

## Geradores Elétricos

Para que um circuito elétrico funcione, é preciso que seja fornecida energia potencial elétrica para as cargas que ficam livres dentro dos condutores que o integram. O elemento responsável para ceder essa energia potencial elétrica para as cargas denomina-se gerador elétrico.

A função básica de um gerador elétrico é converter energia de outras formas em energia elétrica. Como exemplos estão citados aqui alguns tipos de energia que podem ser convertidas em energia elétricas: energia eólica, energia térmica, energia mecânica, energia química etc.

Com certeza, você conhece muito bem alguns tipos de geradores que usam a conversão de energia química em energia elétrica, são eles: pilhas e baterias.

A anatomia de um gerador é a seguinte, possui dois polos, um sendo positivo e que corresponde ao maior potencial elétrico, e outro sendo negativo e que corresponde ao de menor potencial elétrico. O gerador elétrico possui em seu interior, uma resistência muito pequena que se denomina resistência interna. Para representar esse elemento em um circuito elétrico usa-se o seguinte símbolo.

Onde:  $E$  = força eletromotriz do gerador  
 $r$  = resistência interna do gerador

Do ponto de vista matemático, o gerador elétrico possui algumas características:

### **1 - A potência fornecida pelo gerador ao circuito elétrico:**

$$P = U \cdot i$$

Onde:  $P$  = potência fornecida  
 $U$  = diferença de potencial entre os polos do gerador  
 $i$  = corrente elétrica

### **2 - A potência elétrica dissipada pelo gerador:**

$$P_d = r \cdot i \cdot i$$

Onde:  $P_d$  = potência dissipada pelo gerador  
 $r$  = resistência interna do gerador  
 $i$  = corrente elétrica

### **3 - Potência total fornecida pelo gerador:**

$$P_g = E \cdot i$$

Onde:  $P_g$  = potência total gerada  
 $E$  = força eletromotriz  
 $i$  = corrente elétrica

#### 4 - O rendimento do gerador:

$$N = P/P_g$$

Onde: N = rendimento, dado em porcentagem

P = potência fornecida

$P_g$  = potência total gerada

Fazendo as substituições de equações, chega-se que o rendimento de um gerador elétrico é dado por:

$$N = U/E$$

Onde: U = tensão elétrica

E = força eletromotriz

#### 5 - A equação característica de um gerador:

$$U = E - r.i$$

Onde: U = tensão elétrica

E = força eletromotriz

r = resistência interna do gerador

i = corrente elétrica do gerador

Quando ligado a qualquer circuito, devido a sua diferença de potencial existente entre os dois polos, o gerador então irá ceder energia potencial elétrica para as cargas livres dos elementos do circuito, feito isso as cargas irão percorrer todos os elementos do circuito criando assim um fluxo de cargas elétricas que se denomina corrente elétrica.

**Se ligado a apenas um fio de resistência interna muito pequena, a tensão elétrica existente tenderá para o valor nulo, logo criará no condutor uma corrente que seria a corrente máxima que o gerador pode fornecer, essa corrente máxima é denominada como corrente de curto-circuito e é representada por  $i_{cc}$ . É por isso que você não deve ligar geradores em apenas condutores de resistência baixas. Isso é muito perigoso e pode danificar seu gerador e principalmente causar danos a sua saúde.**

#### Receptores Elétricos

Das necessidades humanas e da análise de circuitos elétricos, existe um tipo de elemento muito importante de se tratar separadamente. Esse elemento é denominado receptor elétrico.

Ao contrário dos geradores elétricos que transformam qualquer tipo de energia em essencialmente energia elétrica, os receptores elétricos fazem o processo contrário, no entanto possuem como função básica a transformação de energia elétrica em qualquer

tipo de energia não elétrica e que não seja apenas energia térmica, pois tais elementos que fazem apenas essa transformação são denominados resistores.

