# CAPÍTULO 2

**CIRCUITOS RESISTIVOS**

2.1 INTRODUÇÃO

Para se resolver circuitos resistivos, e para outras classes de circuitos que serão vistos posteriormente, utiliza-se basicamente duas ferramentas para a análise: as *leis de Kirchhoff* e a *lei de Ohm*.

2.2. LEIS DE KIRCHHOFF

As leis de Kirchhoff serão apresentadas como postulados, não cabendo aqui, suas deduções, por exigirem o uso das equações de Maxwell, as quais estão fora do propósito deste curso. Antes de enunciá-las, serão estabelecidas algumas definições importantes, como segue:

- *Nó* (ou nodo): é a conexão entre *dois ou mais* elementos.

- *Super nó* (ou nó composto): é qualquer contorno fechado envolvendo mais de um nó.

- *Malha* (ou malha simples): é qualquer percurso fechado sem elementos intermediários ou que não contenham outros percursos fechados.

- *Super malha* (ou malha composta): é qualquer percurso fechado abrangendo mais de uma malha.

**LEI DE KIRCHHOFF PARA AS CORRENTES**

Esta lei pode ser enunciada assim: *para qualquer circuito concentrado, em qualquer instante, a soma algébrica das correntes que concorrem em um nó, ou super nó, qualquer, é sempre nula*.

Como em cada nó pode haver correntes saindo ou chegando, é preciso arbitrar-se os sinais destas correntes. Por exemplo, se as correntes que saem do nó são escolhidas como positivas, então as correntes que chegam são negativas ou vice-versa. Por isso a lei fala em soma algébrica.

Usando a figura 2-1 para ilustrar esta lei, pode-se escrever as seguintes equações para os *quatro nós* e para os super nós *S1* e *S2*, onde os seis *bipolos* (elementos de dois terminais), numerados de 1 a 6, têm os sentidos das correntes escolhidos de forma arbitrária.

Nó *1*: *–i1 + i2 + i3 = 0* (2-1)

Nó *2*: *–i3 + i4 + i5 = 0* (2-2)

Nó *3*: *–i5 + i6 = 0* (2-3)

Nó *4*: *i1 – i2 – i4 – i6 = 0* (2-4)

Super nó *S1*: *–i1 + i2 + i4 + i5 = 0* (2-5)

Super nó *S2*: *–i1 + i2 + i4 + i6 = 0* (2-6)

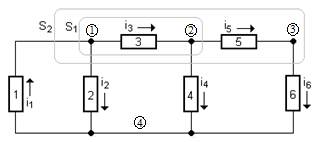


Fig. 2-1: Circuito para ilustração da primeira lei de Kirchhoff

Observem-se, nestas equações, que se escolheram para correntes negativas as que chegam aos nós e como positivas as que saem do nó. Esta escolha, obviamente, é arbitrária, já que o segundo membro de cada equação é nulo.

Note-se também que, as equações dos super nós, correspondem à soma das equações dos nós envolvidos pelos super nós. Assim, por exemplo, a equação (2-5) é o resultado da soma, membro a membro, das equações (2-1) e (2-2).

**EQUAÇÕES INDEPENDENTES DE CORRENTES**

As equações de correntes escritas para os *n* nós de um circuito, não são independentes. De fato, qualquer corrente de um bipolo sai de um nó e entra no outro, assim a soma das equações membro a membro é sempre nula.

Para que se tenham equações independentes, elimina-se uma equação de um nó qualquer. Feito isto, as (*n – 1*) equações restantes, pode ser mostrado, se tornam independentes.

Se as correntes dos bipolos forem agrupadas em um vetor coluna ***i***, as equações independentes de correntes podem ser colocadas na forma matricial:

*A****i*** *=* ***o***

Onde, a matriz *A* é chamada *matriz de incidência* do circuito, ***i*** é o vetor coluna das correntes e ***o*** é o vetor coluna nulo. O *posto* da matriz *A* é sempre (*n – 1*). As entradas da matriz só podem ser:*+1* (se a corrente sai do nó), *–1* (se entra) ou *0* (se o bipolo não está ligado ao nó). Em cada coluna da matriz podem existir, no máximo, duas entradas não-nulas, com sinais diferentes.

A matriz de incidência descreve completamente a maneira como os bipolos de um circuito estão interligados, isto é, descreve a *topologia* do circuito.

**CORRENTES INDEPENDENTES**

Das equações independentes, as *correntes independentes* são àquelas a partir das quais as equações permitem calcular as (*n – 1*) correntes restantes. Na linguagem de sistemas lineares visto em álgebra, as correntes independentes são as incógnitas livres e as demais são as líderes. O *número de correntes independentes* é dado por:

*b – n + 1*

onde *b* é o número de bipolos e *n* é o número de nós.

