificá-lo.
- o capacitor não pode ser ligado a uma tensão maior  $V_0$ .

**B.1. Experimento:** Montem o circuito da Fig.3-4 com a fonte ajustada para  $V_0=10V$ . Usem um capacitor duplo (o conjunto com dois capacitores em série).

No estado estacionário (após o transiente) meçam as tensões na Fonte ( $V_0$ ), no Capacitor ( $V_C$ ) e na Lâmpada ( $V_L$ ).

**B.2.** Lembrando que  $Q = C.V_c$ , onde  $Q$  representa a carga armazenada no capacitor,  $C$  é a capacitância e  $V_c$  o valor da tensão no capacitor. Usando o valor de  $C \sim 0,05F$ , estimem o valor de  $Q$ .

**C.** Removam o capacitor do circuito da parte B (tomem o cuidado para não curto-circuitar o capacitor).

**C.1. Previsão:** Qual deve ser o valor da tensão no capacitor?

**C.2. Experimento:** Verifiquem, experimentalmente, com o auxílio do voltímetro digital, se seu prognóstico estava correto.

**C.3.** Será que vocês conseguem acender a lâmpada usando somente o capacitor, sem usar a fonte? Tentem isto experimentalmente e anotem o diagrama do circuito usado. Por fim, meçam o valor da tensão no capacitor. Expliquem o que ocorreu.

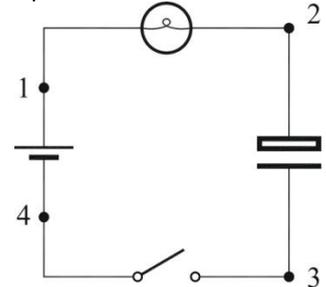
## II.Carga e Descarga de Capacitores

**ATENÇÃO:** *Antes de montar o próximo experimento, descarreguem o capacitor. Para isso montem um circuito com apenas o capacitor ligado uma lâmpada, em paralelo. Quando se descarrega o capacitor com um “curto circuito”, o valor da corrente pode ser muito alto podendo danificar o capacitor.*

**A.** Montem o circuito da Fig.3-5. Vocês vão repetir o experimento anterior, mas agora prestando mais atenção na resposta transiente do circuito, ou seja, em como o brilho da lâmpada evolui no tempo, após a chave ser fechada.

**Obs:** *Verifiquem se polaridade do capacitor **está correta** assim como o valor de  $V_0$ .*

Figura 3-5 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**A.1. Previsão:** Esbocem o gráfico da dependência temporal do brilho da lâmpada.

**A.2. Sem** utilizar o voltímetro, ou seja, baseando-se apenas através de suas observações visuais, respondam qual o valor de  $V_C$  ( $V_{23}$ ) nos seguintes casos:

a) imediatamente após a chave ser fechada;

b) muito tempo após a chave ter sido fechada.

**A.3.** Esbocem a dependência temporal de  $V_L$  (a tensão na lâmpada,  $V_{12}$ ),  $V_C$  (a tensão no capacitor,  $V_{23}$ ),  $Q$  (carga no capacitor) e da corrente  $I(t)$ .

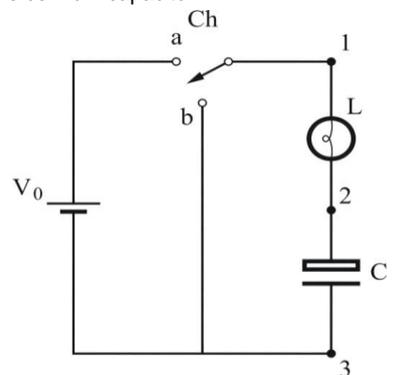
Antes de iniciar o experimento a seguir, mostrem seus resultados a um instrutor.

**B. Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas:

Verificando o sentido da corrente o circuito da Fig.3-6 com o capacitor inicialmente descarregado.

**B.1.** Qual o sentido da corrente quando a chave (Ch) é colocada na posição **a**?

Figura 3-6 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

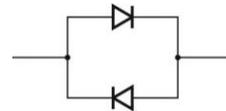
**B.2.** Comparem o sentido da corrente nos pontos 1, 2 e 3 do circuito.

**B.3.** Suponham que após o sistema atingir o estado estacionário, a chave seja colocada na posição **b**. Para este instante, prevejam o sentido da corrente, nos pontos 1, 2 e 3.

