

1: Introdução

No tópico "[A Corrente Elétrica](#)" vimos que se chama gerador a um dispositivo capaz de fornecer diferença de potencial a um condutor, isto é, capaz de produzir corrente elétrica num condutor. Um condutor de resistência R , com diferença de potencial V entre os extremos, consome, por segundo, a energia:

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

O gerador fornece então energia aos condutores, sob forma de corrente elétrica. Essa energia elétrica, o gerador a obtém por meio da transformação de outro tipo de energia. No tópico "[Aplicações do Efeito Termoelétrico](#)" estudamos que a pilha termoelétrica é um gerador que transforma energia térmica em elétrica. Estudaremos agora um tipo de gerador que transforma energia química em elétrica: é chamado pilha hidroeétrica; ou pilha eletrolítica, e na prática é conhecido simplesmente por pilha.

Há diversos tipos de pilha.

2: Pilha de Volta

A pilha de Volta é constituída por uma solução de ácido sulfúrico em água, na qual é mergulhado um eletrodo de cobre e um de zinco. Se ligarmos o cobre ao zinco por um condutor c , passará corrente elétrica nesse condutor, dirigida do cobre para o zinco, o que indica que há uma diferença de potencial entre eles (fig. 209). A solução com os dois eletrodos constitui então um gerador. Os dois eletrodos são chamados polos, ou terminais do gerador. Chama-se polo positivo àquele por onde a corrente sai, e polo negativo àquele por onde a corrente entra. Então, na pilha de Volta, o cobre é o polo positivo, e o zinco, o negativo. A pilha elétrica foi inventada pelo físico italiano Alessandro Volta.

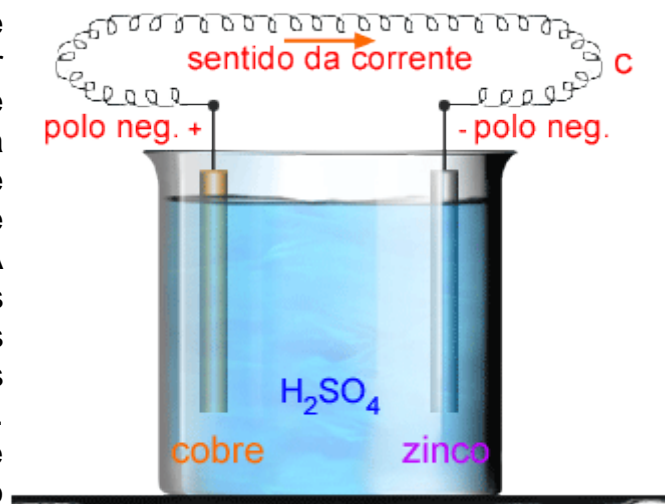


Figura 209

Sua pilha original não tinha a disposição que indicamos na figura 209. Era composta do seguinte modo: um disco de cobre, sobre ele um disco de zinco, sobre este um disco de feltro embebido em ácido sulfúrico diluído em água, depois um disco de zinco, sobre este, outro disco de feltro embebido em ácido sulfúrico diluído, depois outro disco de cobre, e assim sucessivamente (fig. 210). Esses discos eram colocados um sobre o outro de maneira a formar uma pilha. Daí se originou o nome que até hoje se conserva para esses geradores.

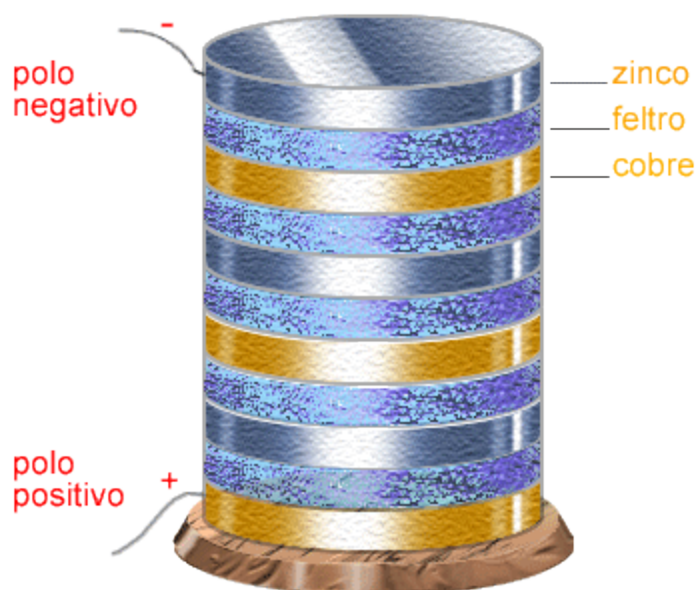


Figura 210

3: Teoria eletrolítica da pilha de Volta

No funcionamento da pilha de Volta podemos distinguir duas fases:
1ª) aparecimento de uma diferença de potencial inicial entre o cobre e o zinco;
2ª) manutenção dessa diferença de potencial.

1. Aparecimento da diferença de potencial inicial

Muitos metais, quando colocados dentro d'água, soltam íons seus na água. Assim, o zinco liberta, na solução de ácido sulfúrico, íons positivos bivalentes de zinco, Zn^{++} . Os dois elétrons que com esse íon formavam um átomo (neutro) são retidos no eletrodo de zinco. Ao redor desse eletrodo ficam então muitos íons positivos de zinco, e o eletrodo fica com um excesso de elétrons (fig. 211).