OBSERVAÇÃO: As colunas das incógnitas líderes sempre formam uma matriz quadrada não singular, isto é, com determinante não-nulo.

Exercício: A partir das equações dos nós do circuito da figura 2-1, elimine a equação do nó *4* e monte a matriz de incidência para as equações restantes. Quantas correntes são independentes e quais são elas?

**LEI DE KIRCHHOFF PARA AS TENSÕES**

Esta lei pode ser enunciada assim: *para qualquer circuito concentrado, em qualquer instante, a soma algébrica das tensões sobre os elementos que formam um percurso qualquer (não necessariamente fechado fisicamente), é sempre nula.*

Como, em cada percurso, um elemento pode ser percorrido do polo positivo para o polo negativo ou do negativo para o positivo, é preciso arbitrar-se os sinais das tensões em cada elemento. Por exemplo, se for escolhida a tensão positiva quando indo do polo positivo para o polo negativo, então a tensão deverá ser negativa quando ao contrário. Por isso é que a lei fala em soma algébrica das tensões.

Para ilustrar a segunda lei de Kirchhoff será usado o circuito da figura 2-2 que é o mesmo da figura 2-1, só que agora mostrando as polaridades das tensões dos bipolos, seguindo a convenção passiva. Assim, escrevem-se as equações dos percursos, neste caso arbitrando o sentido horário, como segue:

Malha *12*: *v1 + v2 = 0*  (2-7)

Malha *234: –v2 + v3 + v4 = 0* (2-8)

Malha *456*: *–v4 + v5 + v6 = 0* (2-9)

Super malha *134*: *v1 + v3 + v4 = 0* (2-10)

Super malha *1356*: *v1 + v3 + v5 + v6 = 0* (2-11)

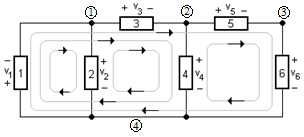


Fig. 2-2: Circuito para ilustração da Segunda lei de Kirchhoff

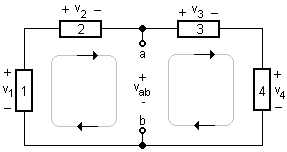
Observe-se que, ao se percorrer cada bipolo, a tensão foi considerada negativa quando indo do sinal "–" para o sinal "+", ou seja, quando entrando no polo negativo, e positivo ao contrário, ou seja, quando entrando no polo positivo. Esta escolha, naturalmente, é arbitrária.

Note-se que as equações das super malhas correspondem à soma das equações das malhas que são envolvidas por essas super malhas. Assim, por exemplo, a equação (2-10) é o resultado da soma das equações (2-7) e (2-8).

O percurso referido pela Segunda lei de Kirchhoff, não precisa ser fisicamente fechado, já que, entre dois pontos quaisquer sem elementos, pode-se sempre se imaginar a existência de um resistor de resistência infinita. Assim, tomando como exemplo o circuito da figura 2-3, onde não existe nenhum elemento entre os terminais a-b, pode-se escrever:

Percurso *12ab*: *–v1 + v2 + vab = 0 ou vab = v1 – v2*

Percurso *34ba: v3 + v4 – vab = 0 ou vab = v3 + v4*



**Fig. 2-3: Ilustração da segunda lei de Kirchhoff para caminhos não fechados fisicamente**

**TENSÕES INDEPENDENTES**

No circuito da figura 2-2, se as tensões dos nós *1, 2* e *3* forem medidas em relação ao nó *4*, tomado como referência onde se supõe tensão nula, pode-se expressar as tensões dos seis bipolos em função das tensões dos nós restantes. Estas tensões (*e1, e2* e *e3*) medidas dessa maneira são as tensões independentes (também chamadas de tensões de nó). O número delas é sempre (*n – 1*), onde *n* é o número de nós. No exemplo em questão se tem:

*v1 = –e1*

*v2 = e1*

*v3 = e1 – e2*

*v4 = e2*

*v5 = e2 – e3*

*v6 = e3*

Chamando de ***v*** o vetor coluna formado pelas seis tensões dos bipolos e de ***e*** o vetor coluna formado pelas três tensões independentes, o sistema dessas equações pode ser escrito na forma matricial como:

***v*** = *AT****e***

onde *AT* é a transposta da matriz de incidência das correntes quando o mesmo nó, no caso nó *4*, é considerado nas duas situações.

Finalmente é importante frisar-se que as leis de Kirchhoff independem da *natureza dos bipolos*, ou seja, os bipolos podem ser lineares ou não lineares, variantes ou invariantes com o tempo, ativos ou passivos etc. A única restrição é que o circuito deva ser concentrado. E se deve lembrar que as leis de Kirchhoff não se referem aos elementos do circuito, mas às conexões entre eles.