Na Fig.3-7 temos uma associação em paralelo de dois LEDs de cores diferentes, com polaridades contrárias

Figura 3-7 – Associação de dois LEDs em paralelo

(antiparalelos). Na prática **2**, vimos que esta configuração pode ser usada para indicar a direção da corrente.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**C.1. Experimento:** Montem o circuito (Fig.3-6) inserindo o conjunto de LEDs. Verifiquem o sentido da corrente (nos pontos 1, 2 ou 3) quando o capacitor é carregado (chave na posição **a**). O sentido é o mesmo?

**Obs.:** *os LEDs podem ser inseridos nos pontos 1, 2 ou 3.*

**C.2.** Observem agora o caso em que o capacitor é descarregado (chave na posição **b**). Registrem os resultados.

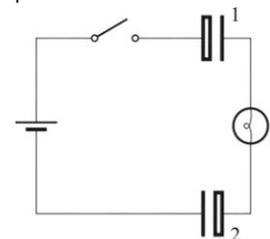
*Neste ponto é muito importante que o grupo analise e discuta os resultados. Depois discuta suas conclusões com um instrutor antes de prosseguir a prática.*

**Obs.:** *Se desejarem repetir o experimento lembrem-se de descarregar o capacitor através de uma lâmpada.*

### III. Lâmpada entre Dois Capacitores

**A. Previsão:** Uma lâmpada é conectada a dois capacitores como ilustrado na Fig.3-8. A respeito deste circuito um estudante fez o seguinte prognóstico:

Figura 3-8 - Circuito com uma lâmpada em série com dois capacitores



Fonte: Elaborada pelo Compilador

*“A corrente irá fluir do lado positivo da bateria para o lado negativo. Uma vez que a lâmpada está isolada da bateria por dois capacitores, a lâmpada não irá acender (ou brilhar)”.*

Vocês concordam com este prognóstico? Discutam e registrem por escrito a justificativa.

**B. Experimento:** Montem o experimento com 2 capacitores e  $V_0 \sim 10$  V. **Sem o usar o voltímetro** respondam, logo após a chave ser fechada ( $t \sim 0$ ):

**B.1.** Qual a tensão na lâmpada? (*Obs.: Observe o brilho da lâmpada*)

**B.2.** Qual a diferença de potencial nos capacitores?

**B.3.** Respondam novamente as mesmas perguntas 1 e 2 para o estado estacionário (muito tempo após a chave ter sido fechada,  $t \rightarrow \infty$ ).

**B.4.** Verifiquem o sentido da corrente usando a dupla de LEDS (a mesma do experimento II.B)

## IV. Capacitor em Paralelo com uma Lâmpada

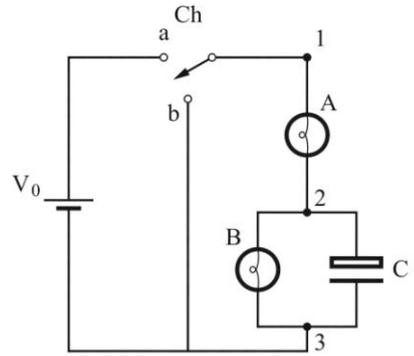
**A.** Duas lâmpadas idênticas e um capacitor

Figura 3-9 – Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor

(inicialmente descarregado) são conectados a uma fonte ideal tal como ilustrado na Fig.3-9.

**A.1. Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Como se comportará o brilho das lâmpadas (A e B) quando a chave (Ch) for fechada (ligada em a) em  $t=0$ ? Alguma das lâmpadas estará apagada (brilho nulo) em  $t=0$ ?



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**B. Experimento:** montem o experimento com  $V_0 \sim 10V$ . Observem e discutam o que acontece nas situações  $t=0$  e  $t \rightarrow \infty$  (estado estacionário).

**Obs.: NÃO** utilizem o voltímetro, ou seja, respondam somente a partir de suas observações visuais.

**B.1. Logo após** ( $t=0$ ) a chave ser fechada:

**B.1. a)** qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** ( $V_A$ ), na lâmpada **B** ( $V_B$ ), no capacitor ( $V_C$ ), e na bateria ( $V_0$ )? Explique.

**B.1.b)** classifiquem (maior, menor ou igual) as correntes nas lâmpadas ( $I_A$ ,  $I_B$ ) no capacitor ( $I_C$ ) e na bateria ( $I_0$ ).