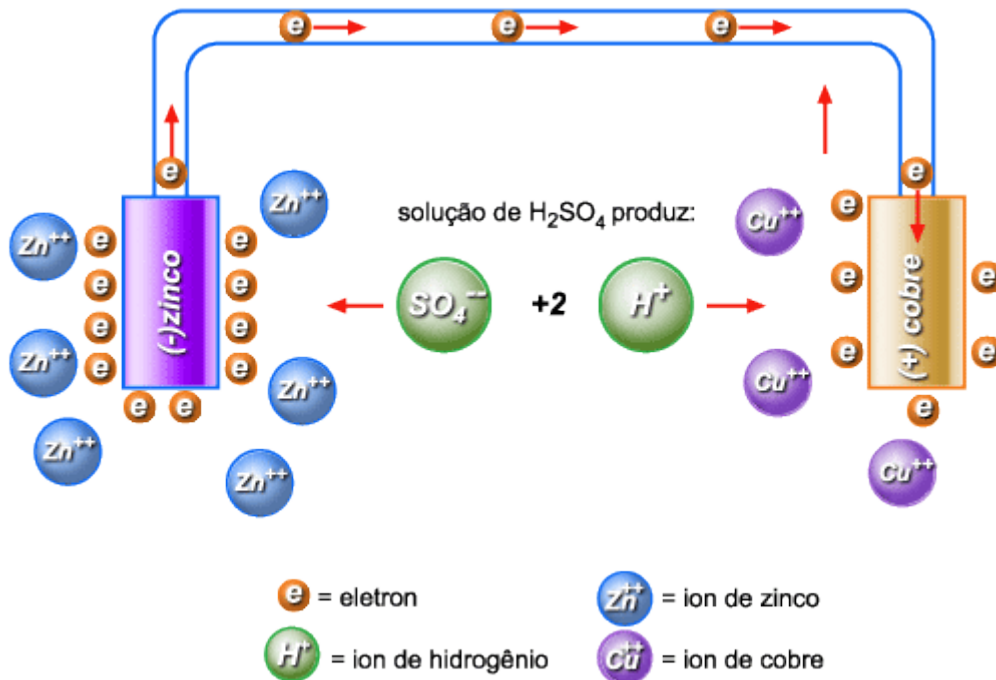


Figura 211

A libertação de íons de zinco não continua indefinidamente, porque a carga positiva dos íons que contornam esse eletrodo atingem valor tal que impede a libertação de novos íons; isto é, qualquer novo íon solto na solução é repellido pela carga positiva e volta ao zinco, aí se unindo a dois elétrons e formando novamente um átomo de zinco (neutro).

O zinco fica então com carga negativa, devida aos elétrons, e a solução com carga positiva, devida aos íons. A consequência é que o zinco fica com um potencial mais baixo que a solução.

Com a lâmina de cobre acontece o mesmo. Ela também solta na solução íons positivos bivalentes de cobre, e retém elétrons (fig. 211). Então, o cobre também fica com potencial mais baixo que a solução.

Mas, os metais não tem todos a mesma facilidade para soltar íons. O cobre solta menos íons que o zinco e, portanto, retém menos elétrons que o zinco. A consequência é que o cobre fica com potencial mais alto que o zinco, embora

ambos tenham potencial mais baixo que a solução. Esses potenciais estão esquematizados na figura abaixo.

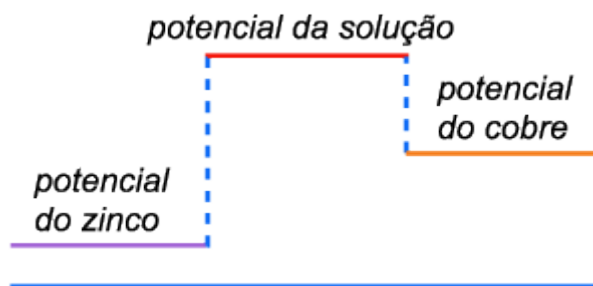


Figura 212

A diferença de potencial entre o cobre e o zinco aparece então porque esses dois metais não tem a mesma facilidade para libertar íons na solução.

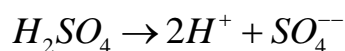
Sentido da corrente elétrica

Como o zinco possui mais elétrons que o cobre, quando eles são reunidos pelo condutor *c* há passagem de elétrons do zinco para o cobre, isto é, carga negativa, do zinco para o cobre. Mas, convencionamos que a corrente nos metais seja constituída por movimento de partículas positivas imaginárias que se desloquem do cobre para o zinco.

2. A manutenção da diferença de potencial

Poderíamos levantar a seguinte dúvida: se o zinco vai cedendo elétrons ao cobre, através do condutor *c*, depois de algum tempo o zinco e o cobre ficarão com igual número de elétrons, e portanto, ao mesmo potencial, e a pilha deixará de funcionar. Veremos que o ácido sulfúrico impede que isso aconteça.

As moléculas de ácido sulfúrico se dissociam em íons hidrogênio e SO_4^- , segundo a equação:



O íon SO_4^- se dirige para o zinco, aí reage com ele, formando-se sulfato de zinco, segundo a equação:



libertando-se nessa reação dois elétrons que o zinco manda depois para o condutor *c*. Essa reação química é a fonte de elétrons para o zinco, isto é, é a origem dos elétrons que a pilha fornece para constituírem a corrente elétrica no circuito externo.

O íon de hidrogênio, H^+ , se dirige para o cobre; aí recebe um elétron e se transforma num átomo de hidrogênio (neutro), segundo a equação:



Os átomos de hidrogênio se unem dois a dois formando moléculas de hidrogênio, que se desprendem junto ao cobre. Em resumo: a reação química $SO_4^- + Zn \rightarrow ZnSO_4 + 2\text{elétrons}$ fornece elétrons ao zinco; este os cede ao condutor c, que os conduz até o cobre; o cobre recebe elétrons e os cede aos íons de hidrogênio.

Energia transformada na pilha

Agora podemos compreender claramente o que significa a expressão: “a pilha transforma energia química em energia elétrica”. Significa que a reação química $SO_4^- + Zn \rightarrow ZnSO_4 + 2\text{elétrons}$ liberta dois elétrons, isto é, liberta carga elétrica.

Com o funcionamento da pilha, a reação $SO_4^- + Zn \rightarrow ZnSO_4 + 2\text{elétrons}$ continua, e o zinco vai sendo consumido, e transformado em sulfato de zinco. Podemos então, dizer que a energia elétrica fornecida pela pilha provém da energia química do consumo do zinco. Depois de algum tempo de uso, o zinco desaparece. Para restaurar a pilha precisamos usar nova lâmina de zinco.

Resumo

Podemos resumir o funcionamento da pilha de Volta do seguinte modo: inicialmente se estabelece uma diferença de potencial entre o cobre e o zinco, provocada pelo fato de esses dois metais não terem a mesma facilidade para libertar íons na água. Depois, os íons SO_4^- e H^+ permitem que a diferença de potencial se mantenha.

Observações

1ª) Vemos que não é possível construir-se uma pilha com água pura, pois, sem a presença dos íons que provocam reações químicas, a diferença de potencial inicial não se mantém.

2ª) Concluímos também que na construção de uma pilha podemos usar dois metais quaisquer, contanto que eles não tenham a mesma facilidade para soltar íons.

4: Pilha de Daniell

A pilha de Daniell consiste no seguinte: uma barra de cobre mergulhada numa solução de sulfato de cobre. Essa solução está contida num vaso de parede porosa, semipermeável, em geral de porcelana. Por fora desse vaso existe uma solução de sulfato de zinco, contida num vaso de vidro. Na solução de sulfato de zinco se mergulha um cilindro de zinco (fig. 213). O vaso poroso não permite que as duas soluções se misturem, mas permite a passagem de íons de uma solução para outra. Ligando-se a barra de cobre ao cilindro de zinco por um condutor c , passa corrente nesse condutor, do cobre para o zinco. Portanto, como na pilha de Volta, o eletrodo de cobre é o polo positivo, e o de zinco, o polo negativo.

