

CAPÍTULO 1 - CAMPOS ELÉCTRICOS I

- 1.1. Considerem-se três cargas pontuais colocadas nos vértices de um triângulo (figura 1), com $q_1 = q_3 = 5 \mu\text{C}$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ ($1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{C}$) e $a = 0.1 \text{ m}$. Achar a força resultante sobre q_3 .

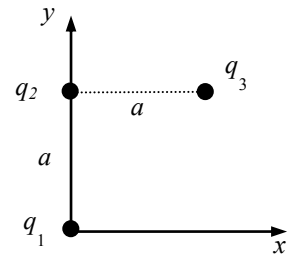


Figura 1

- 1.2. Uma carga $q_1 = 7 \mu\text{C}$ está localizada na origem e uma segunda carga $q_2 = -5 \mu\text{C}$ situa-se no eixo dos x , a 0.3 m da origem. Achar o campo eléctrico no ponto P com as coordenadas $(0, 0.4) \text{ m}$.

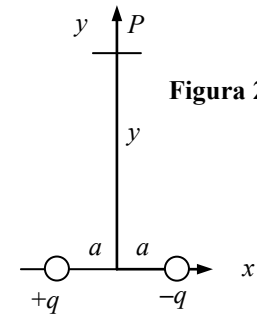


Figura 2

- 1.3. Um dipolo eléctrico é constituído por uma carga positiva q e por uma carga negativa $-q$ separadas da distancia $2a$, como mostra a figura 2. Achar o campo eléctrico, \mathbf{E} , dessas cargas, sobre o eixo dos yy , no ponto P , que está à distância y da origem. Admitir que $y \gg a$.

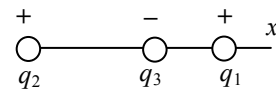


Figura 3

- 1.4. Três cargas estão sobre o eixo dos xx , como ilustrado na figura 3. A carga positiva $q_1 = 15 \mu\text{C}$ está em $x = 2 \text{ m}$, e a carga positiva $q_2 = 6 \mu\text{C}$ está na origem. Onde deverá ser colocada uma carga negativa q_3 , a fim de que a força resultante sobre essa carga seja nula?

- 1.5. Um electrão entra numa região onde há um campo eléctrico uniforme, $E = 200 \text{ N/C}$, com uma velocidade $v_0 = 3 \times 10^6 \text{ m/s}$ (figura 4). A largura das placas é $l = 0.1 \text{ m}$.

- Achar a aceleração do electrão enquanto estiver no campo eléctrico.
- Achar o tempo que o electrão gasta para atravessar a região do campo eléctrico.
- Qual é o deslocamento vertical y , do electrão, no campo eléctrico?

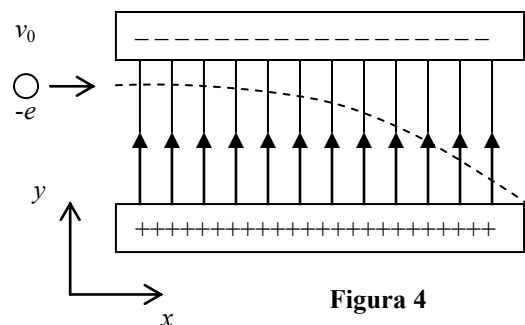


Figura 4

CAPÍTULO 2 - CAMPOS ELÉCTRICOS II

- 2.1. Um bastão, com o comprimento l , tem uma carga positiva uniforme λ por unidade de comprimento e uma carga total Q . Calcular o campo eléctrico num ponto P sobre o eixo do bastão, a uma distância d de uma das extremidades.

2.2. Um anel de raio a tem uma carga positiva uniforme, por unidade de comprimento, e carga total Q . Calcular o campo eléctrico sobre o eixo do anel, num ponto P que está à distancia x do centro do anel.

2.3. Considere um prisma triangular num campo eléctrico horizontal $E = 7.8 \times 10^4 \text{ N/m}$, como mostra a fig. 5. Calcular o fluxo eléctrico através:

- da face vertical à esquerda (A');
- da face superior inclinada (A);
- de toda a superfície prismática.

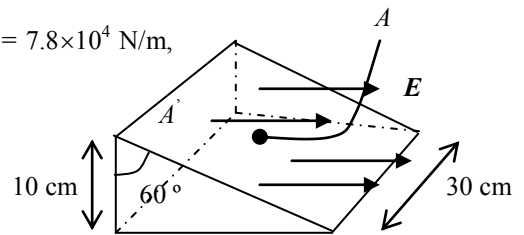


Figura 5

2.4. Uma casca esférica, delgada, de raio a , tem uma carga total Q distribuída uniformemente sobre a sua superfície (figura 6). Achar o campo eléctrico nos pontos do interior e do exterior da casca.

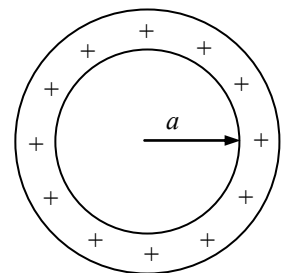


Figura 6

2.5. Uma esfera condutora maciça, de raio a , tem uma carga positiva líquida $2Q$ (figura 7). Uma casca condutora esférica, de raio interno b e raio externo c , é concêntrica a essa esfera maciça e tem a carga líquida $-Q$. Usando a lei de Gauss, achar o campo eléctrico nas regiões identificadas por 1, 2, 3 e 4, e também a distribuição de cargas na casca esférica.

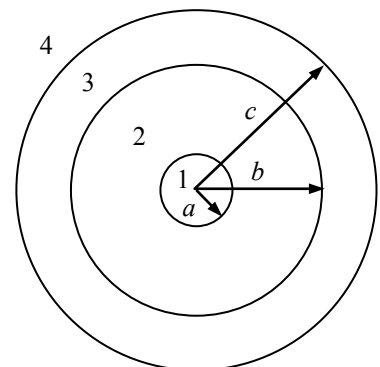


Figura 7

2.6. Considere uma distribuição de cargas, comprida e cilíndrica com raio R , com uma densidade de carga uniforme ρ . Achar o campo eléctrico à distância r do eixo, com $r < R$.

2.7. Uma barra metálica, rectilínea, comprida, tem de raio 5 cm e 30 nC/m de carga por unidade de comprimento. Achar o campo eléctrico às seguintes distâncias em relação ao eixo da vara: a) 3 cm

- 10 cm
- 100 cm.

CAPÍTULO 3 - POTENCIAL ELÉCTRICO

3.1. Um próton é libertado do repouso num campo eléctrico uniforme de 8×10^4 V/m paralelo ao eixo dos xx positivos (figura 8). O próton desloca-se 0.5 m na direcção do campo E ($m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg).

- Achar a variação do potencial eléctrico entre os pontos A e B.
- Achar a variação da energia potencial do próton nesse deslocamento.
- Achar a velocidade do próton depois de ter percorrido, a partir do repouso, a distância de 0.5 m.