Exercício: Considerando o circuito da figura 2-2, encontre a matriz de incidência para as tensões e mostre que ela é a transposta da matriz de incidência para as correntes.

Exemplo 1: Seja analisar o circuito da figura 2-4, para encontrar a tensão *VL* no resistor de *10 Ω*.

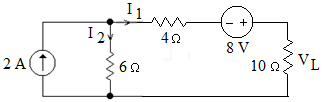


Fig. 2-4: Circuito para o exemplo 1

Solução: lei dos nós: *I1 + I2 = 2 🡪 I2 = 2 – I1*.

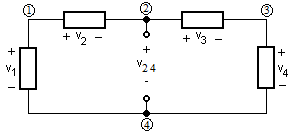
Malha direita, no sentido horário: *–6I2 + 4I1 – 8 + 10I1 = 0 🡪 –6(2 – I1) + 4I1 – 8 + 10I1 = 0*

Donde se tira: *I1 = 1 A*. Logo, *VL = 10I1 🡪 VL = 10 V*.

Exercício: Encontre as tensões *v24* e *v4* no circuito da figura 2-5 sabendo-se que: *v1 = 2 V, v2 =* –*10 V* e *v3 = 3 V*.

Tomando como referência o nó *4*, quais são os valores das tensões independentes (tensões de nó)?

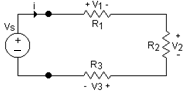
**Resposta:** *12 V e 9 V*.



**Fig. 2-5: Circuito para o exercício acima**

2.3 RESISTÊNCIAS EM SÉRIE – DIVISOR DE TENSÃO

Diz-se que dois ou mais resistores estão associados em série se o percurso formado por eles é único para a corrente. A figura 2-6 ilustra um exemplo desse tipo de associação usando-se três resistores e uma fonte. Um exemplo prático deste tipo de associação pode ser verificado em alguns conjuntos de lâmpadas usados em árvores de Natal. Outro exemplo muito comum é o de um circuito com uma lâmpada e um interruptor. Neste caso, os dois estão em série para que o interruptor possa estabelecer ou interromper o percurso para a corrente na lâmpada. Circuito com bipolos em série é visto como um *circuito divisor de tensão*.



**Fig. 2-6: Elementos associados em série**

No caso da figura 2-6, aplicando-se a lei de Kirchhoff para a malha, onde a corrente *i* é única para todos os elementos do circuito, tem-se:

*–vs + v1 + v2 + v3 = 0*

Como: *v1 = R1.i*, *v2 = R2.i* e *v3 = R3.i*, então, substituindo estas tensões na equação acima, encontra-se a corrente única para a malha:

Portanto, a tensão no k-ésimo resistor será:

*vk = Rki = , k = 1, 2* ou *3* (2-12)

Portanto, no circuito série, a tensão da fonte se divide em proporção direta à resistência de cada resistor, sendo por isso, conhecido como um *divisor de tensão*.

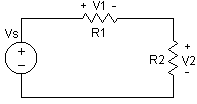
Note-se que a substituição de *N* resistores em série por um só de resistência:

*Req = R1 + R2 + ... + Rk, k = 1, 2, ..., N* (2-13)

não afeta a corrente da fonte. Diz-se, então, que *Req* é a *resistência equivalente* da associação em série.

Exemplo 2. Divisor de tensão com dois resistores, sem carga.

A figura 2-7 ilustra um circuito divisor de tensão com dois resistores aos quais não está ligada nenhuma carga. Suponha que *vs=15 V* enquanto as resistências dos resistores valem: *R1 = 2*  e *R2 = 3* . Então, usando a equação (2-12), tem-se:



**Fig. 2-7: Circuito para o exemplo 2**.

*v1 =*

*v2 =*

As potências dissipadas por esses resistores serão:

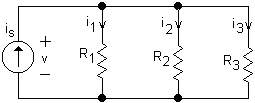
*P1 =*

*P2 =*

Note que existe uma infinidade de pares de resistores que podem resultar nas tensões de *6 V* e *9 V*. É claro que, para resistores de resistências mais elevadas, a potência dissipada por eles será menor.

2.4 RESISTÊNCIAS EM PARALELO – DIVISOR DE CORRENTE

Diz-se que dois ou mais resistores estão associados em paralelo se todos estiverem conectados a uma mesma diferença de potencial, conforme exemplo ilustrado na figura 2-8, para o caso de resistores e fonte. Um exemplo prático desse tipo de associação pode ser encontrado no circuito de um carro, onde, em geral, todos os dispositivos elétricos estão submetidos à mesma diferença de potencial de *12 V*. O mesmo acontece numa residência onde a maioria dos dispositivos está submetida à mesma tensão fornecida pela concessionária. As extensões utilizadas para se conectar vários aparelhos numa mesma tomada é outro exemplo de um circuito em paralelo. Circuito com bipolos em paralelo é visto como um *circuito divisor de corrente*.