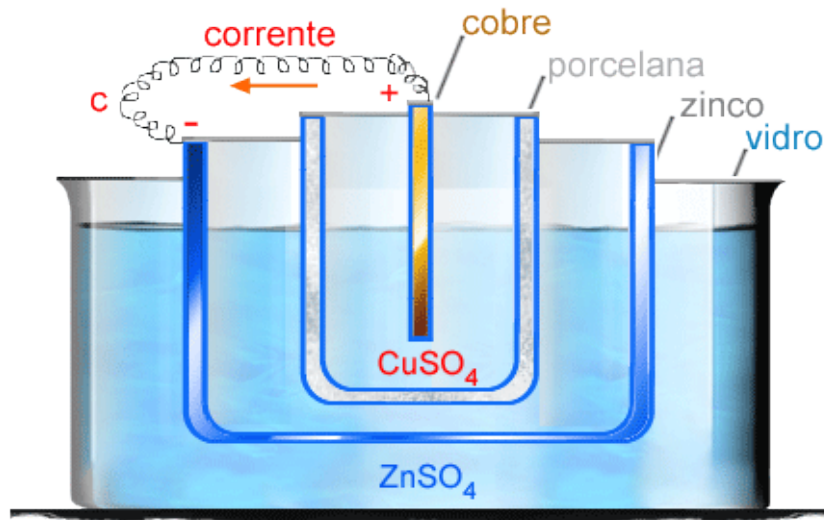


Figura 213

Muitas vezes se constrói a pilha de Daniell sem separar as duas soluções por parede porosa: em um vaso de vidro se coloca no fundo a solução de sulfato de cobre. Por cima dela se coloca a solução de sulfato de zinco, sem nenhuma parede de separação entre elas: a separação é feita simplesmente por gravidade. As soluções não se misturam,

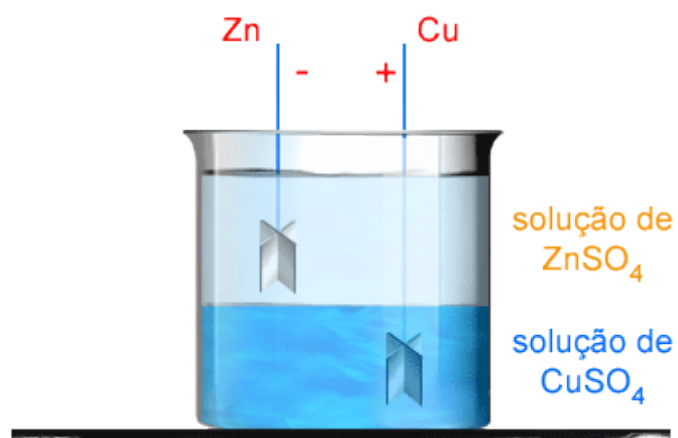


Figura 214

e os íons podem passar livremente de uma para outra (fig. 214). Com este tipo de construção é ela às vezes chamada pilha de gravidade.

Teoria eletrolítica da pilha de Daniell

Do mesmo modo que na pilha de Volta, devemos analisar o funcionamento da pilha de Daniell em duas fases:

- 1ª) aparecimento da diferença de potencial inicial, entre cobre e zinco;
- 2ª) manutenção da diferença de potencial.

1ª - Aparecimento da diferença de potencial inicial

Inicialmente aparece uma diferença de potencial inicial devida ao mesmo fenômeno que já estudamos na pilha de Volta: o zinco liberta íons positivos de zinco na solução de sulfato de zinco, e retém elétrons, ficando negativo em relação à solução. O cobre liberta íons positivos de cobre, na solução de sulfato de cobre, e retém elétrons, ficando negativo em relação a essa solução. Mas, o zinco liberta mais íons do que o cobre, retendo mais elétrons. Por isso, o zinco fica mais negativo que o cobre (fig. 215).

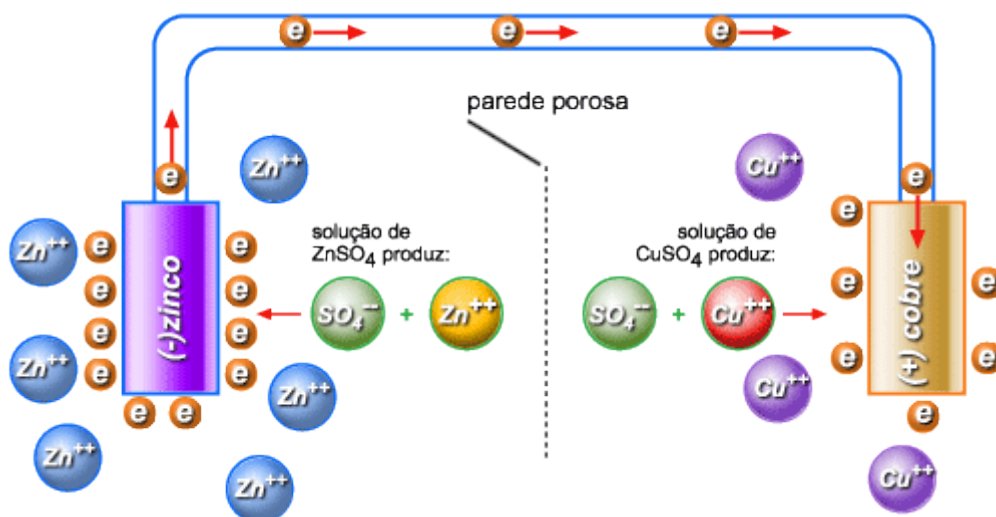


Figura 215

2ª - Manutenção da diferença de potencial

É devida à ação dos sulfatos de cobre e de zinco.

a) Sulfato de cobre

Este sal se dissocia em íon de cobre e íon SO_4^- :



O íon de cobre se dirige para o cobre; aí recebe elétrons que estão chegando pelo condutor c e se transforma em átomo de cobre, ficando no eletrodo de cobre. Este eletrodo vai crescendo à medida que a pilha funciona.

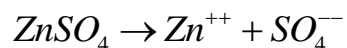
O íon SO_4^- atravessa a parede porosa e se dirige para o zinco. Aí reage com o zinco e produz sulfato de zinco, libertando-se dois elétrons na reação:



Esses dois elétrons, o zinco os cede ao condutor c, que os transporta para o cobre. O sulfato de zinco se dissolve. Do mesmo modo que na pilha de Volta esta reação química é a fonte de elétrons para a pilha de Daniell. É nessa reação que consiste a “transformação da energia química em energia elétrica”. A energia provém da transformação do zinco em sulfato de zinco. O zinco vai sendo consumido.

b) Sulfato de zinco

Este sal se dissocia em íon de zinco e íon SO_4^- :



O íon SO_4^- se dirige para o zinco, e reage com ele de acordo com a equação $Zn + SO_4^- \rightarrow ZnSO_4 + 2elétrons$: forma-se mais sulfato de zinco, que se dissolve, e se libertam mais dois elétrons.