Um esquema pode servir para entender melhor o conceito de receptores elétricos:



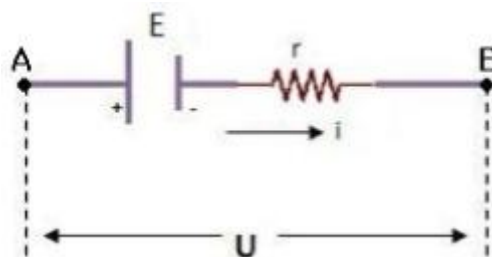
Como exemplos práticos e concretos, podem ser citados alguns tipos de receptores elétricos que fazem o processo de transformar energia elétrica em energia mecânica como: liquidificador, ventilador, batedeira e etc.

Na prática vale a pena entender que a energia elétrica não será totalmente transformada em outro tipo apenas, pois uma fração menor dessa energia irá se transformar em energia térmica devido a presença da resistência interna  $r$  e do efeito joule. Já a outra grande parte se transformará em outro tipo de energia que se queira obter.



A estrutura de um receptor elétrico é basicamente a mesma de um gerador elétrico com apenas uma diferença. Os receptores possuem polos trocados, ou seja, a corrente elétrica entra pelo polo positivo e sai pelo polo negativo. Em termos de análise de circuitos, os receptores podem ser entendidos como sendo um gerador de polos trocados.

Uma representação de receptor está ilustrada abaixo:



Onde:  $E$  = força contra eletromotriz  
 $i$  = corrente elétrica

$r$  = resistência interna

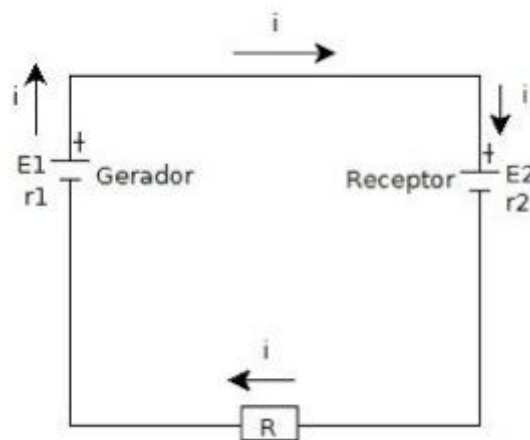
$U$  = tensão elétrica entre os pontos A e B

É preciso entender de onde vem a energia elétrica que será transformada em outro tipo de energia. Sabe-se que os geradores transformam energia de qualquer tipo em energia elétrica para o circuito, logo essa energia elétrica que será transformada pelo receptor só poderá vir dos geradores. Então, uma conclusão importante pode ser tirada.

**CONCLUSÃO:**

Os receptores só funcionam se estiver associado a eles um gerador que fornecerá a energia elétrica que será convertida em outra forma de energia.

Um esquema de associação de gerador, receptor está indicado abaixo.



Como os receptores possuem polos trocados em relação aos geradores, a diferença de potencial entre seus polos é denominada força contra eletromotriz. E então como nos geradores pode-se pensar na equação característica de um receptor elétrico.

Matematicamente a equação que rege esses elementos pode ser equacionada da forma:

$$U = E' + r'.i$$

Onde:  $U$  = tensão elétrica

$E'$  = força contra eletromotriz

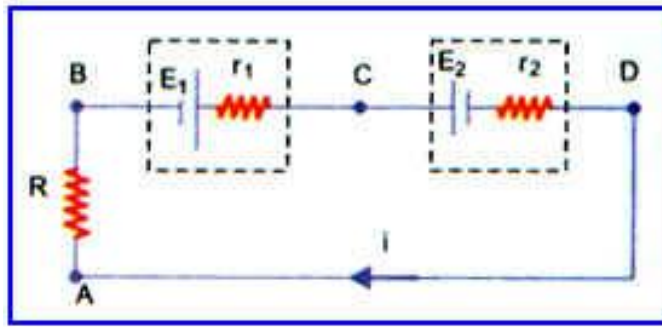
$r'$  = resistência interna do receptor

$i$  = corrente elétrica

Lei de Kirchhoff – Exercícios

### Questão 01

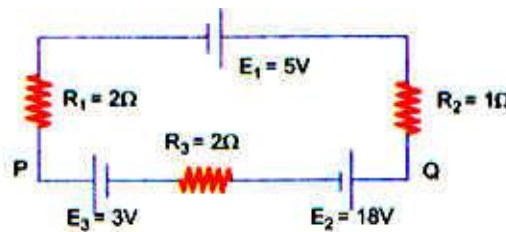
(UFPA) No circuito abaixo,  $I = 2A$ ,  $R = 2\Omega$ ,  $E_1 = 10V$ ,  $r_1 = 0,5\Omega$ ,  $E_2 = 3,0V$  e  $r_2 = 1,0\Omega$ . Sabendo que o potencial no ponto A é de 4V, podemos afirmar que os potenciais, em volts, nos pontos B, C e D são, respectivamente:



- a) 0,9 e 4
- b) 2,6 e 4
- c) 8,1 e 2
- d) 4,0 e 4
- e) 9,5 e 2

**Questão 02**

(UFSC) Considere o circuito da figura abaixo, onde estão associadas três resistências ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) e três baterias ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ) de resistência internas desprezíveis:

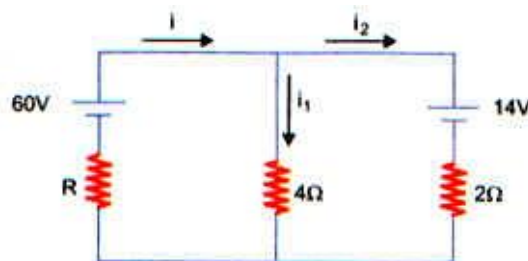


Um voltímetro ideal colocado entre Q e P indicará:

- a) 11V
- b) 5V
- c) 15V
- d) 1V
- e) zero

**Questão 03**

(MACKENZIE)



No circuito acima, o gerador e o receptor são ideais e as correntes têm os sentidos indicados. Se a intensidade da corrente  $i_1$  é 5A, então o valor da resistência do resistor R é:

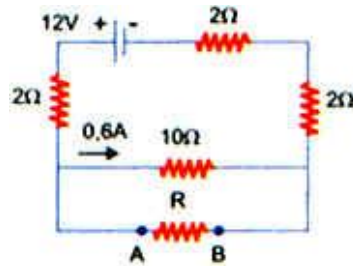
- a) 8Ω
- b) 5Ω
- c) 4Ω

d)  $6\Omega$

e)  $3\Omega$

### Questão 04

(CESESP-PE) No circuito a seguir, o valor em ohms da resistência  $R$ , que deve ser colocada entre os pontos A e B para que circule no resistor de  $10\Omega$  uma corrente de  $0,6A$ , é:



a) 10

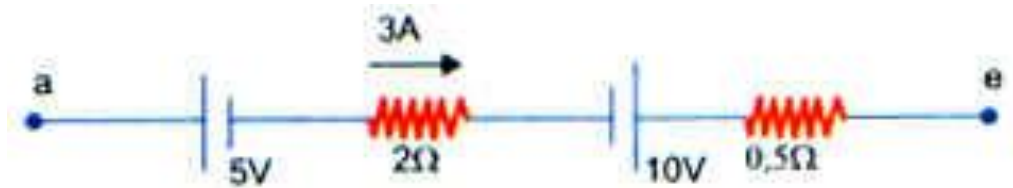
b) 6

c) 15

d) 20

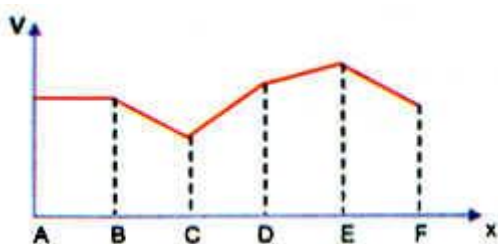
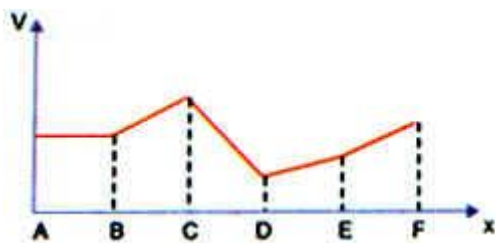
e) 12