**Fig. 2-8: Elementos ligados em paralelo**

Neste caso, usando a lei de Kirchhoff para as correntes no nó superior, tem-se:

*–is + i1 + i2 + i3 = 0*

Como a tensão *v* é comum a todas as resistências, as correntes em cada uma das resistências são: *i1 = G1.v, i2 = G2.v* e *i3 = G3.v*, então substituindo estas correntes na equação acima, obtém-se a tensão única para os elementos em paralelo:

Portanto, a corrente na k-ésima condutância, será:

*, k = 1, 2* ou *3*  (2-14)

Logo, no circuito paralelo, a corrente da fonte se divide de maneira proporcional à condutância de cada resistor. Sendo por isso, conhecido como um *divisor de corrente*.

Note-se que, a substituição de *N* resistores em paralelo por um só de condutância:

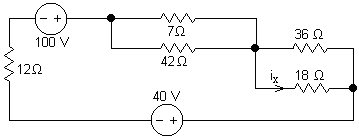
*Geq = G1 + G2 + G3 + ... + Gk, k = 1, 2, ..., N*  (2-15)

não afeta a tensão da fonte. Diz-se então que, *Geq*, é a *condutância equivalente* da associação e, portanto:

Em particular, *para dois resistores*, e somente para dois, associados em paralelo, tem-se:

Exercício: Encontre a corrente *ix* no circuito da figura 2-9.

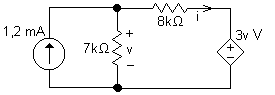
**Resposta:** *ix = 4/3 A*



**Fig. 2-9: Circuito para o exercício acima.**

Exercício: Encontre a tensão *v* e a corrente *i* no circuito da figura 2-10.

**Resposta**: *v =* –*11,19 V* e *i = 2,8 mA*.

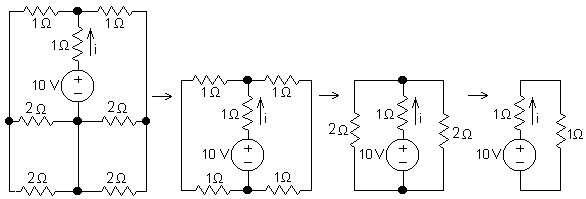


**Fig. 2-10: Circuito para o exercício acima**.

2.5 ASSOCIAÇÃO MISTA

Existem circuitos que apresentam os dois tipos de associações conforme os exemplos a seguir.

Exemplo 3: Determine a corrente *i* no circuito da figura 2-11(a).



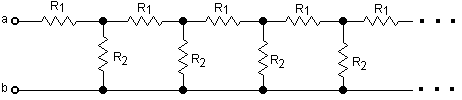
(a) (b) (c) (d)

**Fig. 2-11: (a) Circuito para o exemplo 3; (b), (c) e (d) Etapas da resolução**

Solução: Seguindo as etapas de resolução mostradas nas figuras 2-11(b, c e d) tira-se da última etapa que:

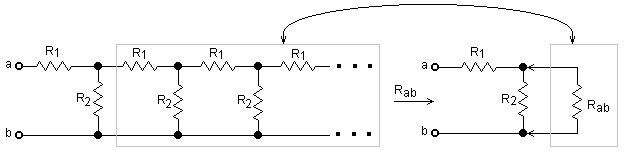
*i = 10/2 = 5 A*.

Exemplo 4: Encontre a resistência equivalente entre os pontos *a* e *b* no circuito da figura 2-12 que é infinito para a direita.



**Fig. 2-12: Circuito para o exemplo 4**.

Solução: o circuito é composto de uma cadeia de células repetitivas até o infinito, formada por *R1* e *R2*. Retirando-se a primeira célula, a resistência equivalente do circuito restante continuará sendo *Rab*. Portanto, pode-se substituir o circuito da figura 2-12 pelo da figura 2-13, e assim encontra-se:

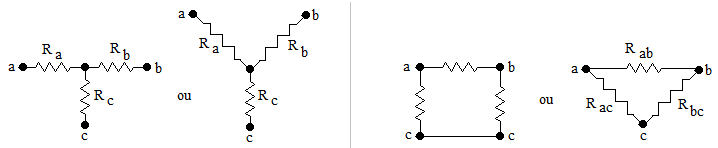


**Fig. 2-13: Circuito equivalente para o exemplo 4.**

🡪

2.6 TRANSFORMAÇÕES ESTRELA🡪TRIÂNGULO E TRIÂNGULO🡪ESTRELA

A figura 2-14(a) mostra uma configuração de circuito resistivo na configuração estrela enquanto a figura 2-18(b) mostra uma configuração em triângulo. Nos dois casos, não se pode reduzir os resistores destes circuitos a uma única resistência equivalente.