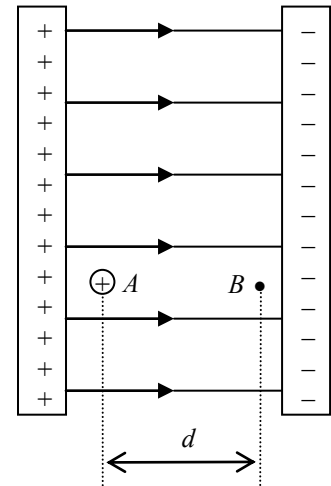


Figura 8

3.2. Uma carga pontual de $5 \mu\text{C}$ está localizada na origem e uma segunda carga pontual de $-2 \mu\text{C}$ está sobre o eixo dos xx , na posição (3, 0) m (figura 9).

- Se o potencial for nulo no infinito, achar o potencial eléctrico no ponto P, de coordenadas (0, 4) m, devido às duas cargas.
- Qual é o trabalho necessário para trazer uma terceira carga pontual de $4 \mu\text{C}$, do infinito até o ponto P?
- Achar a energia potencial do sistema das três cargas com a configuração da figura 10.

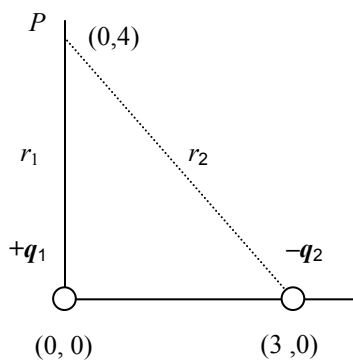


Figura 9

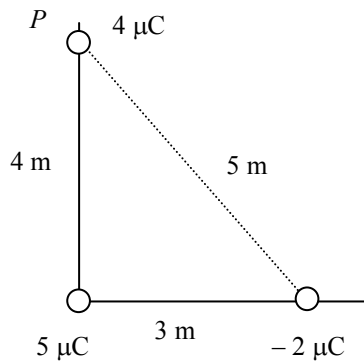


Figura 10

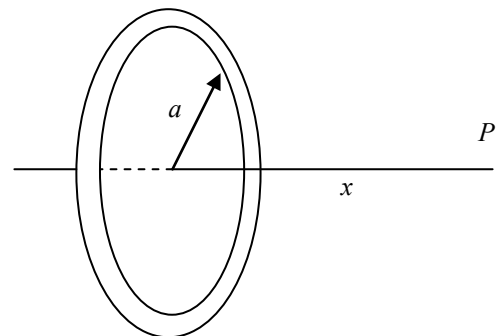


Figura 11

3.3. Achar o potencial eléctrico no ponto P (figura 11) sobre o eixo de um anel uniformemente carregado, de raio a e carga total Q . O plano do anel é perpendicular ao eixo dos xx . Achar também o campo eléctrico em P. Qual é o potencial eléctrico no centro do anel uniformemente carregado? Como é que o valor do campo eléctrico no centro do anel está relacionado com este resultado?

3.4. Achar o potencial eléctrico sobre o eixo de um disco uniformemente carregado, com raio e carga por unidade de área igual a σ .

3.5. Um bastão de comprimento l , localizado sobre o eixo dos xx , está carregado uniformemente e tem carga total Q . Achar o potencial eléctrico num ponto P sobre o eixo dos yy , a uma distância d da origem (figura 12).

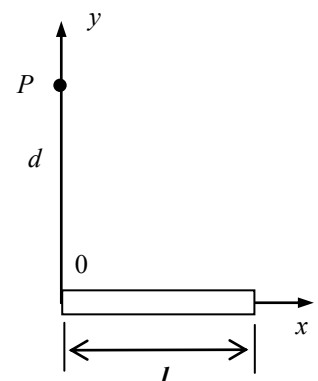


Figura 12

3.6. Uma esfera isoladora, maciça, de raio R , tem uma densidade de carga positiva e uniforme, e carga total Q .

- Achar o potencial eléctrico num ponto fora da esfera ($r > R$). Tomar como nulo o potencial em $r = \infty$.
- Achar o potencial num ponto no interior da esfera carregada ($r < R$).
- Qual é o campo eléctrico no centro de uma esfera uniformemente carregada? Qual é o potencial eléctrico nesse ponto?

3.7. Usar a função potencial de uma carga pontual q para deduzir o campo eléctrico a uma distância r da carga.

3.8. Um dipolo eléctrico é constituído por duas cargas iguais e opostas, separadas pela distância $2a$ (figura 13). Calcular o potencial eléctrico e o campo eléctrico no ponto P sobre o eixo dos xx , a uma distância x do centro do dipolo.

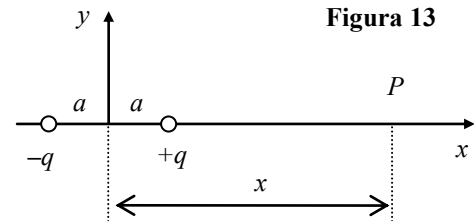


Figura 13

CAPÍTULO 4 - CAPACIDADE E DIELECTRICOS

4.1. Uma esfera condutora, carregada, isolada, com raio de 12 cm, origina um campo eléctrico de 4.9×10^4 N/C a 21 cm de distância do seu centro.

- Qual é a densidade de carga superficial?
- Qual é a sua capacidade?

4.2. a) Determinar a capacidade equivalente do circuito de condensadores da figura 14.

- Se esse circuito for ligado a uma bateria de 12 V, calcular a diferença de potencial em cada condensador e a carga em cada condensador.

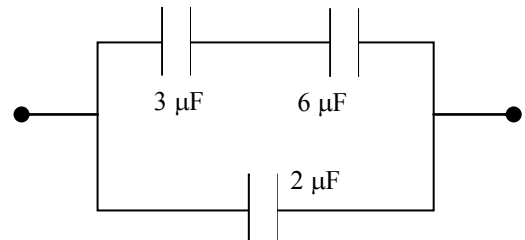


Figura 14

4.3. Um condutor cilíndrico, de raio a e carga $+Q$, é coaxial a uma casca cilíndrica maior, com raio b e carga $-Q$. Achar a capacidade desse condensador cilíndrico, sendo o seu comprimento l .

4.4. Um condensador esférico é constituído por uma casca esférica, de raio b e carga $-Q$, concêntrica com uma esfera condutora menor, de raio a e carga $+Q$. Achar a capacidade desse condensador.

4.5. Achar a capacidade equivalente entre a e b , no circuito de condensadores que aparece na figura 15. Os números são as capacidades dos condensadores, em μF .

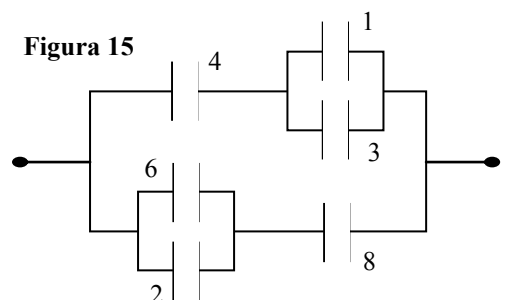


Figura 15

4.6. Dois condensadores C_1 e C_2 (com $C_1 > C_2$) são carregados até à mesma diferença de potencial, V_0 , porém com polaridades opostas. Os condensadores carregados são desligados da bateria, e as placas são ligadas, como mostra a figura 16. Fecham-se, então, os interruptores S_1 e S_2 , como na figura 17.