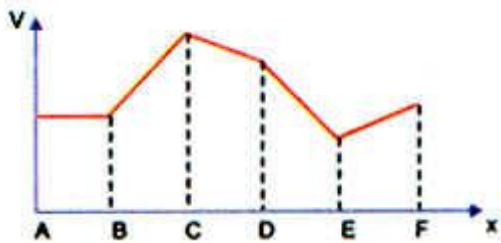
### Questão 05



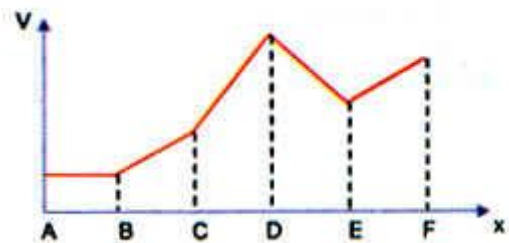
(FATEC – SP) Certo trecho de um circuito, por onde passa uma corrente elétrica  $i$ , está representado com os símbolos de seus elementos.

O potencial elétrico entre os terminais dos diversos elementos pode ser representado por:

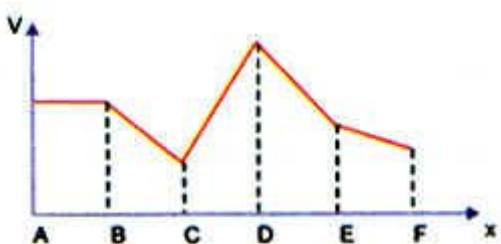




c)



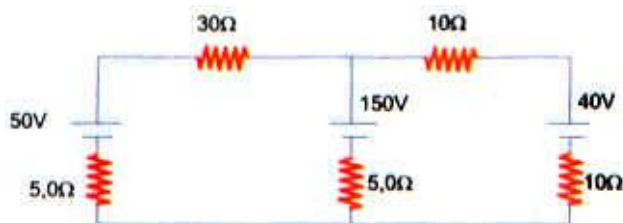
d)



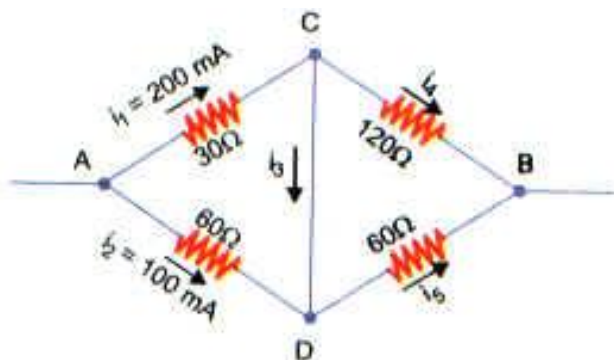
e)

### Questão 06

- Para o circuito abaixo, determine a intensidade da corrente em cada ramo.



### Questão 07

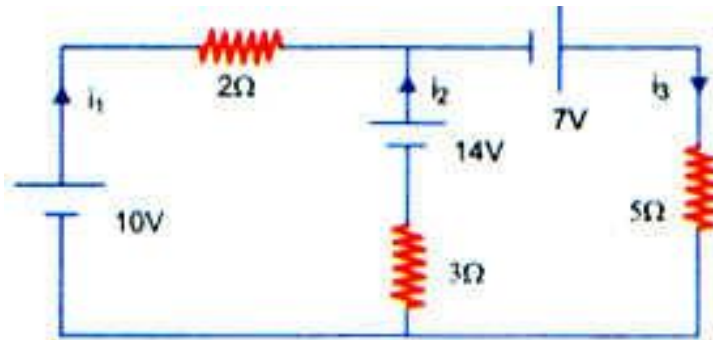


(FEI) No trecho do circuito dado abaixo, os valores em miliampere das correntes  $i_3$ ,  $i_4$ ,  $i_5$  são respectivamente:

- a) 0, 200, 100
- b) 100, 100, 200
- c) -100, 300, 0
- d) 200, 0, 300
- e) -200, 400, -100