**(a) (b)**

**Fig. 2-14: (a) Circuito em estrela (*T* ou *Y*)**; (b) **Circuito em triângulo (π ou ∆)**.

Entretanto, se pode sempre fazer uma transformação de uma configuração para outra com o intuito de tornar possível a simplificação do circuito, utilizando-se as seguintes equações:

(1) Transformação de estrela para triângulo: consiste em transformar a configuração da figura 2-18(a) na configuração da figura 2-18(b). Isto é feito calculando-se as resistências *Rab, Rac* e *Rbc* conhecendo-se as resistências *Ra, Rb* e *Rc*, conforme as equações abaixo:

, ,

Observa-se, neste caso, que, se as três resistências da estrela forem todas iguais à *R*, as resistências do triângulo serão iguais à *3R*.

(2) Transformação de triângulo para estrela: consiste em transformar a configuração da figura 2-18(b) na configuração da figura 2-18(a). Isto é feito calculando-se as resistências *Ra, Rb* e *Rc* conhecendo-se as resistências *Rab, Rac* e *Rbc*, conforme as equações abaixo:

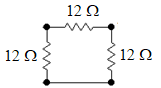
, ,

Observa-se, neste caso, que, se as três resistências do triângulo forem todas iguais à *R*, as resistências da estrela serão iguais à .

OBSERVAÇÃO: Para indutores não acoplados magneticamente, valem as mesmas fórmulas utilizadas para resistores, no ato da transformação, porém, para capacitores, as fórmulas são trocadas.

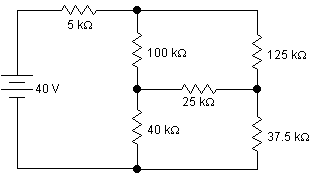
Exercício: dada a configuração em triângulo mostrada na figura 2-15, encontre a configuração equivalente em estrela.

**Resposta***: Ra = Rb = Rc = 4 Ω*



**Fig. 2-15**

Exemplo 5: Calcule a corrente e a potência, fornecidas pela fonte de *40 V* no circuito mostrado na figura 2-16.

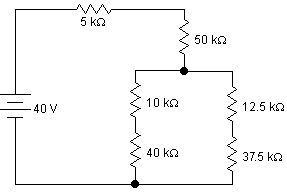


**Fig. 2-16: Circuito para o exemplo 5**.

Solução: o problema estará resolvido conhecendo-se a resistência equivalente do circuito ligado aos terminais da fonte. Para isso pode-se fazer a substituição do circuito ***π*** formado pelos resistores de *100 kΩ, 125 kΩ* e *25 kΩ,* ou do circuito ***π*** formado pelos resistores de *40 kΩ, 25 kΩ e 37,5 kΩ* num circuito *Y*. Utilizando-se a primeira opção, encontra-se o circuito mostrado na figura 2-17. Então a resistência equivalente será:

Donde se pode calcular a corrente como sendo:

E a potência como sendo:



**Fig. 2-17.**

2.7 ASSOCIAÇÃO DE FONTES

**FONTES DE TENSÃO EM SÉRIE**

As tensões se somam *algebricamente* e a corrente é única. As resistências internas também se somam. Normalmente, os terminais das fontes são ligados de modo que o positivo de uma é ligado ao negativo da seguinte e assim sucessivamente, com o objetivo de se obter uma tensão maior.

**FONTES DE TENSÃO EM PARALELO**

Se as fontes forem ideais com tensões distintas, este tipo de associação se torna proibitiva, caso contrário as correntes se somam e a tensão resultante será dada pela *fórmula de Millman* como mostra a equação (2-16):

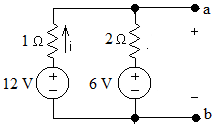
(2-16)

Onde *G1, G2, ..., Gn*, são as condutâncias internas das fontes.

OBSERVAÇÃO: Na prática, não é comum, e nem recomendável, associar fontes de tensão em paralelo com valores diferentes. O objetivo de se associar várias fontes de mesma tensão em paralelo é, obviamente, aumentar o fornecimento de corrente. Neste tipo de associação, ligam-se os terminais de mesma polaridade, isto é, positivo com positivo e negativo com negativo.