**B.2. Muito após** ( $t \rightarrow \infty$ ) a chave ser fechada:

**B.2.a)** classifiquem as correntes  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  e  $I_0$ . Se alguma corrente for nula, indiquem explicitamente.

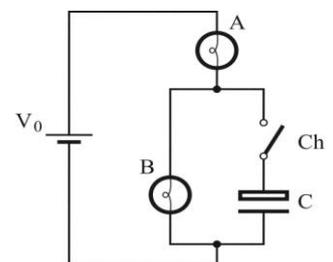
**B.2.b)** classifiquem (comparem) os valores das tensões  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_0$ . Expliquem.

**B.2.c)** sumariem seus resultados descrevendo o comportamento transiente (brilho) das lâmpadas A e B.

**C.** Considerem agora o caso em que a chave é colocada **em série** com o capacitor (inicialmente descarregado), como ilustrado na Fig.3-10.

**C.1. Previsão:** o que ocorre com o brilho das lâmpadas se a chave for fechada?

Figura 3-10 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

**D.1. Experimento:** Montem o experimento com  $V_0 \sim 10V$  e verifiquem experimentalmente se suas previsões estavam corretas.

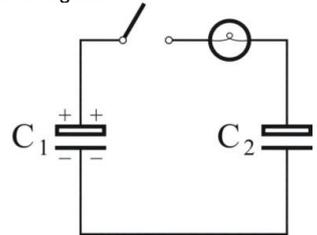
**Obs.:** *Certifiquem-se que o capacitor esteja inicialmente descarregado.*

## V. Conservação da Carga e Energia

A Fig.3-11 ilustra um circuito onde inicialmente o capacitor,  $C_1$ , está carregado e o capacitor,  $C_2$ , está inicialmente descarregado, ou seja,  $V_{C_1}(0)=V_0$  e  $V_{C_2}(0)=0$ .

**A. Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Figura 3-11 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores, um carregado e outro descarregado



Fonte: Elaborada pelo Compilador

O que ocorrerá quando a chave for fechada? A lâmpada vai acender? Como será o comportamento da corrente  $I(t)$  e das cargas  $Q_1(t)$  e  $Q_2(t)$  dos capacitores  $C_1$  e  $C_2$ , respectivamente?

**B.1. Experimento:** Façam o experimento, usando  $V_0 \sim 10$  V para carregar o capacitor  $C_1$  e certifiquem-se que inicialmente o  $C_2$  está descarregado. Retirem a fonte DC do circuito e montem o circuito tal como ilustrado na Fig.3-11, ou seja, a placa negativa de  $C_1$  ligada à placa positiva de  $C_2$ . Logo em  $t=0$ ,  $V_{C_1} \sim 10$ V e  $V_{C_2} \sim 0$ V. Registrem suas observações e comparem a previsão (não é preciso usar o voltímetro).

**B.2.** No estado estacionário ainda há carga nos capacitores?

C. A Fig.3-12 ilustra o caso em que dois capacitores foram carregados simultaneamente, de tal forma que  $V_{C1} = V_{C2} \sim 10V$ .

C. **Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas. O que ocorrerá? Discutam e façam um prognóstico análogo ao do item A.

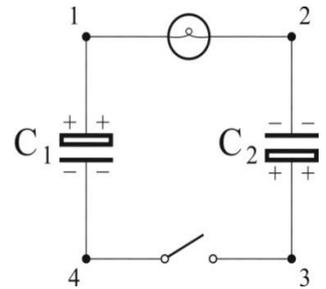


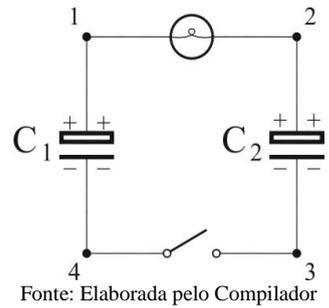
Figura 3-12 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados

D. **Experimento:** Realizar o experimento e discutir (análogo ao item B).

E. Em qual dos experimentos (B ou D) a lâmpada brilha mais? Expliquem por que.

F. **Previsões:** Repetir o item C para a configuração ao lado, com dois capacitores inicialmente carregados ( $V_{C1} = V_{C2} \sim 10V$ ) na configuração ilustrada na Fig.3-13.