- Achar a diferença de potencial entre a e b , depois dos interruptores terem sido fechados.
- Achar a energia total armazenada nos condensadores antes e depois dos interruptores terem sido fechados.

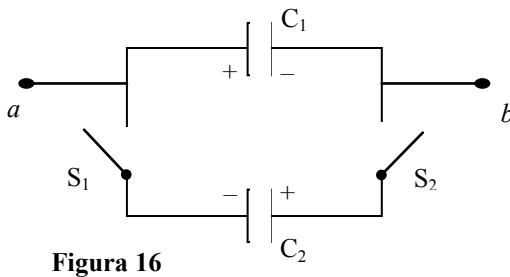


Figura 16

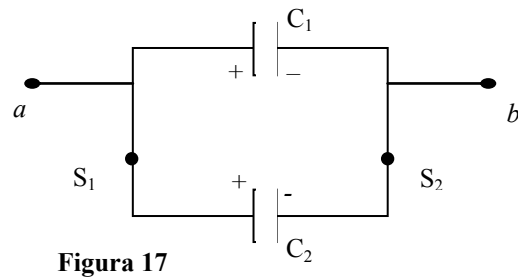


Figura 17

- 4.7. Um condensador de placas paralelas tem como dimensões $2\text{ cm} \times 3\text{ cm}$. As placas estão separadas por uma folha de papel de 1 mm de espessura ($\kappa = 3.7$ para o papel).
- Achar a capacidade desse dispositivo.
 - Qual é a carga máxima que pode ser colocada no condensador.
 - Qual é a energia máxima que pode ser armazenada no condensador.
- 4.8. Um condensador de placas planas e paralelas é carregado por uma bateria até à carga Q_0 (figura 18). Remove-se a bateria e uma chapa de dielétrico, com constante dielétrica κ , é inserida entre as placas (figura 19). Calcular a energia armazenada no condensador antes e depois da inserção do dielétrico.

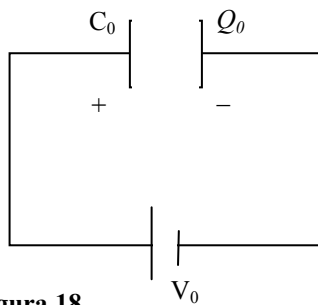


Figura 18

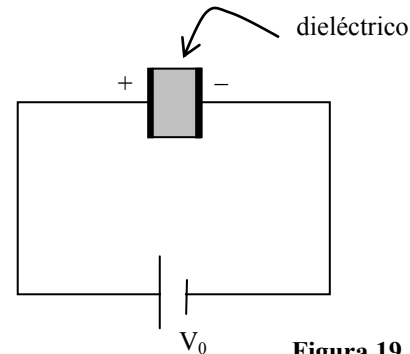


Figura 19

- 4.9. Um condensador de placas paralelas tem separação entre as placas igual a d e área das placas igual a A . Uma chapa metálica descarregada, de espessura a , é inserida no meio das placas, como mostra a figura 20. Achar a capacidade dessa montagem.

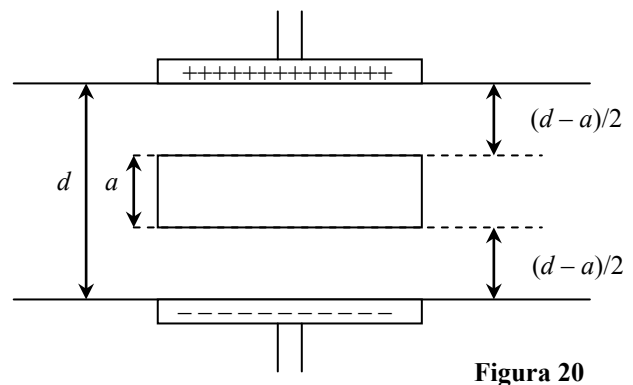


Figura 20

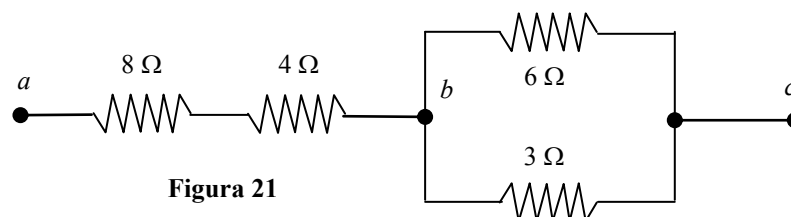
CAPÍTULO 5 - CORRENTES E RESISTÊNCIA

- 5.1. Um fio de cobre, com área de secção recta $3 \times 10^{-6}\text{ m}^2$, é percorrido por uma corrente de 10 A . Achar a velocidade de deriva dos electrões no fio. A densidade do cobre é 8.95 g/cm^3 . O peso atômico do cobre é 53.5 g/mol . Um átomo-grama de um elemento contém 6.02×10^{23} átomos.

- 5.2.** Calcular a resistência de um condutor de alumínio, com 10 cm de comprimento e área da secção recta de 10^{-4} m^2 .
Repetir o cálculo para um bastão de vidro, com as mesmas dimensões e com resistividade de $10^{10} \Omega$.
- 5.3.** a) Calcular a resistência, por unidade de comprimento, de um fio de nicrome, calibre 22, com raio de 0.321 mm.
Resistividade do nicrome: $1.5 \times 10^{-6} \Omega \text{m}$.
b) Mantendo-se uma diferença de potencial de 10 V entre as extremidades num metro desse fio de nicrome, que corrente passará pelo fio?
c) Qual a resistência de 6 m de um fio de nicrome, calibre 22? Que corrente conduzirá quando ligado a uma fonte de 120 V?
d) Calcular a densidade de corrente e o campo eléctrico no fio, admitindo que a corrente conduzida seja de 2.2 A.
- 5.4.** Um termómetro de resistência de platina, tem a resistência de 50Ω a 20°C . Quando imerso num vaso com índio fundido, a sua resistência aumenta para 76.8Ω . Usando essa informação, achar o ponto de fusão do índio. Para a platina, $\alpha = 3.92 \times 10^{-3} \text{ C}^{-1}$.
- 5.5.** a) Com os dados e os resultados do problema 5.1, e com o modelo clássico da condução pelos electrões, estimar o tempo médio entre colisões sucessivas dos electrões no cobre, a 20°C .
b) Admitindo-se que a velocidade térmica média dos electrões no cobre seja $1.6 \times 10^6 \text{ m/s}$, e com o resultado de a), calcular o livre percurso médio dos electrões no cobre.
- 5.6.** Um aquecedor eléctrico opera mediante a aplicação de uma diferença de potencial de 110 V a um fio de nicrome cuja resistência é 8Ω . Achar a corrente que percorre o fio e a potência nominal do aquecedor.
- 5.7.** Uma lâmpada tem 120 V/75 W. Isso quer dizer que a voltagem de operação é de 120 V, e a potência nominal de 75 W. A lâmpada é alimentada por uma fonte de potência de 120 V, em corrente contínua.
a) Achar a corrente na lâmpada e a sua resistência.
b) Qual seria a resistência de uma lâmpada de 120 V e 100 W.