Exercício: o circuito da figura 2-18 mostra duas fontes de tensões diferentes com resistências internas diferentes, ligadas em paralelo. Encontre a corrente que atravessa cada uma das fontes e a tensão resultante nos terminais *a-b*. Comente o resultado.

**Resposta***: i = 2 A e vab = 10 V*



**Fig. 2-18.**

**FONTES DE CORRENTE EM SÉRIE**

As tensões se somam e a corrente resultante será a média das correntes de cada fonte se todas tiverem a mesma resistência interna. Se as fontes forem ideais, esse tipo de associação é proibitivo.

**FONTES DE CORRENTE EM PARALELO**

As correntes se somam algebricamente e a tensão é única. A resistência interna resultante é o resultado da associação paralela das resistências internas de cada fonte.

2.7 APLICAÇÕES

**PROJETO 1: FONTE DE TENSÃO AJUSTÁVEL**

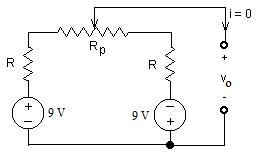
Requisitos: a) fornecer uma tensão qualquer, *vo*, entre *–6 V* e *+6 V*.

b) corrente de carga (consumo) desprezível.

c) consumir a menor potência possível.

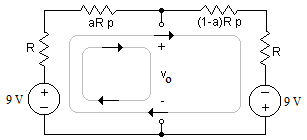
Componentes disponíveis: potenciômetros de *10 k*, *20 k*, e *50 k*; vários resistores na faixa de *10*  a *1M*; duas baterias de *9 V* a *100 mA*.

Circuito: conforme mostrado na figura 2-19.



**Fig. 2-19: Circuito da fonte ajustável.**

Solução: para facilidade de análise, o circuito pode ser substituído pelo circuito mostrado na figura 2-20, onde o potenciômetro foi substituído pelo seu modelo matemático, visto no capítulo 1.



**Fig. 2-20: Circuito equivalente**

No percurso externo, escolhendo-se o sentido horário para a corrente, tem-se:

*–9 – 9 + 2Ri + aRpi + (1 – a)Rpi = 0*

No percurso esquerdo tem-se:

*vo – 9 + Ri + aRpi = 0*

Fazendo *a = 0* e *vo = +6* na equação acima, encontramos a relação: *R = 0,25Rp*

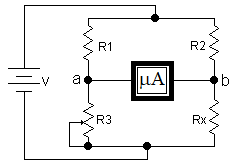
Então, escolhendo-se o potenciômetro de maior valor disponível (no caso, 50 KΩ), se tem menor consumo de potência.

Portanto, para *Rp = 50 k* se tem: *R = 0,25Rp = 0,25(50k) = 12,50 k*.

**PROJETO 2: PONTE DE WHEATSTONE**

A medida de uma resistência normalmente se faz usando um *Ohmímetro*. Entretanto, quando se quer medir com precisão resistências de valores médios, entre *1* e *1M,* utiliza-se o circuito conhecido como a ponte de Wheatstone. Este dispositivo é constituído por quatro resistores, uma fonte de tensão contínua e um medidor de corrente.

Um dos resistores deve ser ajustável, conforme indica a figura 2-21. A fonte de tensão em geral é uma bateria e o medidor pode ser um *galvanômetro de d'Arsonva*l que mede correntes muito pequenas, da ordem de *microampères*. A resistência desconhecida, a ser medida é indicada por *Rx*.



**Fig. 2-21: A ponte de Wheatstone**

Para se medir o valor de *Rx*, ajusta-se o resistor variável *R3* até que a ponte fique equilibrada, isto é, até que a corrente no galvanômetro seja nula. Isto implica que a tensão entre *a* e *b* também seja nula. Nesta situação, pode-se mostrar que:

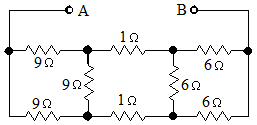
*R1Rx = R2R3 🡪* (2-17)

Para se deduzir a equação (2-17), basta se aplicar as leis de Kirchhoff ao circuito da ponte, lembrando que, quando a corrente no galvanômetro é zero, a sua queda de tensão também é zero e, portanto, a tensão é a mesma nos nós *a* e *b*.

É importante se observar que, se a relação *R2/R1* for unitária, o resistor desconhecido *Rx* será igual a *R3*. Neste caso, a faixa de valores possíveis do resistor ajustável deverá incluir o valor de *Rx*. Assim, por exemplo, se a resistência desconhecida for de *10 K* e *R3* puder ser ajustado apenas entre *0* e *1 K*, não será possível equilibrar a ponte. Portanto, para se poder cobrir uma grande faixa de resistores desconhecidos, deve-se variar a relação *R2/R1*. Nas pontes comerciais, normalmente os valores dessas resistências (*R1* e *R2*) são *1, 10, 100* e *1000* , de modo que é possível variar a relação *R2/R1* de *0,001* até *1000*.

