CIRCUITOS ELÉTRICOS

1. INTRODUÇÃO

O estudo de circuitos elétricos se divide em circuitos de corrente contínua e circuitos de corrente alternada. Os circuitos de corrente contínua são assim chamados por possuirem uma ou mais fontes de tensão e/ou corrente contínua. Os circuitos de corrente alternada são normalmente alimentados por fontes de tensão e/ou corrente senoidais. O estudo de circuitos de corrente contínua se baseia no cálculo de tensões e correntes em circuitos compostos por associações de resistores e fontes de tensão e/ou corrente contínua.

2. FONTES DE TENSÃO

A fonte de tensão representa o dispositivo que é capaz de fornecer uma diferença de potencial, e permitir que com esta diferença de potencial ocorra o estabelecimento de uma corrente elétrica.

O equivalente no meio hidráulico é representado pela caixa d'água das casas. Esta sempre estará em um lugar mais alto da construção de forma a permitir uma diferença de nível, e portanto garantir que a água seja forçada a passar pelo caminho hidráulico (canos) até o chuveiro, a pia, etc.

Da mesma forma que a diferença de nível, no exemplo anterior é fundamental para forçar a passagem da água, no caso elétrico a diferença de potencial é fundamental para que exista uma circulação de elétrons no caminho elétrico (fiação) até os aparelhos elétricos.

Para garantir que exista uma circulação continuada necessitamos de certos dispositivos elétricos, tais como as pilhas, baterias, alternadores e dínamos, que são capazes de gerar uma diferença de potencial em seus terminais e fornecer elétrons para os equipamentos a eles conectados. Esses aparelhos são chamados de fontes de força eletromotriz, abreviadamente f.e.m (símbolo ε). A unidade de força eletromotriz é o volt.

A seguir é apresentado um exemplo de um circuito elétrico simples.

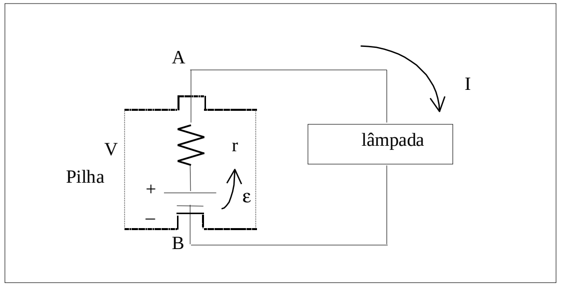


Figura 1

onde,

r - resistência interna da fonte, em ohms
ε - f.e.m, em volts
I - intensidade de corrente em ampères

Pode-se definir uma fonte de f.e.m, como sendo um dispositivo no qual a energia química, mecânica ou de outra natureza, é transformada em energia elétrica. Essa energia acumulada não aumenta, apesar de haver um fornecimento contínuo de energia pela fonte, pois a mesma é dissipada no resistor, sob a forma de calor.

O circuito, onde fontes geradoras e cargas (dispositivos que consomem a energia elétrica) estão associados, de forma que só há um caminho para a corrente percorrer, é denominado circuito simples.

As baterias e pilhas fornecem tensão contínua perfeitamente retificada, ou seja, não há variação da diferença de potencial com o tempo, conforme o gráfico abaixo.

Figura 2

Diferentemente das fontes de energia na forma contínoa são os alternadores, que estão presentes nas usinas hidroelétricas. Estes fornecem tensão alternada e senoidal, conforme o gráfico abaixo.

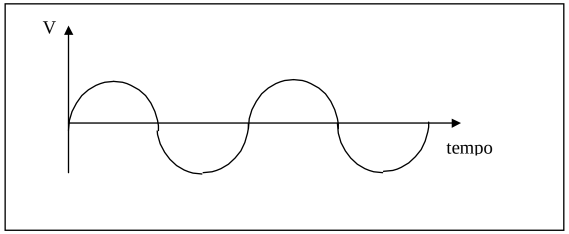


Figura 3

Neste caso, a diferença de potencial varia de forma periódica, apresentando uma parte positiva e uma negativa, donde vem o nome tensão alternada. Esta é a forma de energia elétrica mais encontrada em todos os lugares, pois é a que é fornecida às cidades e ao campo.

3. CORRENTE ELÉTRICA

Determinados materiais, quando são submetidos a uma fonte de força eletromotriz, permitem uma movimentação sistemática de elétrons de um átomo a outro, e é este fenômeno que é denominado de corrente elétrica. Pode-se dizer, então que cargas elétricas em movimento ordenado formam a corrente elétrica, ou seja, corrente elétrica é o fluxo de elétrons em um meio condutor.

É definido por : $i = \Delta Q / \Delta t$ [Coulomb / segundo = ampère = A]

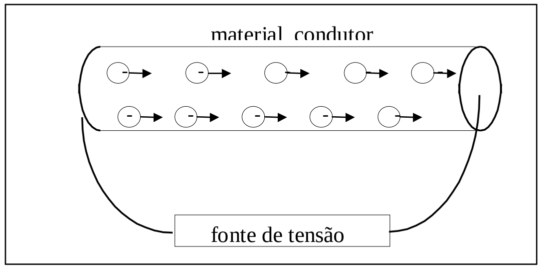


Figura 4 – Fluxo de elétrons em um condutor

Os bons condutores são a prata, cobre, alumínio, ou seja os materiais metálicos, isto porque, normalmente possuem elétrons fracamente presos aos núcleos. O vidro, porcelana, borracha, são exemplos de isolantes, pois possuem os elétrons fortemente presos aos núcleos.

Os condutores metálicos possuem um grande quantidade de elétrons livres. Quando um condutor (fio metálico) é conectado aos terminais de uma pilha (ou gerador), os elétrons livres (elétrons da última camada) são forçados a se movimentar em um sentido, formando a corrente elétrica.

4. RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Ao provocarmos a circulação de corrente por um material condutor através da aplicação de uma diferença de potencial, pode-se observar que, para um mesmo valor de tensão aplicada em condutores de diversos materiais, a corrente possuirá valores diferentes. Isto ocorrerá devido às características intrínsecas de cada material.

Este comportamento diferenciado da corrente, deve-se à resistência elétrica de cada material, que depende do tipo de material do condutor, comprimento, área da seção transversal e da temperatura.

Esta resistência atua como uma dificuldade à circulação de corrente elétrica, ou à circulação de elétrons.