Quanto aos íons de zinco, Zn^{++} , alguns se unem novamente com íons SO_4^- e reconstituem moléculas de sulfato de zinco. Mas, a maioria deles permanece na solução sob a forma de íons. À medida que a pilha funciona, o número de íons de zinco ao redor do eletrodo de zinco vai aumentando. Como esse eletrodo é negativo e os íons de zinco são positivos, o aumento da quantidade desses íons faz diminuir a diferença de potencial entre o cobre e o zinco. À medida que funciona, a pilha de Daniell piora. Veremos adiante, no tópico ["Polarização das Pilhas"](#) que esse fenômeno é chamado polarização.

5: Notícias sobre as pilhas de Bunsen e de Leclanché

1. Pilha de Bunsen

O eletrodo positivo é uma barra de carvão de retorta, que está mergulhada numa solução de ácido nítrico. Essa solução está contida em um vaso de paredes porosas. Por fora desse vaso há uma solução de ácido sulfúrico diluído, contida num vaso de vidro. O eletrodo negativo é um cilindro de zinco, mergulhado na solução de ácido sulfúrico (fig. 216).

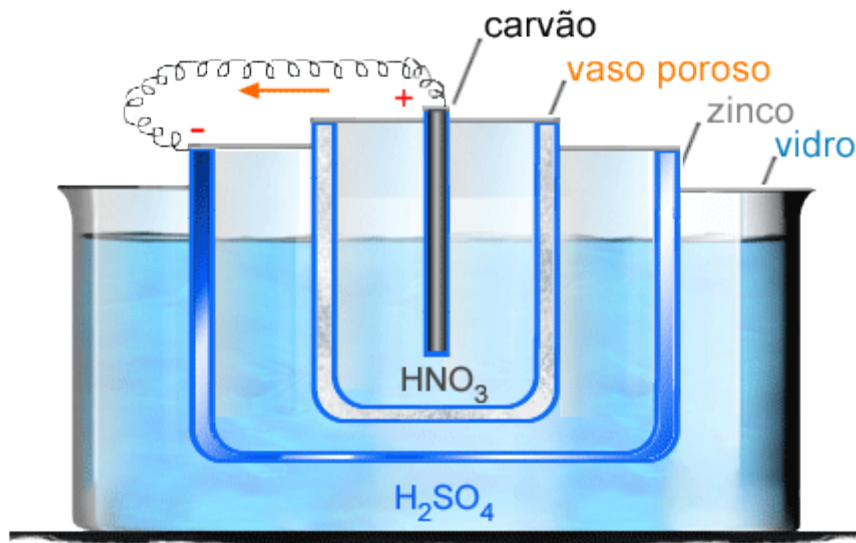


Figura 216

2. Pilha de Leclanché

O eletrodo positivo é uma barra de carvão, que é mergulhada em bióxido de manganês. Este é encerrado num vaso de paredes porosas. Por fora deste vaso há uma solução de cloreto de amônia, contida em um vaso de vidro. O eletrodo negativo é um cilindro de zinco, mergulhado na solução de cloreto de amônia (fig. 217).

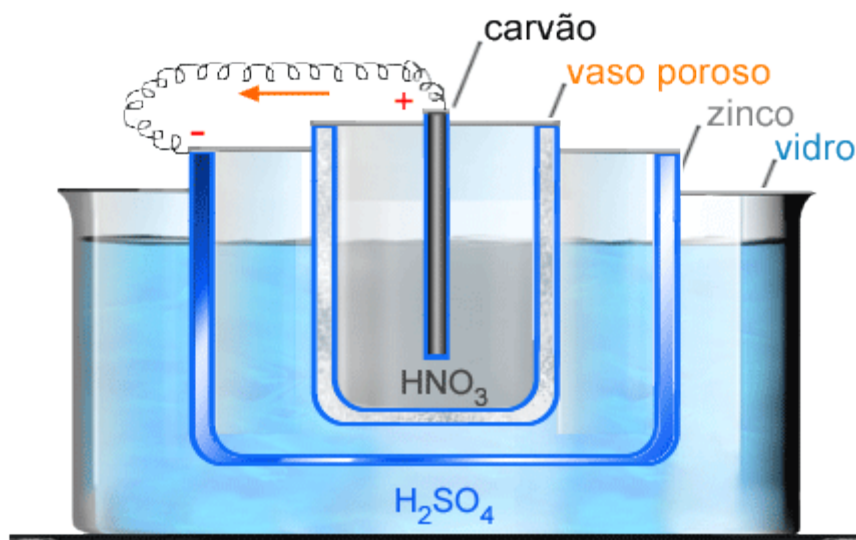


Figura 217

Estas duas últimas pilhas estão completamente fora de uso.

6: Polarização das pilhas

Estudemos, como exemplo, a polarização de uma pilha de Volta. Vimos que a energia elétrica da pilha resulta da transformação do zinco em sulfato de zinco. Então, teoricamente, enquanto o zinco não estiver completamente gasto, a pilha deverá fornecer uma diferença de potencial e uma corrente. Mas, na prática observamos que, pondo-se a pilha a funcionar, a diferença de potencial e a corrente fornecida caem a um valor muito baixo em um tempo muito curto. Isso é evidentemente um inconveniente muito sério sob o ponto de vista prático.

A diminuição da diferença de potencial é devida a um fenômeno chamado polarização. Vimos que, quando circula corrente na pilha de Volta, os cátions de hidrogênio se dirigem para o eletrodo de cobre, aí se unem a elétrons e se transformam em átomos de hidrogênio. Se todo esse hidrogênio depois subisse à superfície sob a forma de bolhas, a força eletromotriz da pilha não diminuiria. Mas, grande parte do hidrogênio não escapa para a superfície, e fica aderente ao cobre, produzindo duas consequências: 1ª) diminui a superfície útil do cobre; 2ª) produz reações químicas com o cobre, que modificam a superfície do cobre. O resultado desses fatos é que a diferença de potencial entre o cobre e o zinco diminui. Esse fenômeno é chamado polarização.

Desligando-se a pilha, e deixando-a “descansar”, o hidrogênio que está junto ao cobre, escapa e a polarização desaparece. Mas, quando a pilha é posta em funcionamento, depois de curto tempo se polariza outra vez.

Acabamos de descrever o fenômeno de polarização da pilha de Volta. Mas, esse fenômeno ocorre em todas as pilhas. Por exemplo, vimos que na pilha de Daniell, enquanto ela funciona, aumenta a concentração de íons de zinco em torno do zinco, dando como consequência uma diminuição da força eletromotriz da pilha: é a polarização.

Em todas as pilhas, a polarização é sempre o fenômeno pelo qual diminui a força eletromotriz da pilha por causa da alteração da concentração de íons em torno dos eletrodos durante o funcionamento.