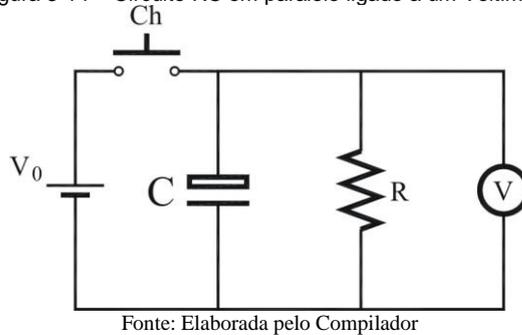
Figura 3-13 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados



**G. Experimento:** realizar o experimento e discutir (análogo ao item **B**).

## VI. Medida Quantitativa da Constante de Tempo RC

Figura 3-14 – Circuito RC em paralelo ligado a um Voltímetro



**A. Experimento:** Montem o circuito da Fig.3-14 utilizando um voltímetro digital,  $R=220k\Omega$  e  $C=100\mu F$ . Ajustem a fonte para  $V_0=10V$ . Com a chave **Ch** fechada leiam a tensão no voltímetro. Desliguem a chave **Ch** e observem a variação temporal da tensão sobre o capacitor que se descarrega pela resistência **R**.

**B.** Construam uma tabela dos valores da tensão  $V_C(t)$  em função do tempo de descarga, medindo o tempo com um cronômetro. O cronômetro deve ser inicializado ( $t=0$ ) quando, após ser carregado, a chave é aberta e o capacitor é descarregado.



C. Façam um gráfico em papel *monolog* de  $V_c(t)$  contra  $t$ , e determinem o valor da constante de tempo do circuito  $\tau=RC$ , pelo gráfico.

D. Meçam o valor de R com um multímetro. Usando este valor, calculem o valor de C. Compare com o valor determinado pelo técnico do laboratório. Discutam o resultado obtido. A diferença entre estes dois valores está dentro da incerteza estimada para o valor de  $\tau$ ?

E. Usando os mesmos valores de R e C do experimento anterior, meçam o tempo  $t^*$  necessário para que a carga do capacitor se reduza a metade do seu valor inicial. Notem que  $V(t^*)=V_0/2$ , logo vocês podem usar a Eq. 5 para estimarem o valor de  $\tau =RC$  a partir de  $t^*$ . Estimem o valor de  $t$  e comparem com sua determinação mais cuidadosa feita através do gráfico. Discutam os resultados.

F. Repitam o item E mudando os valores de C e/ou R.

### **Lista de materiais (prática 03)**

- 2 Supercapacitores (0.1F e  $V_{\max}=5.5V$ )
- 2 conjuntos de 2 capacitores em série ( $C_{eq}\sim 0.05F$ ,  $V_{\max}=11V$ )
- 2 lâmpadas incandescentes (6V)
- 2 LEDs invertidos (conjunto indicador de corrente)
- Resistor de  $220K\Omega$
- Capacitor eletrolítico  $C=100\ \mu F$
- Fonte de tensão variável
- 1 chave
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.

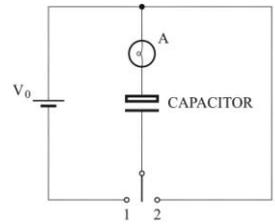
## Exercícios

1. O circuito da Figura ao lado contém uma bateria com tensão  $V_0$  (constante), uma lâmpada (A), uma chave e um capacitor. Inicialmente ( $t=0$ ) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

**a)** a chave é colocada na posição 1. O que ocorre com a lâmpada? (imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois) Explique.

**b).** Em seguida (após atingido o estado estacionário) a chave é colocada na posição 2. Descreva o comportamento da lâmpada imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois. Explique.



2. O circuito ilustrado ao lado contém uma bateria com tensão  $V_0$  (constante), duas lâmpadas idênticas (B e C), uma chave e um capacitor. Inicialmente ( $t = 0$ ) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

**a)** a chave é colocada na posição 1. O que ocorre com a lâmpada logo após a chave ser fechada até muito tempo depois? Como o brilho inicial das lâmpadas B e C se comparam Explique.

**b)** muito tempo depois de a chave ser fechada, como a tensão no capacitor se compara (maior, menor ou igual) com a tensão na bateria?

**c)** suponha que depois de muito tempo da chave ter sido colocada na posição 1 (situação b) a chave seja colocada na posição 2. Descreva o comportamento do brilho das lâmpadas e da carga no capacitor.