Para haver uma melhor interpretação do fenômeno de resistência, deve-se analisar os aspectos macroscópicos e microscópicos dos diversos materiais.

Os aspectos microscópicos referem-se à estrutura da rede cristalina, do número de elétrons livres do material e a movimentação destes elétrons livres no interior do condutor. Quando os elétrons livres são impulsionados a movimentar devido a ação de uma tensão ocorrerão choques entre os próprios elétrons livres e a rede cristalina, então como efeito disto, ter-se-á uma dificuldade ao deslocamento dos elétrons.

Assim sendo, as características **microscópicas** que influenciam no deslocamento dos elétrons livres são:

- a forma como estão organizados os íons na rede cristalina.
- o espaçamento disponível para o movimento dos elétrons livres.
- sua velocidade média de arrasto.
- número de íons e de elétrons livres disponíveis por unidade de volume.

Os fatores **macroscópicos** são:

- tipo do material que constitui o condutor
- comprimento
- área da sua seção transversal
- temperatura

Todos estes fatores irão caracterizar a resistência elétrica do material.

5. 1ª LEI DE OHM

O estudo da resistência é de grande valia na determinação da potência dos diversos equipamentos elétricos.

A expressão, matemática que permite a obtenção da grandeza resistência é a seguinte:

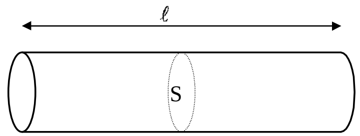
$V = R \cdot I$, ou seja, $R = \frac{V}{I}$, onde

R - é a resistência elétrica, dada em ohms, cujo símbolo é Ω (letra grega ômega).
V - é a tensão elétrica nos terminais do dispositivo, dada em volt, cujo símbolo é V .
I - é a intensidade de corrente que circula pelo dispositivo, dada em ampères, A.

6. 2ª LEI DE OHM

Para determinação da resistência, valendo-se dos parâmetros macroscópicos, tem-se a seguinte expressão conhecida como segunda lei de ohm:

$R = \rho \frac{\ell}{S}$, onde



ρ - (letra grega rô) é a resistividade específica do material dada em ohm multiplicado por metro (Ω.m).
λ - é o comprimento em metros (m).
S - é a área da seção transversal em metros quadrados (m^2).

Através da observação da expressão, pode-se verificar que o valor da resistência é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional a área da seção transversal, em outras palavras, quanto maior o comprimento, maior a resistência. Quanto maior a área da seção transversal, menor a resistência.

TABELA: Resistividades ρ de alguns materiais

MATERIAL	ρ (20º) Ω.m
alumínio	$2{,}8.10^{-8}$
chumbo	$22{,}0.10^{-8}$
cobre	$1{,}7.10^{-8}$
ferro	$10{,}0.10^{-8}$
prata	$1{,}6.10^{-8}$
silício	640
Germânio	≅ 0,5

7. RESISTORES

Resistores elétricos são dispositivos usados em circuitos elétricos, onde se aproveita a sua resistência para servir como carga, ou mesmo como limitador de corrente, sendo que sua resistência ao fluxo de elétrons é devidamente conhecida e medida em ohms (Ω) e simbolizado em circuitos pela letra R.

O termo carga agora passa a representar o dispositivo elétrico capaz de consumir energia elétrica.

Como carga elétrica, os resistores convertem a energia elétrica em calor, como no ferro elétrico, no chuveiro e no forno a resistência, ou em luz como é o caso das lâmpadas incandescentes. Apesar de converter a energia elétrica em energia luminosa, a lâmpada tem um baixo rendimento, isto porque quase que a totalidade da energia fornecida é convertida em calor, um percentual em torno de 90%. E apenas 10% aproximadamente é utilizado como luz.

Todos estes efeitos, podem ser entendidos com uma simples interpretação da lei de ohm, ou seja, V = R.I, onde para alterar o valor da corrente sem modificar valor da tensão, trabalha-se com R.

Exemplo:

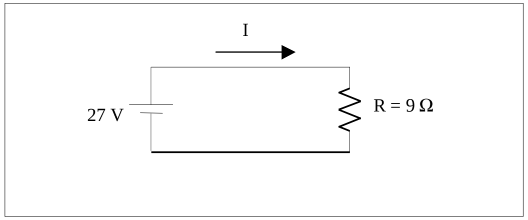


Figura 5 – Exemplo de circuito simples

Pela lei de Ohm, tem-se $I = \frac{V}{R} = \frac{27}{9} = 3\ \text{A}$

Se desejarmos que a lâmpada brilhe com mais intensidade, basta aumentarmos a corrente, portanto devemos substituir R por outro resistor de, por exemplo, 3 Ω, com isto I = 27 / 3 = 9 A, e teríamos o efeito desejado.

8. ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Com o objetivo de controlar as características elétricas de um circuito de corrente contínua, trabalha-se com a associação dos elementos resistivos de forma que a equivalência da associação produza a resistência desejada. Portanto, trabalha-se com três tipos de combinações, a saber:

- associação em série
- associação em paralelo
- associação mista, combinando-se os dois anteriores

a) **Série** - sua característica básica é proporcionar um único caminho à corrente elétrica, ou seja, a corrente que passa por um resistor será a mesma em todos os outros. Como conseqüência de tal característica, tem-se a divisão de tensão no circuito, com cada resistor possuindo o seu valor de tensão e a soma destes valores é igual a tensão da fonte.

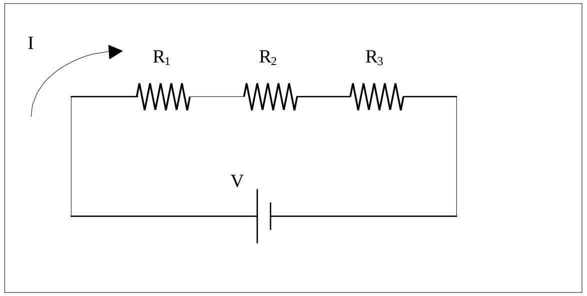


Figura 6 – Associação em série

$V = R_1 . I + R_2 . I + R_3 . I$ (1)

$V = R_T . I$ (2)

Substituindo 2 em 1:

$I . R_T = R_1 . I + R_2 . I + R_3 . I$

$R_T = R_1 + R_2 + R_3$

Neste caso, a resistência total é a simples soma das resistências presentes no circuito e dispostas em série.

b) **Paralelo** - possui como característica básica o fato da tensão sobre cada resistor ser a mesma, igual à da fonte, com isso a corrente em cada resistor dependerá apenas de sua resistência, e a corrente total será igual a soma de todas as correntes. A corrente proveniente da fonte é dividida em várias partes, tantas quantos forem os resistores ligados.