Exercício: Utilizando a ponte de Wheatstone, encontre a resistência equivalente nos terminais *a-b* do circuito mostrado na figura 2-22.

**Resposta***: 8 Ω*



**Fig. 2-22: aplicação da ponte de Wheatstone.**

**CAIXA DE FERRAMENTAS**



LEI DE KIRCHHOFF PAR AS CORRENTES EM CADA NÓ:

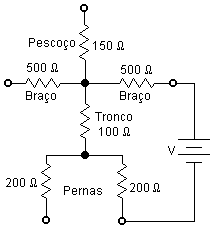
LEI DE KIRCHHOFF PARA AS TENSÔES DE UM PERCURSO FECHADO:

DIVISOR DE TENSÃO PARA *n* RESISTORES: , *k = 1, 2, ..., n*

DIVISOR DE CORRENTE PARA 2 RESISTORES: ,

**PROBLEMÁTICA**

1) Os perigos do choque elétrico são por demais conhecidos. Entretanto, nem sempre é bem compreendido que o perigo real para o ser humano não está no valor da tensão, mas sim, na intensidade e no percurso da corrente elétrica pelo corpo. Um valor elevado de corrente, mesmo que em curto intervalo de tempo, já é suficiente para causar danos ao coração. A figura P2-1 apresenta um modelo simplificado da distribuição resistiva do corpo humano, quando submetido a uma tensão contínua *V* entre uma das mãos e um pé.



**Fig. P2-1**

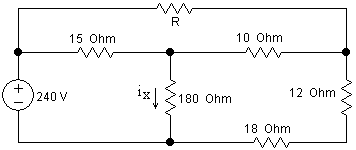
Considere que uma corrente acima de *5 mA* provoca um leve desconforto, que acima de *50 mA* pode provocar paralisia muscular, e que acima de *500 mA* pode ocasionar a parada cardíaca.

a) Verifique se há risco de parada cardíaca quando *V = 300 V*, com a tensão aplicada na forma descrita na figura.

b) Para *V = 300 V*, verifique se há risco de parada cardíaca quando a tensão estiver aplicada entre um pé e as duas mãos juntas.

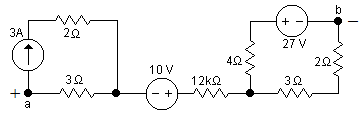
c) Na situação mostrada na figura, com *V = 500 V*, calcule a resistência elétrica mínima de uma luva de borracha a ser usada para evitar até mesmo o leve desconforto.

2) O resistor variável *R* do circuito da figura P2-2 é ajustado para que a corrente *ix* seja igual a *1 A*. Determine o valor de *R*.

****

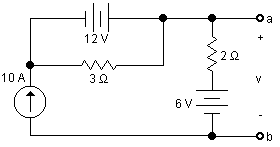
**Fig. P2-2.**

3) Encontre a tensão *vab* no circuito da figura P2-3, considerando o ponto *a* como o de maior potencial.



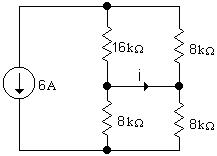
**Fig.P2-3**

4) Calcular a tensão indicada, *v*, no circuito da figura P2-4.



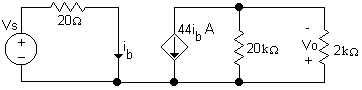
**Fig. P2-4**

5) Determine a corrente *i* no circuito da figura P2-6.



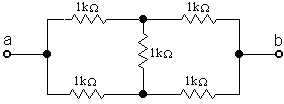
**Fig. P2-6**

6) Um modelo de um amplificador com transistor em emissor comum é mostrado na figura P2-7. Encontre a tensão *vo* quando *vs = 1 mV*.



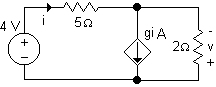
**Fig. P2-7**

7) Para o circuito mostrado na figura P2-8, encontre a resistência equivalente nos terminais *a-b* utilizando uma transformação da configuração tipo *T* para a configuração tipo *π*. Apresente outra solução utilizando-se da simetria do circuito.



**Fig P2-8**

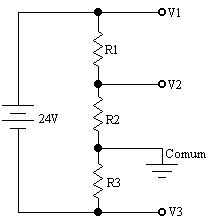
8) No circuito mostrado na figura P2-9 encontre a constante *g* de modo que *v = 16 V*



**Fig. P2-9**

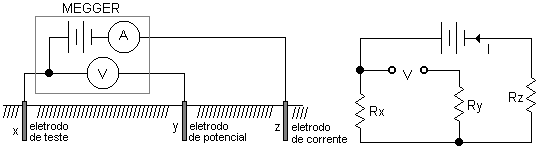
9) No circuito da questão 7 substitua o resistor central por um circuito aberto e encontre *Rab*. Repita, substituindo o resistor central por um curto circuito. Aplique uma tensão *vab = 12 V* em cada uma das situações e encontre as correntes em cada um dos resistores.