Pode-se diminuir muito a polarização adicionando-se ao eletrólito alguma substância capaz de reagir com os íons, impedindo que a sua concentração aumente. Essas substâncias são chamadas despolarizantes. Na pilha de Leclanché, o bióxido de manganês é despolarizante. Os despolarizantes diminuem a polarização, mas não a eliminam completamente.

7: [Pilha seca](#)

Nesta pilha, o polo positivo é uma haste de carvão, e o negativo é de zinco. Em vez de eletrólito líquido, usa uma pasta de cloreto de zinco e cloreto de amônia. A essa pasta se adiciona bióxido de manganês, que é despolarizante. Pelo fato de não ter eletrólito líquido é chamada pilha seca. Essa é uma grande vantagem, pois permite que a pilha seja transportada com facilidade e que possa funcionar em posição vertical, horizontal, ou inclinada. Outra vantagem é possuir despolarizante, o que permite que essas pilhas sejam usadas, em média, até durante 1.000 horas.

Em geral, essas pilhas tem a forma de um cilindro. A haste de carvão fica no eixo; o cilindro é feito de zinco, que é o próprio polo negativo. Entre o carvão e a parede do zinco ela é preenchida com a pasta-eletrólito descrita acima (fig. 218).

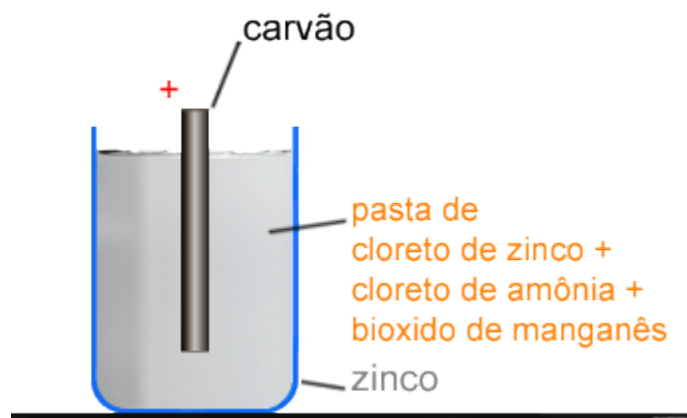


Figura 218

Existem pilhas secas de diferentes tamanhos: desde pequenas, que dão força eletromotriz de 1,5 volts, até grandes, que dão 90 volts. Depois de uso prolongado (em média 1.000 horas), a força eletromotriz cai e a resistência interna fica muito grande, a pilha se torna inutilizada. Acredita-se que isso seja devido à transformação do bioxido de manganês em monóxido de manganês, que não é despolarizante.

Estas pilhas são usadas em todos os dispositivos em que se necessitam pilhas portáteis, como lanternas elétricas, “rádio de pilha”, etc..

8: Pilhas padrões

A força eletromotriz fornecida pelas pilhas comuns diminui com o tempo, por vários motivos, entre os quais a polarização e o gasto dos eletrodos. Mas, há certos tipos de pilha, de construções bastante delicadas, que mantém a força eletromotriz constante por muito tempo. São chamadas pilhas-padrões. Elas não são utilizadas para uso geral como as outras, mas, somente nos laboratórios, como elementos de força eletromotriz padrão. Assim, por exemplo, no método de Poggendorf para a [medida da força eletromotriz](#) de uma pilha, que descrevemos, a pilha de força eletromotriz E_2 conhecida deve ser uma pilha padrão.

Uma das pilhas padrões mais usadas é a pilha de Weston. Tem como invólucro um tubo de vidro em forma de H (fig. 219). Um dos eletrodos é de mercúrio, o outro de amálgama de cádmio. Acima do eletrodo de mercúrio é colocada uma pasta de sulfato mercurioso, e acima desta, cristais de sulfato de cádmio. Acima do amálgama de cádmio são colocados cristais de sulfato de cádmio. O restante do tubo é preenchido por uma solução saturada de sulfato de cádmio. Por cima da solução é deixado um espaço de ar.

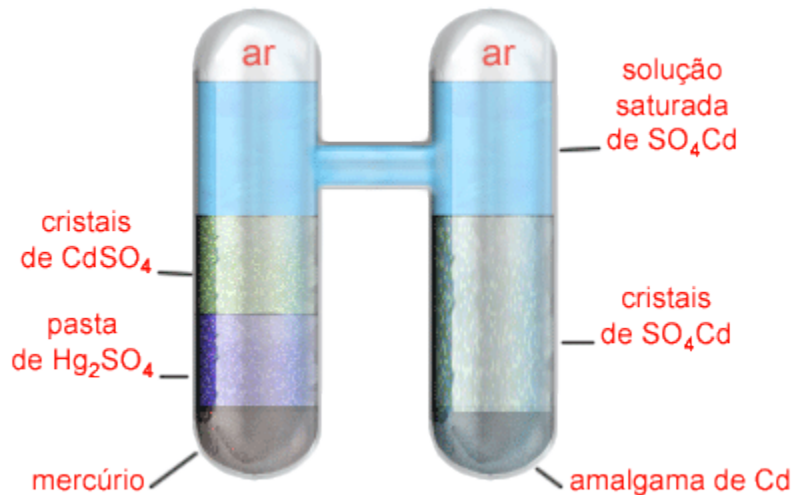


Figura 219

A f.e.m. de uma pilha Weston bem construída é 1,0183 volts a 20°C. Essa f.e.m. varia com a temperatura, mas existem fórmulas que permitem calcular a variação da f.e.m. em função da temperatura.

9: Acumuladores

Vimos, nas [pilhas de Volta](#) e de [Daniell](#) que, enquanto elas funcionam, o eletrodo de zinco vai se gastando, transformando-se em sulfato de zinco, e que é dessa reação química que provém a energia elétrica da pilha. Se quisermos restaurar as condições primitivas dessas pilhas, precisamos usar novo eletrodo de zinco. Mas, existem pilhas nas quais, para se restaurarem as condições iniciais, não é necessária a substituição de eletrodo, mas, basta passar por elas uma corrente elétrica em sentido oposto ao sentido da corrente que elas fornecem. São chamadas pilhas secundárias, ou acumuladores, sendo este último nome o mais conhecido.

Usam-se atualmente dois tipos de acumulador: o de chumbo e o de Edison.

Acumulador de chumbo

É o mais comum. São desse tipo os acumuladores que se usam nos automóveis.

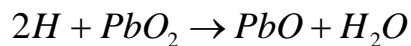
Possui um eletrodo negativo de chumbo, e um positivo de peróxido de chumbo (PbO_2), imersos em uma solução de ácido sulfúrico em água. O eletrodo de peróxido de chumbo é constituído por uma pasta desse óxido moldada em uma grade de chumbo, e preparada de maneira a se tornar muito esponjosa, para

aumentar a área em contacto com a solução. O eletrodo negativo de chumbo é também esponjoso, pela mesma razão.