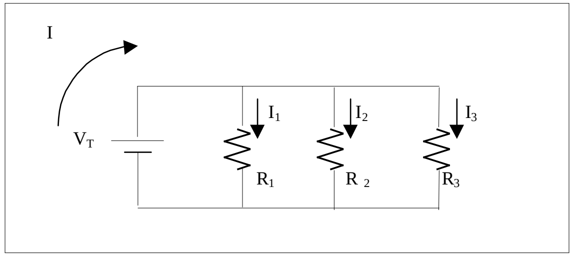


Figura 7 – Associação em paralelo

$V = R_T . I_T = R_1 . I_1 = R_2 . I_2 = R_3 . I_3$ (1)

$$I_1 = \frac{V}{R_1}; \quad I_2 = \frac{V}{R_2}; \quad I_3 = \frac{V}{R_3}; \qquad I = \frac{V}{R_T} \qquad (2)$$

$I = I_1 + I_2 + I_3$ (3)

2 em 3, obtém-se:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_T = \frac{R_1 . R_2 . R_3}{R_1 . R_2 + R_1 . R_3 + R_2 . R_3}$$

Neste caso, a resistência total não é a soma das resistências, apresentando um valor sempre menor que a menor resistência disposta em paralelo.

c) **Mista** - neste caso, há uma combinação dos dois tipos anteriores, resultando em:

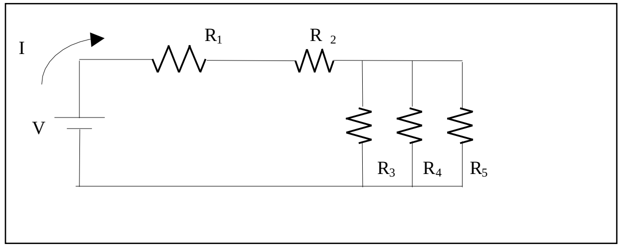


Figura 8 – Associação mista

9 – ENERGIA E POTÊNCIA ELÉTRICA

Todo circuito elétrico é composto por uma fonte e um receptor .
Quando há corrente num circuito, há uma contínua transformação de energia elétrica em outro tipo de energia.

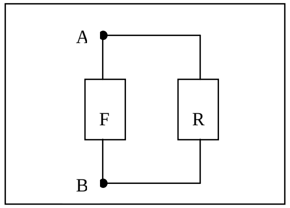


Figura 9 – Fonte e receptor de energia

A fonte transforma qualquer tipo de energia, por exemplo: química, solar, mecânica, eólica, etc., em energia elétrica.
No caso do receptor, este transforma a energia elétrica recebida em outro tipo de energia: térmica, mecânica, química, etc.

A fonte realiza trabalho sobre as cargas da forma:

$dW = dq\ (V_A - V_B) = dq.\ V_{AB}$

Dividindo ambos os membros por dt, temos:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dq}{dt} \cdot V_{AB}$$

onde se calcula a potência extraída da fonte:

$$P = \frac{dw}{dt} \qquad e \qquad i = \frac{dq}{dt}$$

então:

$P = V_{AB} \cdot i$

A energia transferida pode ser escrita por:

$dW = P \cdot dt \quad \Rightarrow \quad E = P \cdot \Delta t$

ou $E = V_{AB} \cdot i.\ \Delta t$

Para o receptor temos:

$P = V_{AB} \cdot i = Ri^2 = V^2/R$

$$E = Ri^2 \cdot \Delta t = \frac{V^2}{R} \cdot \Delta t$$

Exemplo:

Um ebulidor (300W / 120V) é utilizado para aquecer um litro de água, à temperatura inicial de 20ºC. Calcular:

(**A**) resistência do ebulidor

$$P = V.\ i = \frac{V^2}{R}$$

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{120^2}{300} = 48\ \Omega$$

(**B**) Energia elétrica gasta em 15 min (900s) de uso

$E = P.\ \Delta t = 300.900 = 270.000\ J$

Ou pode-se indicar a energia em watts.hora (Wh):

$E = P.h = 300W.0{,}25h = 75Wh.$

(**C**) Supondo um rendimento de 100%, qual a energia necessária para aquecer a água de 20º a 100ºC? Considerando: $c_{H_2O} = 1cal/g^{\circ}C$ e 1 cal = 4,18 J, temos:

$Q = mc\ \Delta\theta = 1000 \cdot 1 \cdot 80 = 80.000\ cal$

ou $Q = 334.400\ J$

(**D**) tempo necessário para esse aquecimento:

$E = Q\ (J) \quad \Rightarrow \quad P.\Delta t = Q(J)$

$300.\ \Delta t = 334.400$

$\Delta t = 1114.6\ s = 18{,}6\ minutos$

10. PREFIXOS NUMÉRICOS

T	= Tera	= 10^{12}	= 1 000 000 000 000
G	= Giga	= 10^{9}	= 1 000 000 000
M	= Mega	= 10^{6}	= 1 000 000
k	= Quilo	= 10^{3}	= 1 000
m	= Mili	= 10^{-3}	= 0,001
µ	= Micro	= 10^{-6}	= 0,000 001
n	= Nano	= 10^{-9}	= 0,000 000 001
p	= Pico	= 10^{-12}	= 0,000 000 000 001

11 – CIRCUITO DE MALHA SIMPLES.

A fim de manter uma corrente elétrica constante em um condutor deve-se ter uma fonte de energia elétrica também constante, sendo que este dispositivo é uma fonte de força eletromotriz (fem) ε, tendo como símbolo:

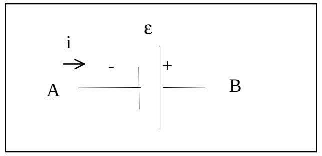


Figura 10

podendo apresentar uma resistência interna r:

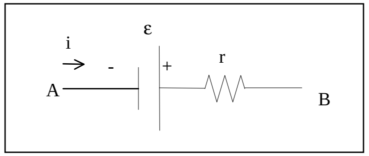


Figura 11

note que a corrente i percorre a fonte no sentido do potencial menor (-) para o maior (+).