CAPÍTULO 6 - CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA

- 6.1.** Uma bateria tem uma fem de 12 V e uma resistência interna de 0.05Ω . Os seus terminais estão ligados a uma resistência de carga de 3Ω .
a) Achar a corrente no circuito e a voltagem entre os terminais da bateria.
b) Calcular a potência dissipada na resistência de carga, a potência dissipada na resistência interna da bateria e a potência debitada pela bateria.
- 6.2.** Quatro resistências estão ligadas como mostra a figura 21.
a) Achar a resistência equivalente entre a e c .
b) Qual é a corrente, em cada resistência, se a diferença de potencial entre a e c for constante e igual a 42 V?



6.3. Três resistências estão ligadas em paralelo, como na figura 22.

Uma diferença de potencial de 18 V é mantida entre os pontos *a* e *b*.

- Achar a corrente em cada resistência.
- Calcular a potência dissipada em cada resistência e a potência total dissipada nas três resistências.
- Calcular a resistência equivalente das três resistências e, a partir do resultado, achar a potência total dissipada.

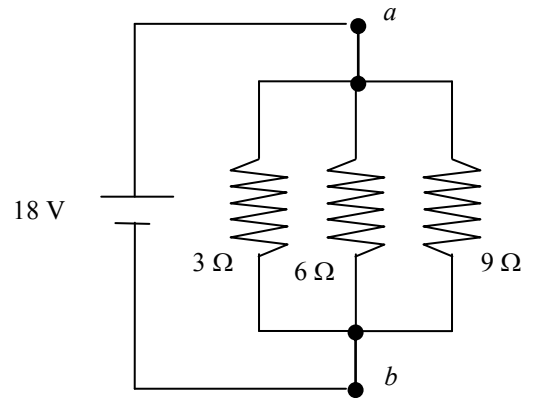


Figura 22

6.4. Um circuito, de uma malha, tem duas resistências e duas fontes de fem, conforme mostra a figura 23. As resistências internas das baterias foram desprezadas.

- Achar a corrente no circuito.
- Qual é a potência dissipada em cada resistência

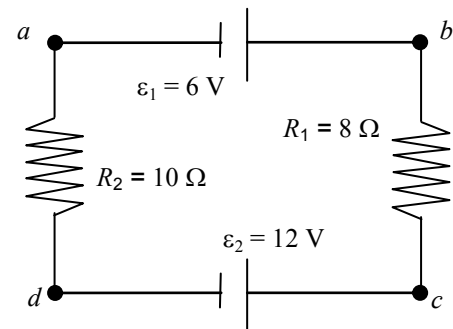


Figura 23

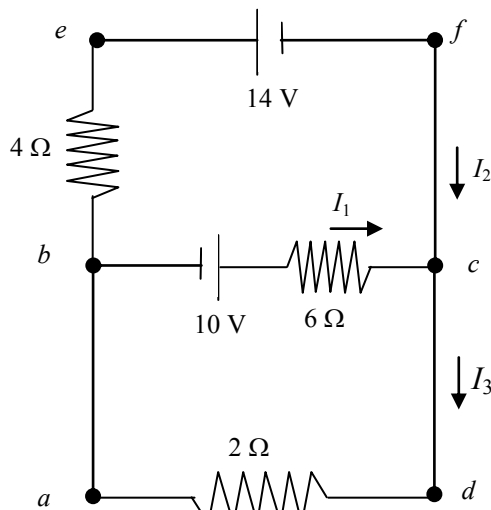


Figura 24

6.5. Achar as correntes I_1 , I_2 , e I_3 , no circuito da figura 24. Achar a diferença de potencial entre os pontos *b* e *c*.

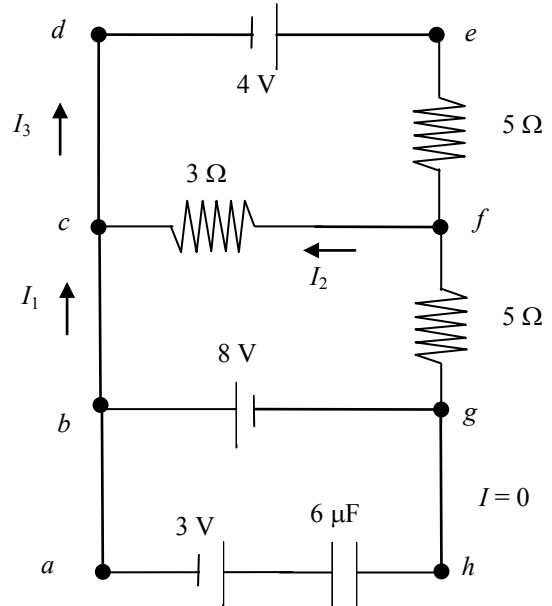


Figura 25

6.6. O circuito de várias malhas (figura 25) tem três resistências, três baterias e um condensador.

- Achar as correntes desconhecidas quando o circuito está em estado estacionário.
- Qual é a carga no condensador?

6.7. Um condensador descarregado e uma resistência são ligados em série a uma bateria. Se $\epsilon = 12\text{V}$, $C = 5\text{ }\mu\text{F}$ e $R = 8 \times 10^5\text{ }\Omega$, achar a constante de tempo do circuito, a carga máxima no condensador, a corrente máxima no circuito e a carga do condensador e a corrente no circuito em função do tempo.

6.8. Imagine um condensador C sendo descarregado através de uma resistência R .

- Depois de quantas constantes de tempo a carga do condensador terá caído para um quarto do seu valor inicial?
- A energia do condensador diminui com o tempo, à medida que o condensador se descarrega. Depois de quantas constantes de tempo a energia no condensador se terá reduzido a um quarto do seu valor inicial?

CAPÍTULO 7 - CAMPOS MAGNÉTICOS

7.1. Um próton move-se perpendicularmente a um campo magnético uniforme \vec{B} , com a velocidade de 10^7 m/s, e sofre uma aceleração de 2×10^{13} m/s², na direcção $+x$, quando a sua velocidade é na direcção $+z$. Determinar o módulo e a direcção do campo.

7.2. Um próton move-se com uma velocidade de 8×10^6 m/s, sobre o eixo dos x . Entra então numa região onde há um campo magnético de 2.5 T, cuja direcção faz um ângulo de 60° com o eixo dos x e no plano xy . Calcular a força magnética inicial sobre o próton e a aceleração inicial do próton.

7.3. Um fio condutor, curvado na forma de um semicírculo de raio R , forma um circuito fechado e é percorrido por uma corrente I . O circuito está no plano xy e um campo magnético uniforme está presente orientado na direcção dos yy positivos (figura 26). Achar as forças magnéticas sobre a parte rectilínea do condutor e sobre a parte curva.

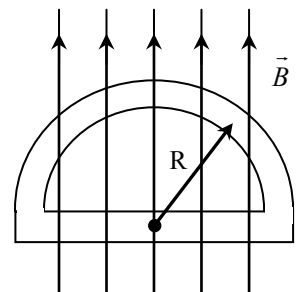


Figura 26

7.4. Um condutor rectilíneo está pendurado por dois fios condutores flexíveis, como mostra a Figura 27, e tem uma massa por unidade de comprimento de 0.04 kg/m. Qual deve ser a corrente no condutor para que a tensão nos fios do pendural seja nula, quando o campo magnético for de 3.6 T e estiver dirigido para trás do plano do papel? Qual é a direcção da corrente?