**Questão 08**

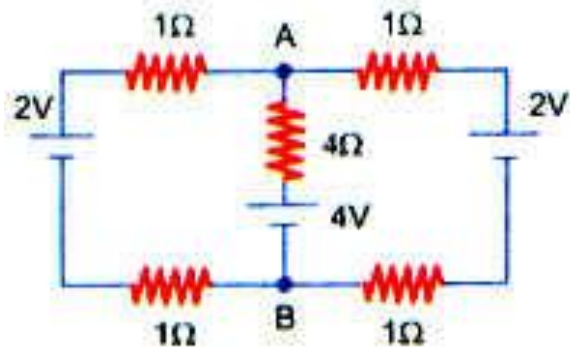
(UNISA) No circuito abaixo, as intensidades das correntes  $i_1$ ,  $i_2$  e  $i_3$ , em ampères, valem, respectivamente:



- 1,0; 2,5; 3,0
- 1,0; 1,5; 2,0
- 1,0; 2,0; 2,5
- 1,0; 2,0; 3,0
- 2,0; 3,0; 1,0

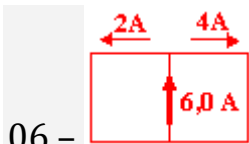
**Questão 09**

Determine a ddp entre os pontos A e B do circuito abaixo.



Respostas das questões:

01 A	02 A	03 B	04 C
07 B	08 D		





**Exercícios Propostos LEIS DE KIRCHHOFF****Pilhas e Baterias**

Pilhas e baterias separam cargas elétricas através de reações químicas. Se a carga é removida de alguma forma, a bateria separa mais cargas, transformando energia química em energia elétrica.

Uma bateria pode produzir cargas, por exemplo, para forçá-las através do filamento de uma lâmpada incandescente. Sua capacidade para realizar trabalho por reações elétricas é medida em Volt, unidade nomeada por Volta. Um volt é igual a 1 joule de trabalho ou energia por cada Coulomb de carga. A capacidade elétrica de uma bateria para realizar trabalho é denominada Força Eletromotriz, ou fem.

Em experimentos com o que ele chamava de eletricidade atmosférica, Galvani descobriu que uma perna de rã poderia se contrair quando presa por um gancho bronze em uma treliça de aço. Outro italiano, Alessandro Volta, um professor da Universidade de Pavia, afirmou que o bronze e o aço, separados por um tecido úmido de rã, geravam eletricidade, e que a perna de rã era apenas um detector.

Em 1800, Volta conseguiu amplificar o efeito pelo empilhamento de placas feitas de cobre, zinco e papelão úmido respectivamente e fazendo isto ele inventou a bateria.

**Classificação dos geradores quanto ao tipo**

Todos os geradores eletroquímicos desenvolvidos com base na pilha de Volta são constituídos essencialmente de dois eletrodos e um eletrólito, mesmo que sejam diferentes entre si por muitas outras características. Dependendo do trabalho que desenvolvem e de suas propriedades específicas, os geradores eletroquímicos podem ser classificados em dois grupos:

- Geradores eletrolíticos primários que não podem ser recarregados;
- Geradores eletrolíticos secundários recarregáveis.

Os geradores eletrolíticos primários são aqueles que produzem um único processo de descarga, pois suas reações químicas internas são irreversíveis. Dessa maneira, no final de um determinado período de uso, o gerador se esgota, pois seus componentes internos se degradam completamente.

Os geradores primários simples são chamados pilhas. Ao conjunto de duas ou mais pilhas (ou células) e aos geradores do segundo grupo dá-se o nome de bateria. Os geradores secundários incluem todos os modelos de equipamento que permitem cargas e descargas repetidas. Isso acontece porque as transformações químicas que se verificam no interior dos geradores podem ser revertidas se aplicar-se sobre seus terminais determinadas tensões e correntes elétricas.

No grupo de geradores primários destacam-se os seguintes tipos de pilhas:

- Pilha de zinco-carbono
- Pilha alcalina
- Pilha de mercúrio
- Pilha de prata
- Pilha de lítio.

No grupo de geradores secundários destacam-se dois tipos que têm aplicações muito diversas:

- Bateria de chumbo
- Bateria de níquel-cádmio.