10) As memórias de muitos computadores pessoais exigem tensões de *–12 V, 5 V* e +12 V, que podem ser retiradas de um divisor de tensão conforme mostra a figura P2-11. Escolha os valores de *R1, R2* e *R3* tal que a potência fornecida ao divisor de tensão pela fonte de *24 V* seja de *80 W* quando o circuito não está carregado, ou seja, não há nada ligado aos terminais de *v1*, *v2* e *v3*, e que as tensões, todas medidas em relação ao terminal comum, devem ser *v1 = +12 V, v2 = +5 V* e *v3 = –12 V*.



**Fig. P2-11**

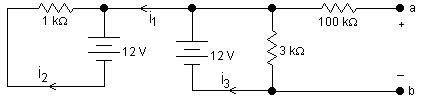
11) O aterramento é um item essencial para a segurança das instalações elétrica, sendo a resistência de terra seu principal parâmetro característico. Um dos métodos de medição da resistência de terra emprega o "*Megger" (Meg Earth Tester)*; o instrumento, cujo esquema interno está representado na figura P2-12(a), de forma simplificada, por um voltímetro ideal V e um amperímetro ideal *A* em série com uma bateria. Os eletrodos são de alta condutividade. O circuito equivalente desse diagrama é mostrado na figura P2-12(b). Calcule a resistência de terra *Rx*, quando a leitura de V e A indicam *0,5 V* e *10 mA*, respectivamente.



(a) (b)

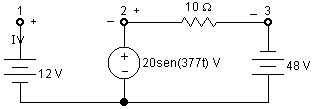
# Fig. P2-12

12) No circuito da figura P2-13, calcular as correntes *I1*, *I2*, *I3* e a tensão *Vab*.



**Fig. P2-13**

13) No circuito da figura P2-14, determinar as tensões *V12, V23, V13* e a corrente *I.*



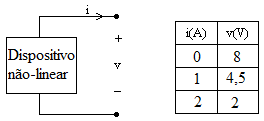
**Fig. P2-14**

14) Uma rede elétrica de 127 V alimenta uma carga resistiva de *100 Ω*, distante *200 m* da rede, através de um par de fios de cobre *No 12 AWG* (área da seção transversal igual à *2,5 mm2*). Encontre a tensão sobre a carga e as perdas (potência dissipada) nos fios de ligação. Desenhe um esquema elétrico para representar esta situação.

[Dado: Resistividade do Cobre = *1,7(10-6) Ωcm*].

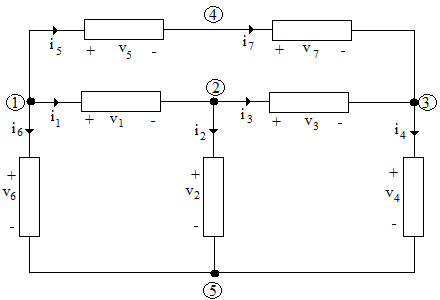
15) Os pares de valores de tensão *v* e corrente *i* medidos nos terminais do dispositivo não-linear da figura P2-15(a) são mostrados na tabela ao lado. (a) Construa um modelo para o dispositivo que está no interior da caixa usando interpolação polinomial. (b) Usando este modelo, determine a potência que o dispositivo forneceria, para uma corrente de consumo de 1,5 A.

**Resposta:**(a) *v = 0,5i2 – 4i + 8;* (b) *p = vi = (3,125)(1,5) = 4,69 W*



# Fig P2-15

16) Para o circuito da figura P2-16, encontre a matriz de incidência para as correntes e para as tensões e mostre que uma matriz é a transposta da outra. Considere o nó 5 como nó de referência.



**Fig. 2-16**

17) Determine as tensões e as correntes nos resistores do circuito representado na figura P1-9. Determine ainda as potências dissipadas em cada resistor e fornecidas pelas fontes.

Diagrama, Esquemático

Descrição gerada automaticamente

**Fig. P2-17**

18) No circuito da figura P2-18, encontrar as tensões e correntes desconhecidas bem como o valor de *R2*. Dado: *v2 =* –*10 V* e *i3 = 2 A*.

Imagem preta e branca de relógio ao fundo

Descrição gerada automaticamente com confiança baixa

Fig. P2-18: Circuito para o problema 18.