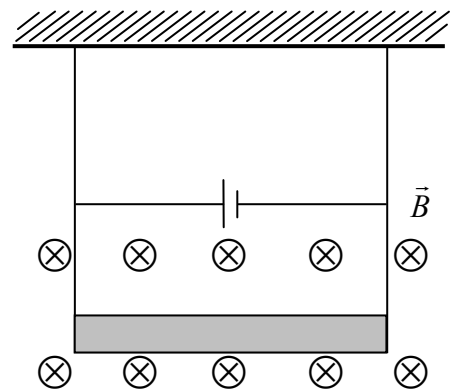


Figura 27

7.5. Um fio condutor, com a massa de 0.5 g/cm, conduz uma corrente de 2 A, horizontalmente, para o sul. Qual é a direcção e qual é o módulo do campo magnético mínimo capaz de erguer, verticalmente, esse condutor.

7.6. Uma corrente de 17 mA circula numa espira circular com 2 m de circunferência. Um campo magnético externo de 0.8 T está dirigido paralelamente ao plano da espira.

- Calcular o momento magnético da espira de corrente.
- Qual é o módulo do momento das forças que o campo magnético exerce sobre a espira?

- 7.7. Um fio condutor forma um círculo de 10 cm de diâmetro, e está num campo magnético uniforme de 3×10^{-3} T. Uma corrente de 5 A passa pelo fio. Achar:
- o momento de forças máximo que pode actuar sobre a espira de corrente.
 - a faixa de energia potencial que a espira pode ter, com diferentes orientações.
- 7.8. O campo magnético terrestre, num certo ponto, tem uma componente vertical, para baixo, de 0.5×10^{-4} T. Um protão entra, com movimento horizontal para oeste, nesse campo com a velocidade de 6.2×10^6 m/s.
- Qual é a direcção e qual é o módulo da força magnética que o campo exerce sobre essa carga?
 - Qual é o raio do arco de circunferência descrito pelo protão?
- 7.9. Um ião positivo monovalente tem a massa de 3.2×10^{-26} kg. Depois de ser acelerado por uma diferença de potencial de 833 V, o ião entra num campo magnético de 0.92 T, ao longo de uma direcção perpendicular à direcção do campo eléctrico. Calcular o raio da trajectória do ião no campo magnético.
- 7.10. Um protão de um raio cósmico, no espaço sideral, tem a energia de 10 MeV, e efectua uma órbita circular, com o raio igual ao da órbita de Mercúrio em torno ao Sol (5.8×10^{10} m). Qual é o campo magnético galáctico nessa região do espaço?

CAPÍTULO 8 - FONTES DO CAMPO MAGNÉTICO

- 8.1. Imaginemos um fio rectilíneo, delgado, com uma corrente constante I , esticado ao longo do eixo dos xx , como mostra a Figura 28. Calcular o campo magnético total num ponto P, à distância a do fio.

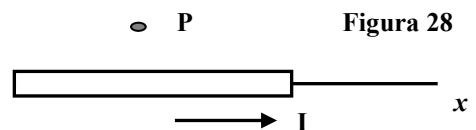


Figura 28

- 8.2. Calcular o campo magnético no ponto O da espira de corrente que aparece na figura 29. A espira é constituída por dois segmentos rectilíneos e por um arco de circunferência de raio R , que subentende um ângulo θ , no centro do arco. Podem ignorar-se as contribuições da corrente nos pequeninos arcos vizinhos a O .

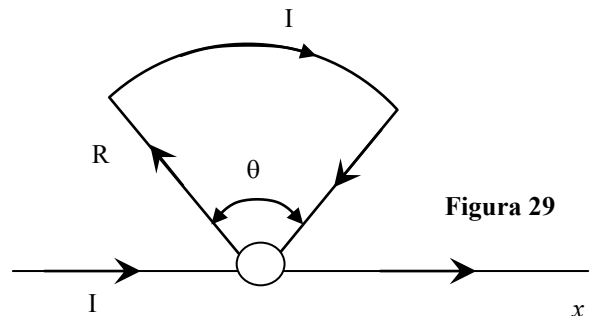


Figura 29

- 8.3. Considere uma espira circular com o raio R , localizada no plano yz , com uma corrente constante I , como mostra a figura 30. Calcular o campo magnético num ponto axial P , à distância x do centro da espira.

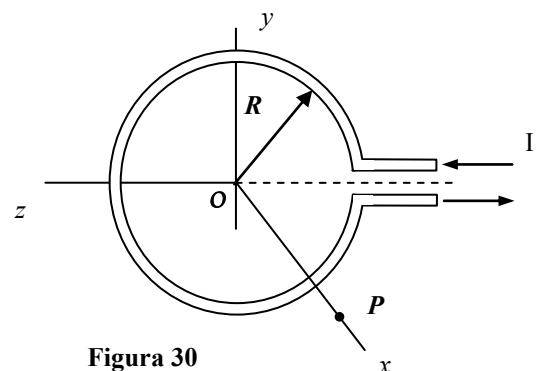


Figura 30

- 8.4. Um fio rectilíneo, comprido, de raio R , tem uma corrente constante I_0 uniformemente distribuída pela secção recta do fio (Figura 31). Calcular o campo magnético a uma distância r do eixo do fio nas regiões $r \geq R$ e $r < R$.

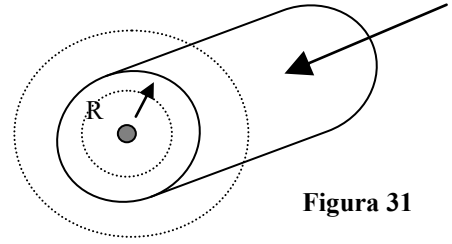


Figura 31

- 8.5. Uma bobina toroidal é constituída por N espiras de fio enroladas em torno de um toro (figura 32). Admitindo que as espiras sejam muito cerradas, calcular o campo magnético no interior da bobina, a uma distância r do seu centro.

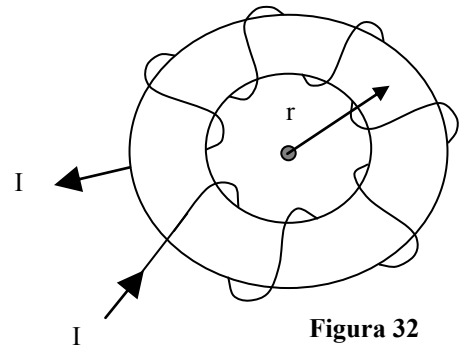


Figura 32

- 8.6. Uma folha condutora plana, infinita, no plano yz , tem uma densidade de corrente J_s . A corrente está na direcção y e J_s representa a corrente por unidade de comprimento, medida ao longo do eixo dos z . Achar o campo magnético nas vizinhanças desta corrente plana.