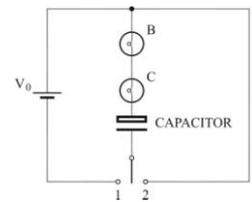
**d)** qual a diferença entre o comportamento deste circuito e do problema anterior?

**3. a)** equacione a situação do exercício 1.a considerando que a lâmpada se comporta aproximadamente como um resistor de valor  $R$ . Obtenha a expressão para a tensão do capacitor,  $V_C(t)$ , a tensão na lâmpada,  $V_A(t)$  e a corrente  $I(t)$ . Esboce os gráficos de  $V_C(t)$ ,  $V_A(t)$  e a corrente  $I(t)$ .

**b)** Encontre o valor do tempo de subida,  $t_r$  (*rise time*), definido como o tempo necessário para que a tensão do capacitor suba de 10% a 90% do valor final (estado estacionário,  $t \rightarrow \infty$ ). Expresse seu resultado em termos de  $\tau = RC$

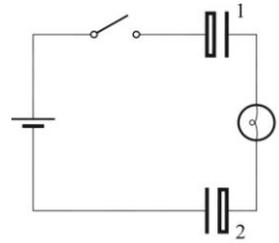
**c)** idem ao item a) para o caso descrito no exercício 1.b.

4. Um resistor de  $15,2 \text{ k}\Omega$  e um capacitor estão ligados em série. Um potencial de  $13,0 \text{ V}$  é subitamente aplicado á associação. O potencial aplicado ao capacitor sobe para  $5,00 \text{ V}$  em  $1,28 \mu\text{s}$ . **(a)** calcule a constante de tempo. **(b)** Encontre a capacitância do capacitor.



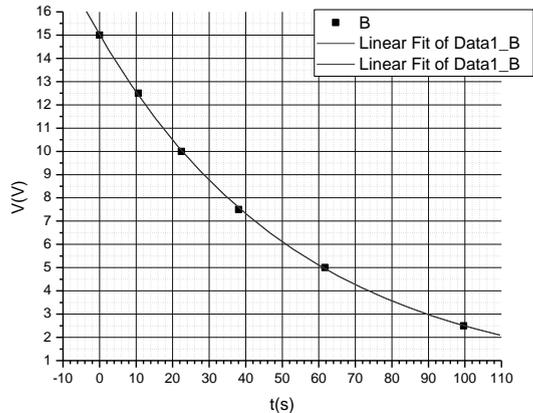
5. A Figura ao lado mostra o experimento onde dois capacitores, de capacitâncias iguais  $C_1 = C_2 = C$ , são ligados a uma fonte de tensão  $V_0$  e uma lâmpada. Suponha que a chave seja fechada em  $t=0$ .

- Logo após a chave ser fechada ( $t=0$ ) classifique a corrente na fonte ( $I_0$ ), na lâmpada ( $I_L$ ), no capacitor  $C_1$  ( $I_{C1}$ ) e no capacitor  $C_2$  ( $I_{C2}$ ).
- Após o sistema atingir o estado estacionário, compare o valor das cargas nos capacitores ( $Q_1$  e  $Q_2$ ) e suas tensões ( $V_{C1}$  e  $V_{C2}$ ).
- Repita os itens a) e b) considerando agora que os capacitores são diferentes, com capacitâncias  $C_1=2C_2=C$ .



6. O gráfico ao lado ilustra a curva de decaimento de um circuito RC, ou seja, a dependência temporal da tensão no capacitor,  $V_C(t)$ .

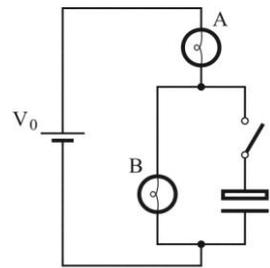
- Faça um gráfico em papel monolog de  $V_C(t)$ .
- Calcule (aproximadamente) a constante de tempo do decaimento.



7. a) Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) de capacitância  $C= 0.1F$ , são conectados a uma bateria ideal (com tensão  $V_0=10V$ ) tal como ilustrado na Figura ao lado.

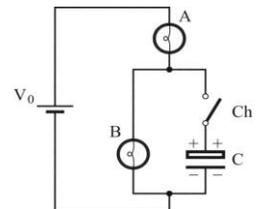
Logo após a chave ser fechada ( $t \sim 0$ ):

- descreva o que observou em relação ao brilho das lâmpadas A e B.
- Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada A ( $V_A$ ), na lâmpada B ( $V_B$ ), no capacitor ( $V_C$ )?
- Como uma primeira aproximação, considere que a lâmpada se comporta como um resistor ôhmico, com resistência efetiva de valor  $R=100\Omega$ . Em  $t=0$ , calcule os valores das tensões  $V_A$ ,  $V_B$  e  $V_C$ ; e correntes  $I_0$  (da bateria),  $I_A$ ,  $I_B$  e  $I_C$ .