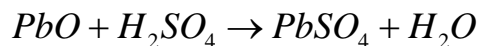
a. Descarga - Reações química na descarga

O sulfato de chumbo, sendo insolúvel, fica aderente ao chumbo. Essa reação química é a fonte de elétrons para o acumulador. São os elétrons que provém dessa reação que o chumbo cede ao condutor c que os transporta ao polo positivo. Essa é, portanto, a reação química que liberta carga elétrica, isto é, que transforma energia química em energia elétrica. Vemos que, enquanto o acumulador funciona, o eletrodo de chumbo vai sendo consumido, e transformado em sulfato de chumbo.

3º) O cátion H^+ se desloca para o peróxido de chumbo, e aí recebe elétrons, que chegam pelo condutor c e se transforma em átomo de hidrogênio. Este hidrogênio reduz o peróxido de chumbo, transformando-o em óxido de chumbo e formando água:



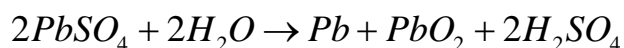
O óxido de chumbo imediatamente reage com o ácido sulfúrico, formando sulfato de chumbo e mais água:



Vemos que, como resultado final da chegada do íon de hidrogênio ao peróxido de chumbo, este se transforma em sulfato de chumbo, que por ser insolúvel, fica aderente à placa de peróxido de chumbo. Duas consequências importantes da descarga, e que não podem ser esquecidas, são: 1ª) o ácido sulfúrico vai desaparecendo, e vai se formando água; então a concentração do ácido sulfúrico diminui; 2ª) os dois eletrodos vão ficando cobertos por sulfato de chumbo.

b. Carga - Reações químicas na descarga

O sulfato de chumbo que cobre os eletrodos na descarga diminui muito a área desses eletrodos. A diferença de potencial entre eles vai diminuindo, e a resistência interna do acumulador vai aumentando, passando-se a obter uma corrente cada vez menor, até não se obter praticamente nenhuma. Dizemos que o acumulador está descarregado. Para fazê-lo voltar às condições iniciais não é necessário substituir os eletrodos, como nas pilhas; basta ligá-lo a um gerador de f.e.m. de uns 6 volts, ligando o polo positivo do gerador ao positivo do acumulador, e o negativo com o negativo (fig. 221). Passa então pelo acumulador uma corrente em sentido oposto ao da corrente que ele fornece. Essa operação é chamada carga do acumulador. A corrente que passa é chamada corrente de carga. Durante a carga se dá a reação:



e assim se reconstitui o chumbo, o peróxido de chumbo, e o ácido sulfúrico que haviam sido gastos durante a descarga.

c. Energias gastas e recuperadas

Quando carregamos o acumulador, fazendo passar a corrente elétrica, gastamos energia. Por sua vez, quando o acumulador fornece corrente, ele

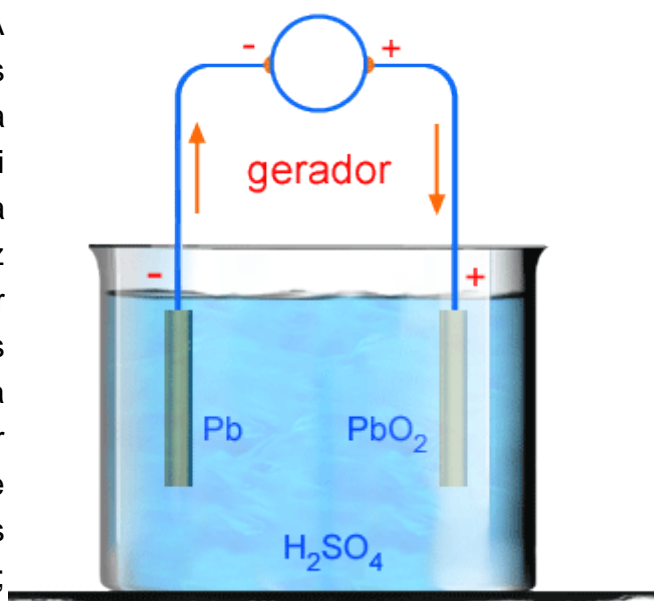
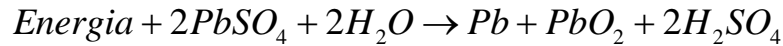


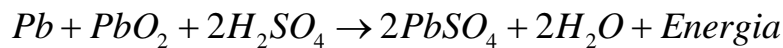
Figura 221

está fornecendo energia. Nas reações químicas que descrevemos acima, nos limitamos a assinalar como reagem quimicamente os corpos, mas, não levamos em conta as energias das reações. Considerando as energias, podemos resumir as reações químicas da carga e da descarga da seguinte maneira:

Carga:



Descarga:



Vemos, portanto, que o acumulador é um armazenador de energia. Pois, quando o carregamos, gastamos energia elétrica, e ele armazena essa energia sob a forma de energia química. Quando o descarregamos, ele converte a energia química em energia elétrica, e nos restitui essa energia.

Pelo fato de o acumulador fornecer corrente elétrica, muita gente pensa que ele seja um armazenador de carga elétrica. Essa é uma noção errada, pois o que ele armazena é energia química.

d. Rendimento

Durante a descarga, o acumulador não fornece toda a energia que ele recebeu durante a carga, mas pouco menos. Chama-se rendimento do acumulador à relação entre a energia que ele fornece na descarga pela energia que recebe na carga. Costuma-se exprimir em porcentagem, isto é:

$$\text{rendimento} = \frac{\text{energia fornecida na descarga}}{\text{energia recebida na carga}} \times 100\%$$

O rendimento dos acumuladores é, em média, de 80%.

e. Capacidade

Este é o elemento mais importante do acumulador. Chama-se capacidade do acumulador à carga elétrica total que ele é capaz de fornecer até se descarregar. Isto é, é o produto da intensidade da corrente que fornece pelo tempo durante o qual deve fornecer essa corrente até se descarregar.

A capacidade é avaliada em ampères-hora. Os acumuladores de chumbo encontrados no comércio tem capacidade de 60 a 80 ampères-hora. A capacidade de 60 ampères-hora significa que o acumulador pode fornecer

corrente de 10 ampères durante 6 horas, ou de 2 ampères durante 30 horas, etc.. Mas, nunca se deve exigir de um acumulador uma corrente demasiadamente alta durante muito tempo. Por exemplo, de um acumulador de capacidade 60 A-h não se deve exigir corrente de 60 ampères durante uma hora, pois tão alta corrente ele somente forneceria durante alguns minutos e logo se descarregaria.

f. Força eletromotriz

Quando carregado, a força eletromotriz de um acumulador de chumbo é de 2,1 volts. À medida que vai se descarregando, sua força eletromotriz vai baixando. Para aumentar a vida do acumulador, isto é, não estragar os eletrodos, nunca se deve deixar a f.e.m. cair abaixo de 1,8 volts. Quando ela atingir esse valor, deve-se imediatamente dar nova carga ao acumulador.