### Capacidade e durabilidade

Tanto a capacidade das pilhas como a das baterias é determinada com base no produto (multiplicação) de dois parâmetros (dados): corrente de descarga e a duração da descarga. O valor do produto é expresso por unidades de medida especiais o ampere-hora (Ah) e o miliampere-hora (mAh). A carga acumulada por uma pilha ou uma bateria pode ser expressa na forma de densidade de energia, definida em watt-hora por quilo de peso ou em watt-hora por centímetro cúbico (cm<sup>3</sup>) de volume.

Para escolher o tipo de pilha ou bateria para determinado aparelho, é preciso ter em mente o nível mínimo de tensão que esse aparelho pode suportar. Esse nível mínimo é chamado nível-limite de tensão, naturalmente, quanto mais alto for para determinado aparelho, mais curta será a vida útil da pilha ou bateria usada para alimentá-lo.

Não é difícil definir com relativa precisão o nível-limite de tensão de pilhas de mercúrio ou prata. Elas geralmente operam com cargas fracas em relação a outros tipos de pilha, mas essa carga se mantém constante em cerca de 95% de sua vida útil, apresentando uma queda brusca a partir daí.

Nas pilhas de zinco-carbono, ao contrário, a determinação do nível limite de tensão é mais difícil, pois a queda de tensão na pilha durante a descarga aumenta irregularmente com o passar do tempo. Por esse motivo, num aparelho com alto nível limite de tensão (para os quais esse tipo de pilha é bem mais apropriado), as pilhas se esgotam em um determinado período de tempo. No entanto, se forem usadas em equipamentos que exigem tensões inferiores, elas podem continuar a funcionar por várias horas ou dias.

Um outro dado importante na questão da determinação do nível-limite é o da “recuperação da tensão”. Esse fenômeno ocorre nos aparelhos de funcionamento intermitente, pois as baterias tendem a recarregar-se enquanto eles estão desligados.

Nesses casos as pilhas de zinco carbono apresentam uma apreciável recuperação de tensão, a ponto de dobrar seu período de vida útil, com a passagem de uma carga constante a uma carga intermitente. Nas mesmas condições, as pilhas alcalinas aumentam seu período de duração em 20%. Outro fator importante na determinação da duração das pilhas é o tipo de eletrólito – seco ou líquido – que elas utilizam. O líquido pode sofrer evaporação ou vazamento durante a estocagem, e isso diminui a duração ou invalida a pilha permanentemente.

A temperatura também influi na duração das pilhas, pois as reações químicas internas diminuem a baixas temperaturas.

As pilhas mais usadas atualmente são as de zinco-carbono, que apresentam, em geral, a forma de um cilindro cujo volume determina a quantidade de energia que elas podem fornecer. Seu polo negativo é formado pelo invólucro externo, enquanto o cilindro central de carbono, coberto por um capuz metálico e isolado do invólucro, constitui o polo positivo.

Classificação das pilhas

### **a) Pilhas de zinco-carbono**

Essas pilhas podem ter outro formato além do cilíndrico, como por exemplo, o de um paralelepípedo, com os dois polos numa das faces. Seus terminais, neste caso, também são de formato diferente e colocados de modo que possam receber um sistema de ligação por pressão.

A estrutura interna da pilha de zinco-carbono é igual à da pilha constituída pelo químico Leclanché. Servindo-se de um vaso, ele usou como eletrodos para o polo positivo uma pequena barra de carvão, colocada num saquinho de tela resistente juntamente com uma mistura de grafite e bióxido de manganês. Para o polo negativo utilizou uma pequena barra de zinco. O líquido que envolve as duas barras, também chamado de eletrólito, é uma solução de sais de amoníaco e água.

Denominadas pilhas secas as pilhas atuais contêm, no centro do cilindro que constitui sua cápsula, uma barra de carvão. Em torno dessa barra de carvão encontra-se uma área de material absorvente, completamente impregnado pelo eletrólito, que é constituído por amoníaco, bióxido de manganês, óxido de zinco, cloreto de zinco e água. Com um revestimento externo de zinco, o conjunto é hermeticamente fechado na parte superior,

onde sobressai apenas o terminal positivo em contato com a barra de carvão. Nessa parte superior do invólucro metálico externo encontra-se um revestimento isolante que separa os polos positivo e negativo.