A tensão nos seus terminais, é dada por:

$V_{AB} = \varepsilon - ri$

Esta fonte, alimentando um resistor de resistência R, que representa um receptor, forma um circuito de malha simples:

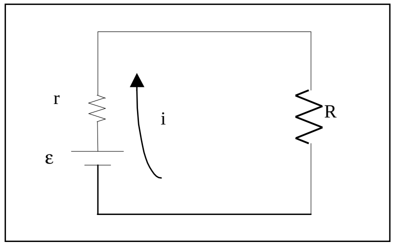


Figura 12

Como a tensão nos terminais da fonte coincide com a tensão do resistor, temos:

$$\varepsilon - ri = R.i \quad \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{r+R}$$

Se a corrente percorrer a fonte no sentido contrário, a tensão em seus terminais será dada por:

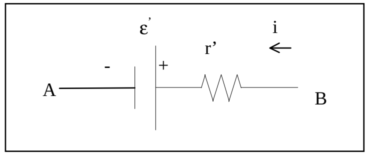


Figura 13

$V_{AB} = \varepsilon' - r'i$

Exemplo:
Uma resistência de 5 Ω está ligada a uma bateria de 6 V e resistência interna de 1 Ω. Calcular a corrente do circuito e a ddp nos terminais da bateria.

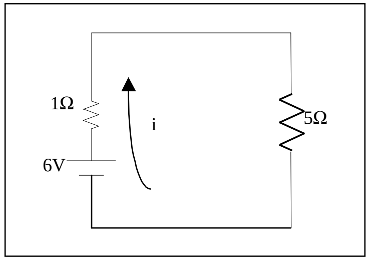


Figura 14

$$i = \frac{6}{1+5} = 1 \quad A$$

$$V = \varepsilon - ri = 6 - 1 \cdot 1 = 5$$

Exemplo:
Uma bateria de fem 18V e r = 2Ω, alimenta dois resistores de 12Ω e 6Ω em paralelo. Calcular:

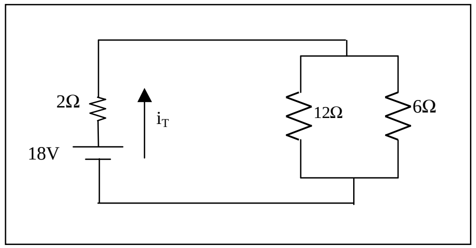


Figura 15

(**A**) corrente do circuito i_T e tensão nos terminais da bateria.

Primeiramente esse circuito deve ser transformado em uma única malha, ou seja:

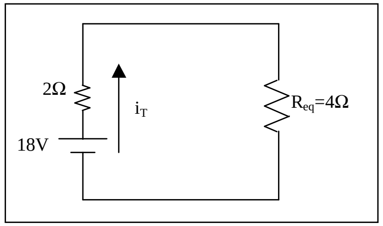


Figura 16

$$R_{eq}\frac{12\cdot 6}{18}=4\Omega$$

$$i_T=\frac{18}{2+4}=3A$$

(**B**) corrente em cada resistor:

A tensão nos terminais dos resistores de carga será:

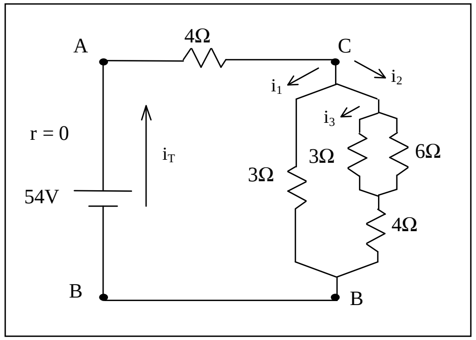
$V = \varepsilon - r.i_T = 18 – 2.3 = 12V$

Pela Lei de Ohm, temos: $V = Ri \Rightarrow i=\frac{V}{R}$

$i_1 = \frac{12}{12} = 1\ A$

$i_2 = \frac{12}{6} = 2\ A$

Exemplo: Calcular a corrente elétrica em cada resistor.



(1)

Figura 17 – Exemplo de circuito misto

Inicialmente, o circuito deve ser reduzido a uma malha simples, da forma

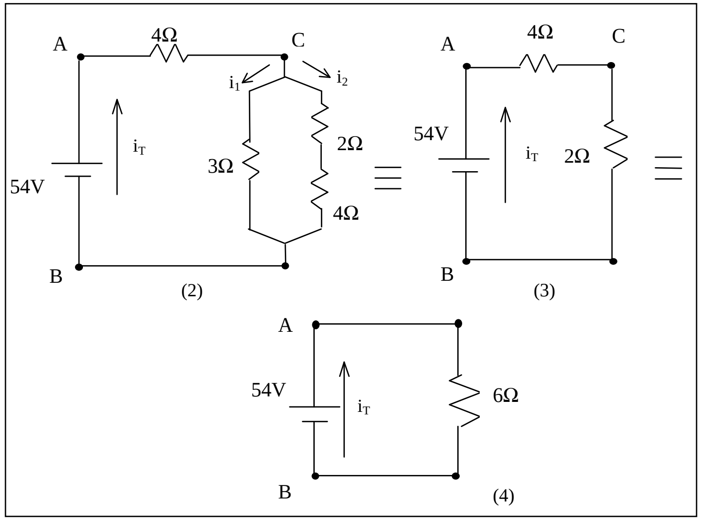


Figura 18 – solução de circuito misto

Através do circuito (4) pode-se calcular a corrente total:

$$i_T=\frac{V_{AB}}{R_{eq}}=\frac{54}{6}=9\ \text{A}$$

Através do circuito (3) pode-se calcular a ddp V_{CB} no paralelo e as correntes nos ramos do paralelo (circuito 2).