- 8.7. Um fio condutor rectilíneo, comprido, está orientado sobre o eixo dos yy , e tem uma corrente constante I_1 , como mostra a figura 33. Um circuito rectangular, localizado à direita do fio, tem uma corrente I_2 . Achar a força magnética sobre o segmento horizontal superior do circuito, que se situa entre $x = a$ e $x = a + b$.

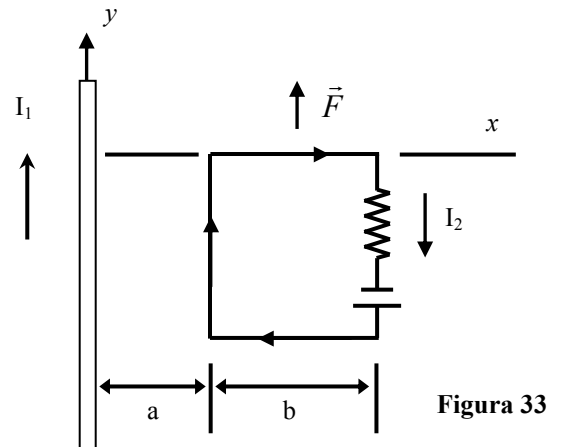


Figura 33

- 8.8. Uma espira rectangular, de largura a e comprimento b , está localizada a uma distância c de um fio condutor comprido, que transporta uma corrente I (figura 34). O fio é paralelo ao lado maior da espira. Achar o fluxo magnético total através da área limitada pela espira.

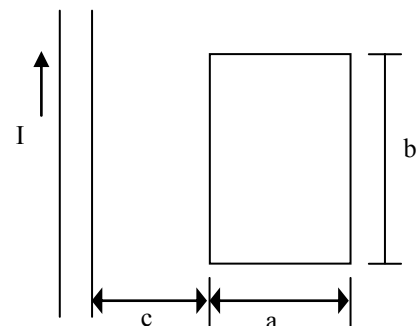


Figura 34

- 8.9. Uma bobina toroidal, com uma corrente de 5 A, tem 60 espiras/m de fio. O núcleo da bobina é de ferro com uma permeabilidade magnética de $5000\mu_0$. Achar H e B no interior do núcleo de ferro.

CAPÍTULO 9 - A LEI DE FARADAY

9.1. Uma bobina com 200 espiras de fio condutor está enrolada à volta da periferia de um quadro com 18 cm de lado.

Cada espira tem a mesma área, igual à área do quadro, e a resistência total da bobina é $2\ \Omega$. Um campo magnético é aplicado perpendicularmente ao plano da bobina. Se o campo varia linearmente, de 0 até $0.5\ \text{Wb/m}^2$ num intervalo de tempo de 0.8 s, achar o módulo da fem induzida na bobina enquanto o campo estiver a variar.

9.2. Uma espira plana, de área A , está numa região onde há um campo magnético perpendicular ao plano da espira. O módulo de \mathbf{B} varia com o tempo de acordo com a expressão $B = B_0 e^{-at}$. Isto é, em $t = 0$ o campo é B_0 e, em $t > 0$, o campo decai exponencialmente com o tempo. Achar a fem induzida na espira, em função do tempo.

9.3. Uma barra condutora, de comprimento l , gira com a velocidade angular constante ω em torno de um eixo que passa por uma das suas extremidades. Um campo magnético uniforme \mathbf{B} está dirigido perpendicularmente ao plano de rotação da barra (figura 35). Achar a fem induzida entre as extremidades da barra.

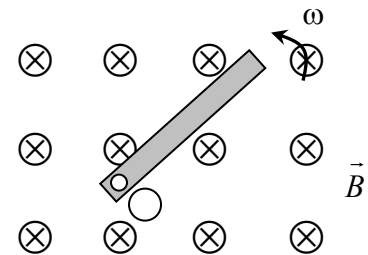


Figura 35

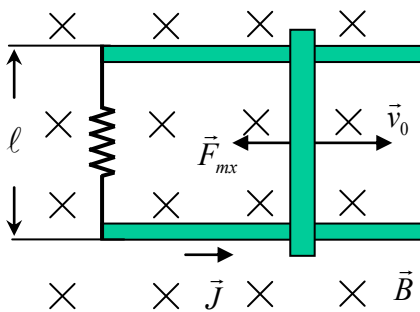


Figura 36

9.4. Uma barra, de massa m e comprimento l , desliza sobre dois trilhos paralelos, sem atrito, na presença de um campo magnético uniforme, dirigido perpendicularmente da frente para o verso da página (figura 36). A barra recebe uma velocidade inicial para a direita, v_0 , e depois fica livre. Achar a velocidade da barra em função do tempo.

9.5. Na montagem que aparece na figura 37, a barra condutora move-se para a direita, sobre trilhos condutores, paralelos, sem atrito, ligados, numa ponta, a uma resistência de $6\ \Omega$. Um campo magnético de $2.5\ \text{T}$ dirige-se da frente para o verso da página. Seja $l = 1.2\ \text{m}$ e despreze-se a massa da barra.

- Calcular a força aplicada necessária para deslocar a barra para a direita, com a velocidade constante de $2\ \text{m/s}$.
- Qual é a taxa de dissipação de energia na resistência?

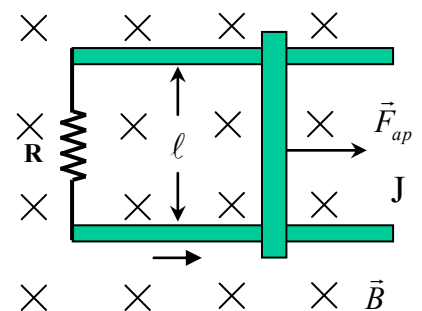


Figura 37

9.6. Uma espira rectangular, de dimensões l e w e de resistência R , desloca-se com velocidade constante v para a direita, como está na figura 38. A espira continua a mover-se com esta velocidade através de uma região onde há um campo magnético uniforme \mathbf{B} dirigido perpendicularmente à página, da frente para o verso, e cobrindo uma distância $3w$. Traçar o gráfico do fluxo, da fem induzida e da força externa que actua sobre a espira, em função da posição da espira no campo.

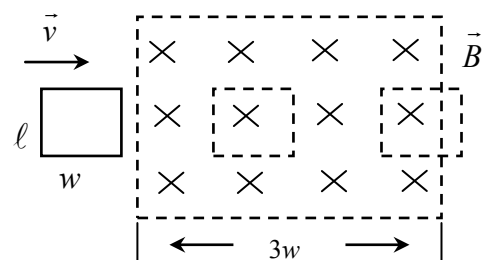


Figura 38

9.7. Uma espira rectangular, de massa M , resistência R e dimensões w por ℓ , cai num campo magnético \mathbf{B} , como mostra a figura 39. A espira acelera até atingir uma velocidade terminal, v_t .

- Mostrar que $v_t = (MgR)/(B^2 w^2)$.
- Por que é que v_t é proporcional a R ?
- Por que é que é inversamente proporcional a B^2 ?