Também nas paredes do invólucro há uma capa isolante, mas a base, que constitui o terminal negativo, fica a descoberto. Essas pilhas fornecem uma tensão de 1,5V; a energia e, conseqüentemente, a intensidade da corrente a ser fornecida dependem do volume de eletrólito contido na pilha e da área de seus eletrodos positivo e negativo. Tendo um baixo custo no mercado, esse tipo de pilha pode ser usado em alta escala, embora só seja eficiente em aplicações que requerem uma alimentação intermitente, já que ela apresenta uma queda progressiva de tensão. Por outro lado, sua capacidade de regeneração durante os períodos de descarga é elevada.

### **b) Pilhas alcalinas**

As pilhas alcalinas são formadas por um anodo de zinco com superfície ampla e por um catodo de óxido de manganês de densidade elevada. Elas se diferenciam das de zinco-carbono especialmente pela composição do eletrólito, que é de hidróxido de potássio, e apresenta em relação a estas quase o dobro da capacidade de energia, com uma duração sete vezes maior e um impedância interna muito mais baixa. Por isso são altamente eficientes nas aplicações que requerem longos períodos de alimentação com correntes elevadas.

A tensão nominal das pilhas alcalinas é de 1,5V e sua voltagem permanece constante durante um período mais longo, garantindo uma operação mais estável do equipamento que alimenta. São particularmente usadas para alimentação de jogos eletrônicos, filmadoras, gravadores e toca fitas, além de equipamentos de iluminação de emergência. Em relação as pilhas zinco-carbono, seu custo é mais elevado.

### **c) Pilhas de Mercúrio**

São formadas por um catodo à base de óxido de mercúrio por um anodo de zinco e por um eletrólito à base de hidróxido de potássio. Essas pilhas podem ser encontradas em dois formatos diferentes: cilíndricas ou em forma de botão, sendo estas as mais utilizadas.

Sua característica mais importante é a alta densidade de energia que pode fornecer, que é várias vezes mais elevada a dos tipos descritos anteriormente. A variação de tensão em função da descarga é praticamente nula; ela se mantém constante no valor de 1,35V ao longo de toda sua vida útil; sua impedância interna é baixa e constante, não apresentando, portanto, nenhum fenômeno de recarga. Além disso oferece excelente rendimento e estabilidade nas operações em altas temperaturas.

### **d) Pilhas de prata**

Muito parecidas em seu formato com as pilhas de mercúrio, compõem-se de um catodo de óxido de prata, de um anodo de zinco e um eletrólito à base de hidróxido de potássio ou sódico. Apresenta características elétricas semelhantes às da pilha de mercúrio, com

voltagem, em relação a esta, de terem uma tensão de 1,55V. Mas por terem um volume menor apresentam menor capacidade de fornecimento de energia.

### **e) Pilhas de lítio**

São recentes no mercado e apresentam maior densidade de energia, maior vida útil e maior tensão nominal. Seus componentes não incluem a água, o que permite um rendimento em baixas temperaturas muito superiores ao das outras baterias, ao ponto de se dispor de 50% de sua capacidade em temperaturas da ordem de  $-55^{\circ}\text{C}$ . A composição de uma pilha de lítio depende do tipo fabricação, que varia no material utilizado como catodo. A densidade de energia das pilhas de lítio chega a 266Wh/Kg, contra 133 das pilhas de prata e 55 zinco-carbono. É importante observar que as pilhas de lítio apresentam uma autodescarga quase imperceptível, o que permite armazená-las por períodos três vezes mais longos em relação às de mercúrio e até cinco vezes mais longos em relação às de zinco-carbono, sem que apresentem uma perda significativa de eficiência.