$V_{CB} = 2\ .\ 9 = 18V$

$i_1 = \frac{18}{3} = 6\ A$

$i_2 = \frac{18}{6} = 3\ A$

finalmente calcula-se i_3:

$V_3 = V_{CB} – i_2.4\Omega = 18 – 3.4 = 6V;$

$$i_3=\frac{V_3}{3\Omega}=\frac{6}{3}=2A$$

12 – CIRCUITOS DE VÁRIAS MALHAS – REGRAS DE KIRCHHOFF

Quando um circuito simples não pode ser analisado pela substituição dos resistores por resistores equivalentes as ligações em série e paralelo, temos então, um circuito de várias malhas. Por exemplo:

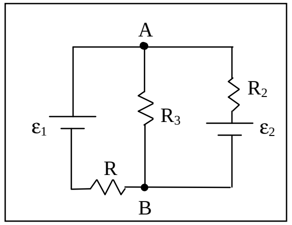


Figura 19 – Circuito elétrico de duas malhas

Analisando-se o circuito acima, pode-se observar que os resistores não estão em paralelo, pois duas fontes de fem ε_1e ε_2 estão intercaladas entre elas.

Para a solução destes circuitos é necessário se definir:

nó: ponto do circuito onde a corrente se divide em duas ou mais co rrentes - nó A e nó B.

ramo: setor do circuito que une dois nós – este circuito é composto por 3 ramos.

malha: é fechada e composta por ramos – este circuito é composto por 3 malhas, ou seja:

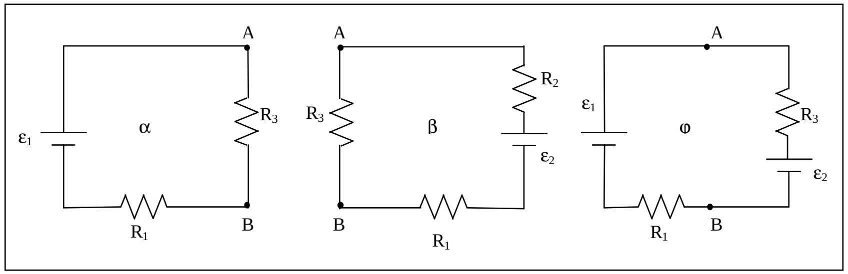


Figura 20 – Malhas do circuito da figura 19

Duas regras, denominadas regras de Kirchhoff, se aplicam nesse circuito para sua solução:

1ª Regra dos nós.

A somatória das correntes que atravessam um nó é nula. Por exemplo, as correntes que chegam ao nó são somadas e as que saem são subtraídas.

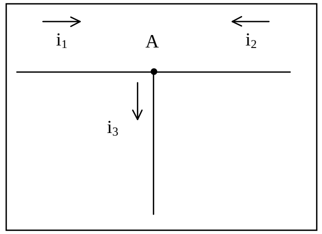


Figura 21

$\Sigma i_A = i_1 + i_2 - i_3 = 0$

Para o nó B:

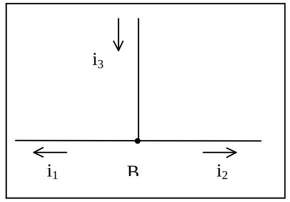


Figura 22

$\Sigma i_B = -i_1 - i_2 + i_3 = 0$ (1)

Note que as correntes podem ser colocadas de forma arbitrária. A do nó B, e um circuito de vários nós, essa regra é válida para (n-1) nó.

2ª Regra das malhas:

Quando se percorre uma malha fechada num sentido arbitrário, as variações de ddp tem a soma algébrica igual a <u>zero</u>. Para tanto, deve-se convencionar:

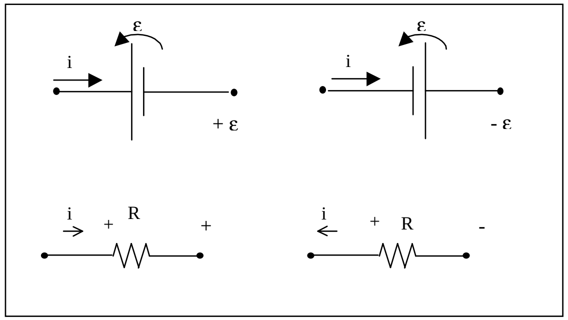


Figura 23

Portanto para a malha α ,temos:

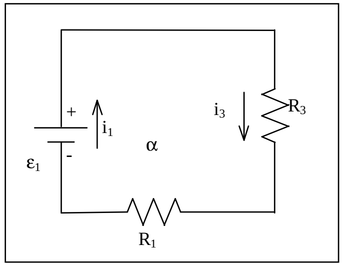


Figura 21 – malha α

$$+R_3 i_3 + R_1 i_1 - \varepsilon_1 = 0 \qquad (2)$$

Para a malha β, temos:

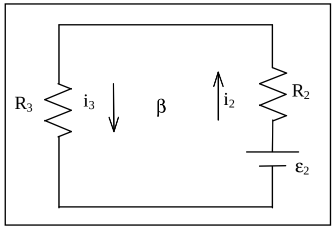


Figura 22 – malha β

$$-R_2 i_3 + \varepsilon_2 - R_3 i_3 - = 0 \qquad (3)$$

Para a malha γ, temos:

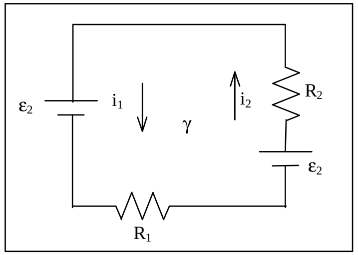


Figura 23 – malha γ

$$+R_1 i_1 - \varepsilon_1 - R_2 i_2 + \varepsilon_3 = 0 \qquad (4)$$

Através das equações (1), (2), (3), e (4) obtidas pelas regras de Kirchhoff, pode-se resolver circuitos de várias malhas.

Exemplo: Calcular a corrente em cada ramo do circuito.

Supondo fem 18V e 21V, as corrente i_1 e i_2 terão seu sentido do potencial menor para o maior. A corrente i_3, arbitrariamente será colocada no sentido indicado nas figuras 21 e 22.

Pode-se observar, que no circuito temos os nós C e A, os ramos ABC, CA e CD e A , e as malhas ABCA, CDEAC e ABCDEA.

Pela regra dos nós, temos:

Nó C: $i_1 - i_2 - i_3 = 0$ (1)

Pela regra das malhas, e as percorrendo em sentido arbitrário, temos:

malha α: $-18 + 12i_1 + 6i_3 = 0 \Rightarrow 2i_1 + i_3 = 3$ (2)
malha β: $3i_2 - 21 + 2i_2 - 6i_3 = 0 \Rightarrow 5i_2 - 6i_3 = 21$ (3)

Como temos três incógnitas i_1, i_2 e i_3, três equações (1), (2) e (3) podem solucionar o problema.