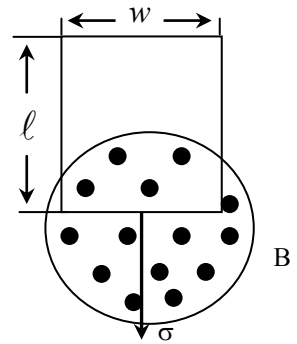


Figura 39

9.8. Um fio metálico, de 0.15 kg, está dobrado em forma de rectângulo fechado de 1 m de largura e 1.5 m de comprimento, com a resistência total de 0.75Ω . O rectângulo cai através de um campo magnético dirigido perpendicularmente à direcção do movimento do rectângulo metálico (figura 39). O rectângulo é acelerado para baixo até adquirir uma velocidade constante de 2 m/s, quando o topo do rectângulo ainda não entrou no campo. Calcular o módulo de \mathbf{B} .

9.9. Um solenóide comprido, de raio R , tem n espiras por unidade de comprimento e conduz uma corrente variável sinusoidalmente no tempo, de acordo com $I = I_0 \cos \omega t$, onde I_0 é a corrente máxima e ω é a frequência angular da fonte de corrente (figura 40).

- Determinar o campo eléctrico no exterior do solenóide, a uma distância R do seu eixo.
- Qual é o campo eléctrico no interior do solenóide, a uma distância r do seu eixo?

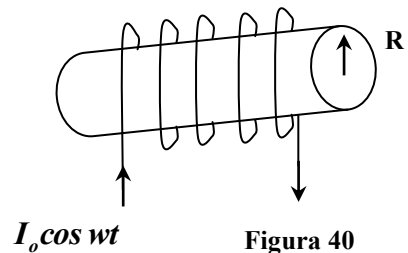


Figura 40

CAPÍTULO 10 - CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA

Admitir que todas as voltagens alternadas e todas as correntes alternadas são sinusoidais.

10.1. Uma fonte de potência alternada tem uma voltagem de pico $V_m = 100 \text{ V}$. Esta fonte está ligada a uma resistência de 24Ω , e a corrente no circuito e a voltagem na resistência são medidas por um amperímetro e por um voltímetro ideais, ambos de corrente alternada. Qual é a leitura de cada instrumento?

10.2. Uma bobina está ligada a uma fonte de tensão de 20 Hz que tem uma voltagem média quadrática de 50 V. Qual é a indutância necessária para manter a corrente instantânea no circuito abaixo de 80 mA?

10.3. a) Em que frequências lineares um condensador de $22 \mu\text{F}$ tem reactância abaixo de 175Ω ?

- Nesta faixa de frequências, qual seria a reactância de um condensador de $44 \mu\text{F}$?

10.4. Uma voltagem sinusoidal $v(t) = V_m \cos \omega t$ é aplicada a um condensador.

- Dar a expressão da carga instantânea no condensador em termos de V_m , C , t e ω .
- Qual é a corrente instantânea no circuito?

10.5. Um circuito alternado montado em série tem os seguintes componentes: $R = 150 \Omega$, $L = 250 \text{ mH}$, $C = 2 \mu\text{F}$ e um gerador que opera a 50 Hz com $V_m = 210 \text{ V}$. Calcular:

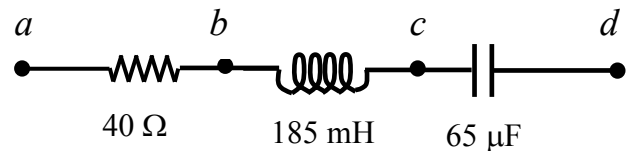
- a) a impedância (reactância) indutiva;
- b) a impedância (reactância) capacitiva;
- c) a impedância total do circuito;
- d) a corrente de pico;
- e) o ângulo de fase.

10.6. Um resistência ($R = 900 \, \Omega$), um condensador ($C = 0.25 \, \mu\text{F}$) e um indutor ($L = 2,5 \, \text{H}$) estão ligados em série a uma fonte de AC de 240 Hz, com $V_m = 140 \, \text{V}$. Calcular:

- a) a impedância do circuito
- b) a corrente máxima proporcionada pela fonte
- c) o ângulo de fase entre a corrente e a voltagem
- d) A corrente precede ou segue a voltagem?

10.7. Uma fonte de AC, com $V_m = 150 \, \text{V}$ e $f = 50 \, \text{Hz}$, está ligada entre os pontos a e d da fig 26. Calcular as voltagens máximas entre os pontos:

- a) a e b
- b) b e c
- c) c e d
- d) b e d.



10.8. Uma voltagem alternada, com amplitude de $100 \, \text{V}$, é aplicada a uma combinação de um condensador de $200 \, \mu\text{F}$, uma bobina de $100 \, \text{mH}$ e um resistência de $20 \, \Omega$, em série. Calcular a dissipação de potência e o factor de potência quando a frequência for:

- a) $60 \, \text{Hz}$
- b) $50 \, \text{Hz}$.

10.9. Um circuito RLC em série tem os seguintes parâmetros: $L = 20 \, \text{mH}$, $C = 100 \, \text{nF}$, $R = 20 \, \Omega$ e $V = 100 \, \text{V}$, com $v = V \cdot \sin \omega t$. Achar:

- a) a frequência de ressonância
- b) a amplitude da corrente na frequência de ressonância
- c) o Q do circuito
- d) a amplitude da voltagem na bobina, na ressonância.

SOLUÇÕES

1.1. $\vec{F}_3 = -1.1\hat{i} + 7.9\hat{j}$; $8.0 \, \text{N}$, 98°

1.2. $\vec{E} = 1.1 \times 10^5 \hat{i} + 2.5 \times 10^5 \hat{j}$; $2.7 \times 10^5 \, \text{N/C}$, 66°

1.3. $\vec{E} = k \frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}} \hat{i}$

1.4. $x = 0.775 \, \text{m}$

- 1.5. a) $\vec{a} = -3.51 \times 10^{13} \hat{j}$ (m/s²); b) 3.33×10^{-8} s;
c) -1.95 cm

2.1. $E = \frac{kQ}{d(l+d)}$

2.2. $E_x = \frac{kx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} Q$

- 2.3. a) -2340 N.m²/C; b) +2340 N.m²/C; c) 0

2.4. $E = \begin{cases} 0, & r < a \\ kQ/r^2, & r > a \end{cases}$

2.5. $E_1 = E_3 = 0, E_2 = 2kQ/r^2, E_4 = kQ/r^2$

2.6. $E = \rho.r/(2\epsilon_0)$

- 2.7. a) 0; b) 5400 N/C; c) 540 N/C

- 3.1. a) -4×10^4 V; b) -6.4×10^{-15} J; c) 2.77×10^6 m/s

- 3.2. a) 7.65×10^3 V; b) 3.06×10^{-2} J; c) 6.0×10^{-4} J

3.3. $V = \frac{kQ}{\sqrt{x^2 + a^2}}; E_x = -\frac{dV}{dx} = \frac{kQx}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$

3.4. $V = 2.\pi.k.\sigma.[(x^2 + a^2)^{1/2} - x]$

3.5. $V = \frac{kQ}{l} \ln\left(\frac{l + \sqrt{l^2 + d^2}}{d}\right)$

3.6. a) $V = kQ/r$; b) $V = \frac{kQ}{2R}\left(3 - \frac{r^2}{R^2}\right);$

c) $E = 0, V_0 = 3kQ/(2R)$

3.7.