### **Acumuladores ou baterias de chumbo**

Constituem os tipos mais comuns de baterias secundárias ou recarregáveis. São formados por uma série de células individuais interligadas, cujo número depende da tensão que se deseja obter. A célula elementar se constitui de dois eletrodos à base de chumbo, imersos num eletrólito constituído por uma solução de ácido sulfúrico em água. O eletrodo positivo contém óxido de chumbo  $\text{PbO}_2$  O negativo contém chumbo em forma esponjosa. Se entre o anodo e o catodo se inserir uma carga por meio dela se irá produzir uma corrente elétrica. Com isso, desencadeiam-se reações químicas no interior da bateria, gerando o fluxo de elétrons necessário para manter a corrente circulando. No decorrer dessas reações, tanto o óxido de chumbo como o chumbo em estado puro são atacados pelo ácido sulfúrico, resultando em sulfato de chumbo e água. Quando a quantidade de ácido é baixa e a de sulfato é alta o suficiente para cobrir completamente os eletrodos, as reações internas diminuem e a tensão na bateria decresce, assim como a corrente. Esta chega a níveis tão baixos que se torna impossível continuar alimentando a carga externa. Nesse caso dizemos que a bateria está descarregada.

No processo inverso, ou seja, carga, a bateria recebe tensão de um gerador externo que provoca a passagem de corrente no seu interior, mas no sentido contrário ao da descarga. Em consequência disso, o sulfato de chumbo se combina com a água liberando sobre os eletrodos o chumbo e o óxido de chumbo originais e devolvendo à solução de eletrólito o ácido sulfúrico anteriormente consumido. Se a operação de carga se estender além do tempo necessário à eliminação dos sulfatos dos eletrodos, vai-se produzir uma sobrecarga da bateria e, a partir desse momento, a corrente interna fará decompor a água em seus componentes (oxigênio e hidrogênio).

Na bateria, a capacidade de fornecimento de energia é determinada principalmente pela quantidade de óxido de chumbo contida no ânodo, que pode ser facilmente combinada com ácido sulfúrico para produzir chumbo. O cátodo contém aproximadamente a mesma quantidade de chumbo existente no ânodo, mas sua eficiência durante as

reações de carga e descarga é superior. A tensão de cada célula elementar tem um valor nominal de 2V.

Durante o processo de carga, três ciclos diferentes se apresentam.

Entre os vários tipos de baterias secundárias, as de chumbo são as mais econômicas. Elas podem realizar cerca de 200 ciclos de carga/descarga completos, atingindo até 500/600 ciclos com descarga de 60%. Quando descarregadas tendem a acumular sulfato, reduzindo seu período de vida, mas em condições convenientes estocagem chegam a durar seis meses a oito anos.

É no campo automobilístico que são mais empregadas, em geral modelo de seis células ligados em série, com uma tensão nominal de 12V.

### Baterias de níquel-cádmio

O segundo grupo de baterias secundárias é formado pelas baterias de níquel – cádmio. Estas também apresentam o mesmo processo de carga e descarga que observamos nas de chumbo, mas com diferenças significativas quanto ao funcionamento.

Uma bateria elementar de níquel-cádmio é formada por dois eletrodos separados por um isolante, enrolados um sobre o outro e imersos num eletrólito. O eletrodo positivo ou anodo é constituído de níquel e tem sobre a superfície externa um composto mais ativo, à base de hidróxido de níquel. O eletrólito é constituído por uma solução de hidróxido de potássio.

Quando entre os dois eletrodos se interpõe uma resistência de descarga, uma diferença de potencial é produzida; uma corrente começa a circular, dando início ao processo de descarga da bateria.

No decorrer do processo de carga, a bateria é submetida a uma tensão externa inversa e os hidróxidos dos eletrodos se decompõem, liberando cádmio, níquel e água; depois de um determinado tempo a bateria fica exatamente como nas condições iniciais.

As baterias de níquel cádmio custam quase o triplo das de chumbo, mas oferecem vantagens. Podem ser conservadas em estoque tanto carregadas quanto recarregadas, sem que sua durabilidade seja afetada. Alguns modelos podem realizar 30 000 ciclos de cargas e descargas.

Em geral, essas baterias são indicadas quando há necessidade de um modelo leve e portátil, de longa duração e que dispense manutenções periódicas.

### Conclusão

Este trabalho se encontra numa linguagem simples e objetiva sobre baterias, o que seria necessário para um maior entendimento do seu funcionamento é como se comportam, os seus elementos químicos em cada ciclo das baterias e os processos de oxidação e redução química, mas em nosso curso o mais importante são os meios e não os fins por esse motivo estas ligações químicas não foram abordadas.