$i_1 - i_2 - i_3 = 0$ (1)
$2i_1 + i_3 = 3$ (2)
$5i_2 - 6i_3 = 21$ (3)

Resolvendo pelo método de substituição, temos:

De (2): $i_1 = \dfrac{3 - i_3}{2}$

De (3): $i_2 = \dfrac{21 + 6i_3}{5}$

Substituindo em (1):

$$\frac{3 - i_3}{2} - \left(\frac{21 + 6i_3}{5}\right) - i_3 = 0 \qquad (x10)$$

$$5(3 - i_3) - 2(21 + 6i_3) - 10i_3 = 0$$

$$15 - 5 - i_3 - 42 - 12i_3 - 10i_3 = 0$$

$$-27i_3 - 27 = 0 \Rightarrow i_3 = -1 \text{ A}$$

$S(3 - i_3) - 2(21 + 6i_3) - 10i_3 = 0$
$15 - 5i_3 - 42 - 12i_3 - 10i_3 = 0$
$-27i_3 - 27 = 0 \rightarrow i_3 = -1\text{A}$

Substituindo em (2) e (3):

$i_1 = 2$ A
$i_2 = 3$ A

O sinal negativo da corrente i_3, mostra que o seu sentido no ramo do circuito é contrário ao estabelecido inicialmente.

Uma forma de verificar a solução de um problema de circuitos é atribuir a um ponto do circuito o potencial zero e determinar o potencial dos outros pontos, através da lei de Ohm.

Refazendo o circuito e atribuindo ao ponto D, $V_D = 0$, temos:

$V_E = 21V$, $V_A = 15V$ (21V – 6V)
$V_B = 33V$ (15V + 18V)
$V_C = 9V$ (33V – 24V)

13. TEOREMA DE THÉVENIN

De vez em quando, alguém pratica uma grande investida em engenharia e leva todos nós a um novo nível. M.L. Thevenin causou um desses saltos quânticos ao descobrir um teorema de circuito que hoje é chamado Teorema de Thévenin. O Teorema de Thévenin é muito importante e muito útil para quem vai verificar os defeitos, analisar projetos ou estudar circuitos eletrônicos.

IDEIA BÁSICA

Suponha que alguém lhe entregue o diagrama esquemático dado na figura 24a e lhe peça para calcular a corrente de carga para cada um dos seguintes valores de R_L: 1,5kΩ, 3 kΩ e 4,5 kΩ. Uma solução baseia-se na associação de resistências em série e em paralelo para obter a resistência total vista pela fonte; a seguir você calcula a resistência total e determina a carga dividindo a corrente até encontrar a corrente de carga. Depois de calcular a corrente de carga para 1,5 kΩ, você pode repetir todo o processo cansativo para 3kΩ e para 4,5 kΩ.

Uma outra aproximação é através da solução simultânea das equações de Kirchhoff para as malhas. Admitindo que você saiba resolver quatro equações simultâneas para as malhas, pode se encaminhar para a resposta no caso da resistência de carga de 1,5 kΩ. A seguir você precisa repetir o processo para as resistências de 3 kΩ de 4,5 kΩ. Depois de meia hora (mais ou menos), você terá obtido as três correntes de carga.

Suponha por outro lado, que alguém lhe peça para obter as correntes de carga da figura 24b, dadas as resistências de carga de 1,5kΩ, 3kΩ e 4,5kΩ. Mais depressa do que se possa usar uma calculadora, você pode mentalmente calcular uma corrente de carga de

$$I_L = \frac{9\,V}{3\,k\Omega} = 3\,mA$$

para uma resistência de carga de 1,5 k Ω. Você também pode calcular correntes de carga de 2 mA para 3 kΩ e 1,5 mÁ para 4,5 kΩ.

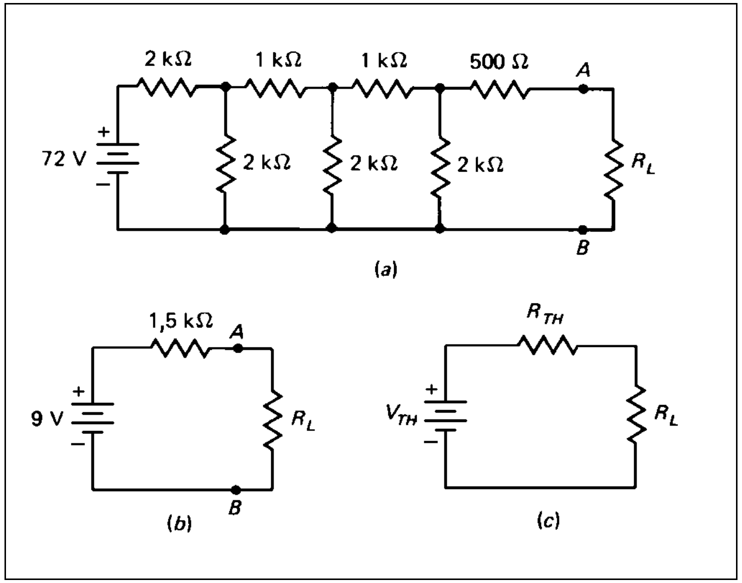


Figura 24 (a) Quatro malhas, (b) Uma malha, (c) Circuito de Thevenin.

Por que o segundo circuito é tão mais fácil de ser resolvido do que o primeiro? Porque possui apenas uma malha, comparado com as quatro malhas do primeiro. Qualquer um pode resolver um problema com uma malha, pois tudo que ele precisa é da lei de Ohm.

E aí que entra o teorema de Thevenin. Ele descobriu que qualquer circuito formado por múltiplas malhas, como o da figura 24a, pode ser reduzido a um circuito constituído por uma única malha como o da figura 24b. Você pode ter problemas com um determinado circuito, mas mesmo esse circuito pode ser reduzido a um circuito com uma única malha. É por isso que os técnicos e os engenheiros com muita prática gostam tanto do teorema de Thevenin: ele transforma os circuitos grandes e complicados em circuitos simples de uma única malha, como o circuito equivalente da fig. 24c.