Os acumuladores encontrados no comércio são na verdade associação de três ou seis acumuladores em série, todos montados numa mesma caixa. Cada um dos acumuladores parciais é chamado um elemento. Assim, certos tipos de automóvel usam acumuladores de três elementos, que tem, em plena carga, a força eletromotriz de:

$$3 \times 2,1 \text{volts} = 6,3 \text{volts}$$

Esses são os que na prática, chamamos simplesmente acumuladores de 6 volts. Outros tipos de automóvel usam acumuladores de seis elementos, que tem, em plena carga, a força eletromotriz de:

$$6 \times 2,1 \text{volts} = 12,6 \text{volts}$$

A esses chamamos simplesmente acumuladores de 12 volts.

g. Teste

Para sabermos se um acumulador ainda está carregado, ou se já necessita nova carga, podemos usar dois processos: 1º) com um voltímetro medimos a f.e.m. de cada elemento, e verificamos se é maior que 1,8 volts; 2º) dissemos acima que, durante a descarga, a concentração do ácido sulfúrico vai diminuindo. Mas, quando a concentração de uma solução diminui, sua densidade também diminui. Medindo a densidade da solução de ácido sulfúrico podemos saber se ele já foi muito gasto ou não, e, portanto, se a carga ainda é boa. Existem densímetros especiais para provarmos essa densidade com graduação que já indica o estado do acumulador.

h. Utilização de acumulador e de pilha

As pilhas só devem ser usadas para fornecer correntes muito pequenas, da ordem de miliampères. Quando se necessitam correntes maiores, por exemplo, um ampère ou vários ampères, deve-se usar acumulador. Por exemplo, seria absurdo usarem-se, num automóvel, pilhas em vez de acumulador, pois somente “a partida” do carro consome até 100 ampères; seriam necessárias muitas pilhas, que logo se estragariam. Por outro lado, também seria absurdo usar-se acumulador num rádio portátil, pois esse rádio consome corrente de alguns miliampères, que pode ser fornecida comodamente por pilhas (além disso, há a considerar o peso do acumulador).

Vimos, nas [pilhas de Volta](#) e de [Daniell](#) que, enquanto elas funcionam, o eletrodo de zinco vai se gastando, transformando-se em sulfato de zinco, e que é dessa reação química que provém a energia elétrica da pilha. Se quisermos restaurar as condições primitivas dessas pilhas, precisamos usar novo eletrodo de zinco. Mas, existem pilhas nas quais, para se restaurarem as condições iniciais, não é necessária a substituição de eletrodo, mas, basta passar por elas uma corrente elétrica em sentido oposto ao sentido da corrente que elas fornecem. São chamadas pilhas secundárias, ou acumuladores, sendo este último nome o mais conhecido.

Usam-se atualmente dois tipos de acumulador: o de chumbo e o de Edison.

Acumulador de chumbo

É o mais comum. São desse tipo os acumuladores que se usam nos automóveis.

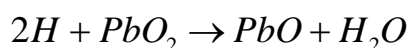
Possui um eletrodo negativo de chumbo, e um positivo de peróxido de chumbo (PbO_2), imersos em uma solução de ácido sulfúrico em água. O eletrodo de peróxido de chumbo é constituído por uma pasta desse óxido moldada em uma grade de chumbo, e preparada de maneira a se tornar muito esponjosa, para aumentar a área em contacto com a solução. O eletrodo negativo de chumbo é também esponjoso, pela mesma razão.

a. Descarga - Reações química na descarga

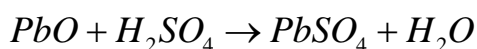
O sulfato de chumbo, sendo insolúvel, fica aderente ao chumbo. Essa reação química é a fonte de elétrons para o acumulador. São os elétrons que provém dessa reação que o chumbo cede ao condutor c que os transporta ao polo positivo. Essa é, portanto, a reação química que liberta carga elétrica, isto é,

que transforma energia química em energia elétrica. Vemos que, enquanto o acumulador funciona, o eletrodo de chumbo vai sendo consumido, e transformado em sulfato de chumbo.

3º) O cátion H^+ se desloca para o peróxido de chumbo, e aí recebe elétrons, que chegam pelo condutor c e se transforma em átomo de hidrogênio. Este hidrogênio reduz o peróxido de chumbo, transformando-o em óxido de chumbo e formando água:



O óxido de chumbo imediatamente reage com o ácido sulfúrico, formando sulfato de chumbo e mais água:



Vemos que, como resultado final da chegada do íon de hidrogênio ao peróxido de chumbo, este se transforma em sulfato de chumbo, que por ser insolúvel, fica aderente à placa de peróxido de chumbo. Duas consequências importantes da descarga, e que não podem ser esquecidas, são: 1ª) o ácido sulfúrico vai desaparecendo, e vai se formando água; então a concentração do ácido sulfúrico diminui; 2ª) os dois eletrodos vão ficando cobertos por sulfato de chumbo.

b. Carga - Reações química na descarga

O sulfato de chumbo que cobre os eletrodos na descarga diminui muito a área desses eletrodos. A diferença de potencial entre eles vai diminuindo, e a resistência interna do acumulador vai aumentando, passando-se a obter uma corrente cada vez menor, até não se obter praticamente nenhuma. Dizemos que o acumulador está descarregado. Para fazê-lo voltar às condições iniciais não é necessário substituir os eletrodos, como nas pilhas; basta ligá-lo a um gerador de f.e.m. de uns 6 volts, ligando o

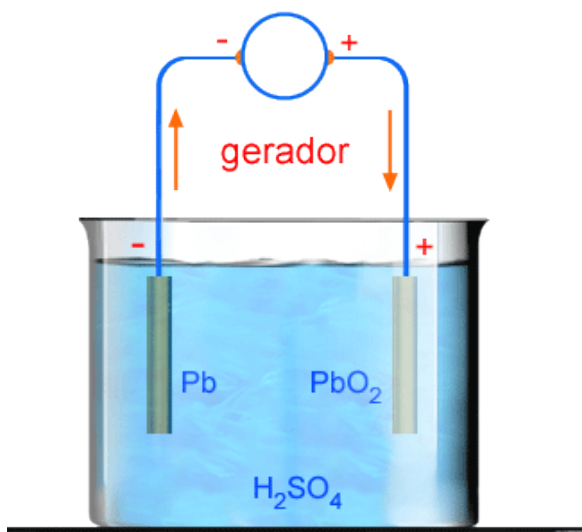
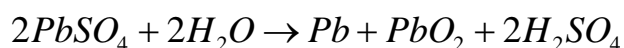


Figura 221

polo positivo do gerador ao positivo do acumulador, e o negativo com o negativo (fig. 221). Passa então pelo acumulador uma corrente em sentido oposto ao da corrente que ele fornece. Essa operação é chamada carga do acumulador. A corrente que passa é chamada corrente de carga. Durante a carga se dá a reação:

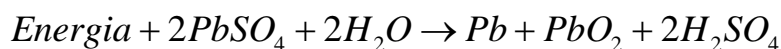


e assim se reconstitui o chumbo, o peróxido de chumbo, e o ácido sulfúrico que haviam sido gastos durante a descarga.