3.8. $V = \frac{2kqa}{x^2 - a^2} \approx \frac{2kqa}{x^2} (x \gg a), E = \frac{4kqa}{x^3} (x \gg a)$

- 4.1. a) $1.33 \mu\text{C}/\text{m}^2$; b) 13.3 pF

- 4.2. a) $4 \mu\text{F}$; b) $Q_2 = 24 \mu\text{C}, Q_3 = Q_6 = 24 \mu\text{C}, V_2 = 12$
 $V, V_3 = 4 \text{ V}, V_6 = 4 \text{ V}$

4.3. $C = \frac{l}{2k.\ln(b/a)}$

4.4. $C = \frac{Qb}{k(b-a)}$

- 4.5. $6 \mu\text{F}$

4.6. a) $V = \frac{(C_1 - C_2)}{(C_1 + C_2)} V_0$; b) $\frac{1}{2} (C_1 + C_2) V_0^2$ (antes)

$\frac{1}{2} (C_1 + C_2) \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 V_0^2$ (depois)

- 4.7. a) $19.6 \mu\text{F}$; b) $0.31 \mu\text{C}$; c) 2.5×10^{-3} J

4.8. $U_0 = \frac{Q_0^2}{2C_0}, U = U_0/2$

4.9. $\epsilon_0.A/(d-a)$

- 5.1. 2.46×10^{-4} m/s

5.2. $R_{Al} = 2.82 \times 10^{-5} \Omega, R_{vidro} = 10^{13} \Omega$

- 5.3. a) $4.6 \Omega/\text{m}$; b) 2.2 A ; c) $28 \Omega, 4.3 \text{ A}$; d) 6.7×10^{-6}
 $\text{A}/\text{m}^2, 10 \text{ N/C}$

- 5.4. 157°C

- 5.5. a) 2.5×10^{-14} s; b) 40 nm

- 5.6. 13.8 A

- 5.7. a) $0.625 \text{ A}, 192 \Omega$; b) 144Ω

- 6.1. a) $3.93 \text{ A}, 11.8 \text{ V}$; b) $46.3 \text{ W}, 0.772 \text{ W}, P_T = 47.1 \text{ W}$

- 6.2. a) 14Ω ; b) $I_1 = 1 \text{ A}, I_2 = 2 \text{ A}, I_3 = 3 \text{ A}$

- 6.3. a) $I_1 = 6 \text{ A}, I_2 = 3 \text{ A}, I_3 = 2 \text{ A}$; b) $P_1 = 108 \text{ W}, P_2 =$
 $54 \text{ W}, P_3 = 36 \text{ W}$; c) $18/11 \Omega, P = 198 \text{ W}$

- 6.4. a) $1/3 \text{ A}$; b) $P_1 = 8/9 \text{ W}, P_2 = 10/9 \text{ W}, P_T = 2 \text{ W}$

- 6.5. $I_1 = 2 \text{ A}, I_2 = -3 \text{ A}, I_3 = -1 \text{ A}, V_{bc} = 2 \text{ V}$

- 6.6. a) $I_1 = 1.38 \text{ A}, I_2 = -4/11 \text{ A}, I_3 = 1.02 \text{ A}$; b) $66 \mu\text{C}$

- 6.7. $\tau = 4 \text{ s}, Q_{\max} = 60 \mu\text{C}, I_0 = 15 \mu\text{A}, Q(t) = 60(1 - e^{-t/4}),$
 $I(t) = 15.e^{-t/4}.$

- 6.8. a) $t = 1.39\tau$; b) $t = 0.693\tau.$

7.1. $\vec{B} = -2.09 \times 10^{-2} \hat{j} (T)$

7.2. $\vec{F} = 2.77 \times 10^{-12} \hat{k} (N); \vec{a} = 1.66 \times 10^{15} \hat{k} (m/s^2)$

7.3. Recta: $\vec{F} = 2IRB\hat{k}$; Curva: $\vec{F} = -2IRB\hat{k}$

7.4. $I = 0.109 \text{ A}$ para a direita.

7.5. $B = 0.245 \text{ T}$ para a direita

7.6. a) $5.41 \times 10^{-3} \text{ A.m}^2$; b) $M = 4.33 \times 10^{-3} \text{ N.m}$

7.7. a) $118 \mu\text{N.m}$; b) $236 \mu\text{J}$

7.8. a) $F = 4.97 \times 10^{-17} \text{ N}$ para sul; b) $r = 1.29 \times 10^3 \text{ m}.$

7.9. $R = 1.98 \text{ cm}$

7.10. $7.88 \times 10^{-12} \text{ T}.$

8.1. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$

8.2. $B = \frac{\mu_0 I}{8R}$

8.3. $B_x = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{3/2}}$

8.4. $B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi R^2} r, r < R; B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, r \geq R.$

8.5. $B_{\perp} = \frac{\mu_0 N I}{2\pi r}$

8.6. $B = \frac{\mu_0 I_s}{2}$

8.7. $\vec{F} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln\left(1 + \frac{b}{a}\right) \hat{j}$

8.8. $\phi_m = \frac{\mu_0 I b}{2\pi} \ln\left(\frac{a+c}{c}\right) \hat{j}$

8.9. $B = 1.88 \text{ T}; H = 300 \text{ A. espiras/m}$

9.1. $\varepsilon = 4.05 \text{ V}$

9.2. $\varepsilon = a.A.B_0.e^{-at}.$

9.3. $\varepsilon = B.\omega.l^2/2$

9.4. $V = V_0.e^{-t/\tau}.$

9.5. a) $3.01 \text{ N};$ b) $P = 6.0 \text{ W}$

9.6.

9.7.

9.8. 0.742 T

9.9.

10.1. $V_{rms} = 70.7 \text{ V}, I_{rms} = 2.95 \text{ A}$

10.2. $L \geq 7.03 \text{ H}$

10.3. a) $f > 41.3 \text{ Hz};$ b) $X_C < 87.5 \Omega.$

10.4. a) $q(t) = CV_m \cos(\omega t);$ b) $i(t) = -\omega CV_m \sin(\omega t)$

10.5. a) $X_L = 78.5 \Omega;$ b) $X_C = 1.59 \times 10^3 \Omega;$ c) $Z = 1.59 \times 10^3 \Omega;$ d) $I_m = 0.138 \text{ A};$ e) $\phi = -84.3^\circ$

10.6. a) $Z = 1.435 \text{ k}\Omega;$ b) $I_m = 97.6 \text{ mA};$ c) $51.2^\circ;$ d) A corrente segue a voltagem

10.7. a) $V_R = 146 \text{ V};$ b) $V_L = 213 \text{ V};$ c) $V_C = 179 \text{ V};$ d) $V_L - V_C = 33.3 \text{ V}$

10.8. a) $P_{med} = 100.3 \text{ W}, \cos\phi = 0.633;$ b) $P_{med} = 156.0 \text{ W}, \cos\phi = 0.790$

10.9. a) $3.56 \text{ kHz};$ b) $I_m = 5.00 \text{ A};$ c) $22.4;$ d) $V_L = 2240 \text{ V}$