A idéia básica é que sempre que você estiver procurando a corrente de carga num circuito com mais de uma malha, pense no Thevenin, ou pelo menos o considere como uma possível saída. Com mais freqüência do que você imagina, o teorema de Thevenin se mostrará como o caminho mais eficiente para se resolver o problema, especialmente se a resistência de carga assumir vários valores.

Neste livro, thevenizar significa aplicar o teorema de Thevenin a um circuito, isto é, reduzir um circuito com múltiplas malhas com uma resistência de carga a um circuito equivalente formado por uma única malha com a mesma resistência de carga. No circuito equivalente de Thevenin, o resistor de carga vê uma única resistência da fonte em série com uma fonte de tensão. O que pode facilitar mais sua vida do que isto?

TENSÃO THEVENIN

Lembre-se das seguintes idéias a respeito do teorema de Thevenin: a tensão Thevenin é aquela que aparece através dos terminais ligados à carga quando você abre o resistor de carga. Por essa razão, a tensão Thevenin é às vezes chamada tensão de circuito aberto ou tensão de carga aberta.

RESISTËNCIA THEVENIN

A resistência Thevenin é a resistência que se obtém olhando para os terminais da carga quando todas as fontes foram reduzidas a zero. Isto significa substituir as fontes de tensão por curto-circuitos e as fontes de corrente por circuitos abertos.

ANALISANDO UM CIRCUITO MONTADO

Quando um circuito com várias malhas já estiver pronto, você pode medir a tensão Thevenin da forma apresentada a seguir.

Abra fisicamente o resistor de carga desligando uma de suas extremidades, ou retirando-o completamente do circuito; a seguir use um voltímetro para medir a tensão através dos terminais da carga. A leitura que você obtiver será a tensão Thevenin (admitindo que não haja erro devido ao carregamento do voltímetro).

Meça, então, a resistência Thevenin da seguinte forma: reduza todas as fontes a zero. Isto, fisicamente, significa substituir as fontes de tensão por curto-circuitos e abrir ou remover as fontes de corrente. A seguir use um ohmímetro para medir a resistência entre os terminais onde será ligada a carga. Esta é a resistência Thevenin.

Como exemplo, suponha que você tenha montado precariamente a ponte de Wheatstone desequilibrada que aparece na figura 25a. Para thevenizar o circuito, você abre fisicamente a resistência de carga e mede a tensão entre A e B (os terminais da carga). Supondo que não haja erro na medida, você lerá 2V. A seguir, substitua a bateria de 12 V por um curto-circuito e meça a resistência entre A e B; você deve ler 4,5 kΩ. Agora você pode desenhar o equivalente Thevenin da figura 25b. Com ele, você pode fácil e rapidamente calcular a corrente de carga para qualquer valor de resistência de carga.

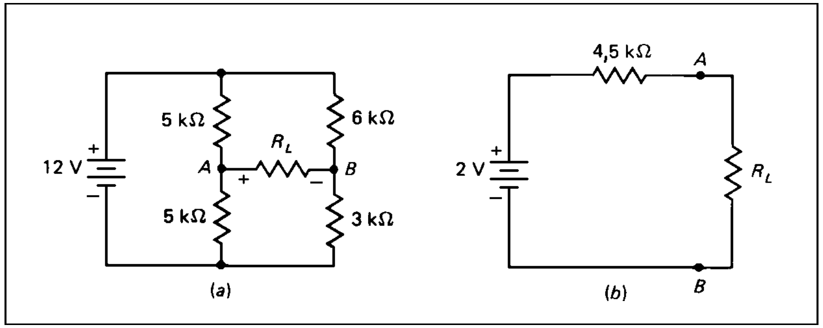


Figura 25 (a) Ponte de Wheatrtone. (b) O equivaiente Thevenit

ANALISANDO OS ESQUEMAS

Se o circuito não estiver montado, você precisará usar sua cabeça no lugar do VOM

(medidor de volt-ohm; tensão-resistência) para determinar a resistência e a tensão Thevenin. Dada a ponte de Wheatstone desequilibrada da figura 25a, você abre mentalmente o resistor de carga. Se você estiver visualizando corretamente, verá então um divisor de tensão do lado esquerdo e um divisor de tensão do lado direito. O da esquerda produz 6 V, e o da direita produz 4 V, como mostra a figura 25b. A tensão Thevenin é a diferença entre essas duas tensões, que é de 2 V. Substitua, a seguir, mentalmente a bateria de 12V por um curto-circuito para chegar à figura 2b. Redesenhando o circuito, você obtém os dois circuitos paralelos dados na fig. 25c. Agora fica fácil de calcular mentalmente a resistência Thevenin de 4,5 kΩ.

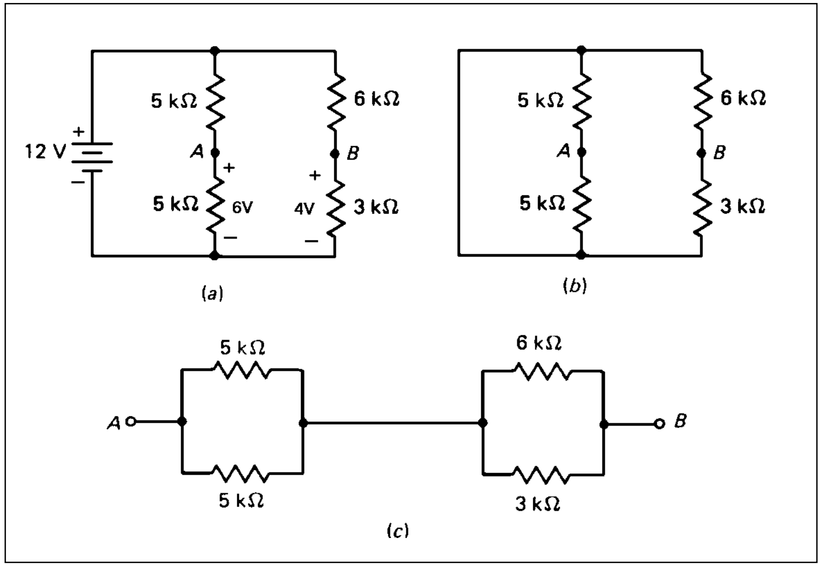


Figura 25. Cálculo da resistência e da tensão Thevenin

14. TEOREMA DE NORTON

O teorema de Norton leva apenas alguns minutos para ser revisto porque ele está muito relacionado com o teorema de Thevenin. Dado um circuito Thevenin como o da figura 26a, o teorenn de Norton afirma que você pode substitui-lo pelo circuito equivalente da figura 26b. O Norton equivalente tem uma fonte ideal de corrente em paralelo com a resistência da fonte. Observe que a fonte de conente produz uma corrente fixa VTH/RTH; observe ainda que a resistência da fonte tem o mesmo valor que a resistência Thevenin.