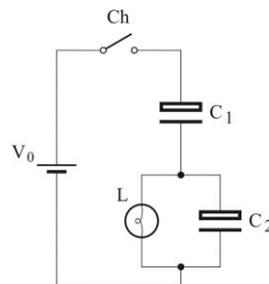


iv) repita o item (iii) no caso  $t \rightarrow \infty$ , ou seja, muito tempo após a chave ser fechada quando o estado estacionário é atingido.

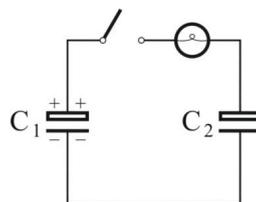
b) considere agora o caso em que inicialmente ( $t \sim 0$ ) o capacitor está carregado com tensão  $V_C(t \sim 0)=V_0$ . Repita todo o problema a) considerando esta situação.



8. Faça um prognóstico detalhado (de modo análogo ao feito no exercício 7) o comportamento do circuito ao lado, supondo que inicialmente os dois capacitores estejam descarregados e que as capacitâncias sejam iguais ( $C_1 = C_2 = C$ ).



9. Considere o experimento realizado nesta prática (**V.A**), com dois capacitores idênticos,  $C_1=C_2=C$ . Inicialmente (antes da chave ser fechada)  $C_1$  está carregado, com carga  $Q_{10}=V_0.C$ , e  $C_2$  descarregado ( $Q_{20}=0$ ).

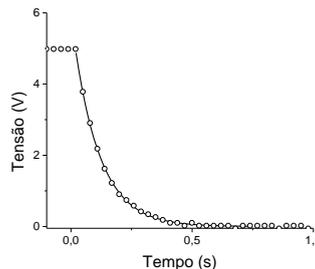


- Qual o valor das cargas  $Q_1$  e  $Q_2$ , muito tempo após a chave ser fechada?
- Compare o valor da carga inicial  $Q_i=Q_{10}+Q_{20}$  com a carga final  $Q_f=Q_1+Q_2$ .
- A Energia armazenada em um capacitor é dada por  $U=V.Q/2$ . Calcule a energia inicial do sistema,  $U_i$ .
- Calcule a energia final do sistema,  $U_f$ .
- Conclusão: há conservação da carga do sistema? Há conservação da energia do sistema?

10. Um estudante realizou um experimento descarregando um capacitor (C) através de um resistor  $R=1000\Omega$ . A resposta transiente da tensão no resistor é dada por:

$$V_R(t)=5,0.\exp(-9,8t), \quad (\text{dados no MKS})$$

tal como mostra o gráfico, onde  $t = 0$  representa o instante em que a chave foi fechada e o capacitor começou a descarregar.



- Qual o valor da tensão inicial (em  $t=0$ ) do capacitor,  $V_C(0)=V_0$ ?
- A partir de  $V_R(t)$ , calcule a dependência da corrente,  $I(t)$ .  
*Obs: lembre-se da relação entre  $Q(t)$  e  $I(t)$*
- Obtenha o comportamento da carga no capacitor,  $Q(t)$ , e o valor da carga inicial,  $Q_0$ .
- Suponha agora que em outro experimento, mas com o mesmo capacitor (C) e resistor (R), a tensão inicial fosse  $V_0'=V_0/2$ . Qual seria o novo valor da carga inicial,  $Q_0'$ ?
- Você deve ter chegado à conclusão que  $Q_0$  é proporcional a  $V_0$ , ou seja,  $Q_0=C.V_0$ . Podemos afirmar que, em qualquer instante,  $Q(t)=C.V(t)$ , onde C é uma constante? Por quê?
- É interessante agora refazer o problema considerando o caso geral, ou seja, a resolução literal do problema onde  $V_R(t)=V_0.\exp(-t/\tau)$ . A partir disto, obtenha  $I(t)$ ,  $Q(t)$  e a constante C, a qual deve ser expressa em termos de R e  $\tau$ . Verifique se esta solução está de acordo com o que você concluiu nos itens anteriores.