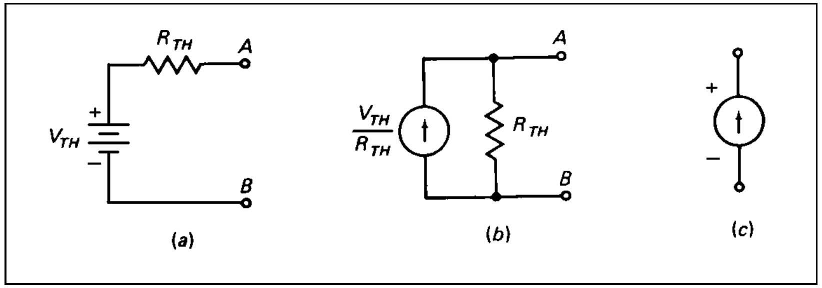


Figura 26 (a) Circuito Thevenin (b) Circuito Norton.

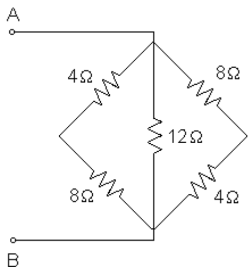
15. EXERCÍCIOS

1. Se por uma secção transversal de um fio condutor passam 10 Coulombs em 20 s, a intensidade de corrente elétrica no fio é de:
   A. 2 A
   B. 10 A
   C. 200 A
   D. 0,5 A

2. Um fio de cobre tem seu comprimento quadruplicado, enquanto o raio de sua secção transversal cai à metade. Pode-se dizer que:
   A. sua resistência dobra
   B. sua resistência cai à metade
   C. sua resistência aumenta 8 vezes
   D. sua resistência aumenta 16 vezes

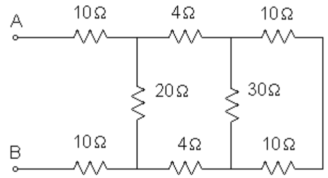
3. A resistência equivalente entre os pontos A e B da associação de resistores dada abaixo, é de:

   A. 36 Ω
   B. 4 Ω
   C. 12 Ω
   D. 0

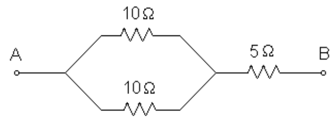


4. A resistência equivalente nos terminais A e B da associação, é de:

   A. 30 Ω
   B. 120/11 Ω
   C. 29 Ω
   D. 38 Ω



5. A associação de resistores é alimentada por 120V. Calcular a corrente elétrica em cada resistor.



Uma lâmpada tem como valores nominais (110V - 220W). Responda as questões 11, 12 e 13.

6.A corrente elétrica que percorre a lâmpada é de:
   A. 1 A
   B. 2 A
   C. 3 A
   D. 4 A

7.A resistência elétrica da lâmpada é de:
   A. 5 Ω
   B. 55 Ω
   C. 550 Ω
   D. 10 Ω

8.A energia elétrica gasta por essa lâmpada em 2 h é de:
   A. 110 wh
   B. 220 wh
   C. 5000 wh
   D. 440 wh

Uma resistência de 2 Ω é mergulhada em 50 g de água a 20ºC. Submete-se esse resistor a uma tensão de 10V. Responda as questões 15, 16, 17 e 18.

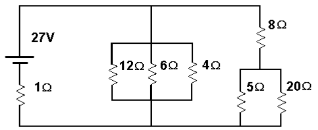
9.A intensidade da corrente elétrica no resistor é de:
   A. 20 A
   B. 0,2 A
   C. 5 A
   D. 0,5 A

10.A potência elétrica dissipada no resistor é:
   A. 10 w
   B. 200 w
   C. 50 w
   D. 20 w

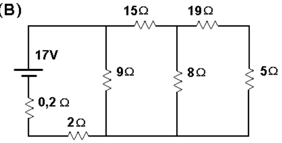
11.A energia elétrica, em Jouler, que o resistor consome em 5 minutos é:
   A. 3000 J
   B. 60000 J
   C. 15000 J
   D. 260 J

12.Determinar a intensidade da corrente em cada resistor dos circuitos abaixo:

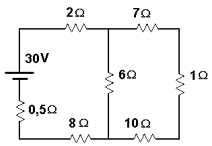
(A)



(B)

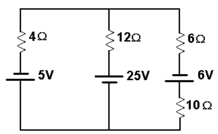


(C)

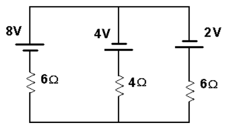


13. Nos circuitos abaixo, calcular as correntes nos ramos:

(A)



(B)



14. Utilizando o circuito da figura **B** do exercício 12, calcular a tensão e a corrente através do resistor de 5 Ω utilizando o teorema de Thevenin. Substitua este resistor por outro de 2Ω e calcule sua tensão e sua corrente. Faça o mesmo para um resistor de 6Ω colocado no lugar do resistor de 5Ω.

15. Utilizando o circuito da figura **C** do exercício 12, calcular a tensão e a corrente através do resistor de 1 Ω utilizando o teorema de Thevenin. Substitua este resistor por outro de 2Ω e calcule sua tensão e sua corrente. Faça o mesmo para um resistor de 8Ω colocado no lugar do resistor de 1Ω.

16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R.O. **Análise de Circuitos em Corrente Contínua**. 7.ed. São Paulo: Érica. 1987. 176 p.

GUSSOW, M. **Eletricidade Básica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985. 566 p.

MALVINO, A.P. **Eletrônica**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1986. 526 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física 3** . 3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983. 322 p.

TUCCI, W.J.; BRANDASSI, A.E. **Circuitos Básicos em Eletricidade e Eletrônica**. 3.ed. São Paulo: Editora Nobel, 1984. 416 p.