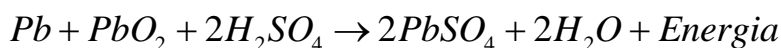
c. Energias gastas e recuperadas

Quando carregamos o acumulador, fazendo passar a corrente elétrica, gastamos energia. Por sua vez, quando o acumulador fornece corrente, ele está fornecendo energia. Nas reações químicas que descrevemos acima, nos limitamos a assinalar como reagem quimicamente os corpos, mas, não levamos em conta as energias das reações. Considerando as energias, podemos resumir as reações químicas da carga e da descarga da seguinte maneira:

Carga:



Descarga:



Vemos, portanto, que o acumulador é um armazenador de energia. Pois, quando o carregamos, gastamos energia elétrica, e ele armazena essa energia sob a forma de energia química. Quando o descarregamos, ele converte a energia química em energia elétrica, e nos restitui essa energia.

Pelo fato de o acumulador fornecer corrente elétrica, muita gente pensa que ele seja um armazenador de carga elétrica. Essa é uma noção errada, pois o que ele armazena é energia química.

d. Rendimento

Durante a descarga, o acumulador não fornece toda a energia que ele recebeu durante a carga, mas pouco menos. Chama-se rendimento do acumulador à relação entre a energia que ele fornece na descarga pela energia que recebe na carga. Costuma-se exprimir em percentagem, isto é:

$$\text{rendimento} = \frac{\text{energia fornecida na descarga}}{\text{energia recebida na carga}} \times 100\% \%$$

O rendimento dos acumuladores é, em média, de 80%.

e. Capacidade

Este é o elemento mais importante do acumulador. Chama-se capacidade do acumulador à carga elétrica total que ele é capaz de fornecer até se descarregar. Isto é, é o produto da intensidade da corrente que fornece pelo tempo durante o qual deve fornecer essa corrente até se descarregar.

A capacidade é avaliada em ampères-hora. Os acumuladores de chumbo encontrados no comércio tem capacidade de 60 a 80 ampères-hora. A capacidade de 60 ampères-hora significa que o acumulador pode fornecer corrente de 10 ampères durante 6 horas, ou de 2 ampères durante 30 horas, etc.. Mas, nunca se deve exigir de um acumulador uma corrente demasiadamente alta durante muito tempo. Por exemplo, de um acumulador de capacidade 60 A-h não se deve exigir corrente de 60 ampères durante uma hora, pois tão alta corrente ele somente forneceria durante alguns minutos e logo se descarregaria.

f. Força eletromotriz

Quando carregado, a força eletromotriz de um acumulador de chumbo é de 2,1 volts. À medida que vai se descarregando, sua força eletromotriz vai baixando. Para aumentar a vida do acumulador, isto é, não estragar os eletrodos, nunca se deve deixar a f.e.m. cair abaixo de 1,8 volts. Quando ela atingir esse valor, deve-se imediatamente dar nova carga ao acumulador.

Os acumuladores encontrados no comércio são na verdade associação de três ou seis acumuladores em série, todos montados numa mesma caixa. Cada um dos acumuladores parciais é chamado um elemento. Assim, certos tipos de automóvel usam acumuladores de três elementos, que tem, em plena carga, a força eletromotriz de:

$$3 \times 2,1 \text{volts} = 6,3 \text{volts}$$

Esses são os que na prática, chamamos simplesmente acumuladores de 6 volts. Outros tipos de automóvel usam acumuladores de seis elementos, que tem, em plena carga, a força eletromotriz de:

$$6 \times 2,1 \text{volts} = 12,6 \text{volts}$$

A esses chamamos simplesmente acumuladores de 12 volts.

g. Teste

Para sabermos se um acumulador ainda está carregado, ou se já necessita nova carga, podemos usar dois processos: 1º) com um voltímetro medimos a f.e.m. de cada elemento, e verificamos se é maior que 1,8 volts; 2º) dissemos acima que, durante a descarga, a concentração do ácido sulfúrico vai diminuindo. Mas, quando a concentração de uma solução diminui, sua densidade também diminui. Medindo a densidade da solução de ácido sulfúrico podemos saber se ele já foi muito gasto ou não, e, portanto, se a carga ainda é boa. Existem densímetros especiais para provarmos essa densidade com graduação que já indica o estado do acumulador.

h. Utilização de acumulador e de pilha

As pilhas só devem ser usadas para fornecer correntes muito pequenas, da ordem de miliampères. Quando se necessitam correntes maiores, por exemplo, um ampère ou vários ampères, deve-se usar acumulador. Por exemplo, seria absurdo usarem-se, num automóvel, pilhas em vez de acumulador, pois somente “a partida” do carro consome até 100 ampères; seriam necessárias muitas pilhas, que logo se estragariam. Por outro lado, também seria absurdo usar-se acumulador num rádio portátil, pois esse rádio consome corrente de alguns miliampères, que pode ser fornecida comodamente por pilhas (além disso, há a considerar o peso do acumulador).

10: Acumulador de Edison, ou de níquel-ferro

Neste acumulador, o polo positivo é de peróxido de níquel, e o negativo é de ferro. O eletrólito é uma solução de hidróxido de potássio ou hidróxido de sódio.

As reações químicas consistem fundamentalmente em passagem do oxigênio do peróxido de níquel para o ferro, durante a descarga, e volta do oxigênio durante a carga. A força eletromotriz é de 1,3 volts.

Este acumulador é usado nos laboratórios, mas não se encontra facilmente no comércio porque é de transporte muito incômodo. O de chumbo é muitíssimo mais usado porque é mais compacto e tem maior força eletromotriz.

11: Nota Histórica

Em torno do ano de 1790 (época da revolução francesa), Galvani, um italiano professor de anatomia, realizou a seguinte experiência: cortou ao meio uma rã, ficando com a metade do tronco e as pernas. Pôs a nu os nervos lombares. Depois, com um arco metálico formado por dois metais, zinco e cobre, com uma extremidade tocava os nervos lombares, e com a outra, um músculo da perna ou da coxa. A cada contacto, os músculos se contraíam, como se a rã estivesse viva (fig. 222). Galvani atribuiu o fenômeno a uma eletricidade que supôs existir na rã. Lançou a ideia de que todo corpo animal possui eletricidade.

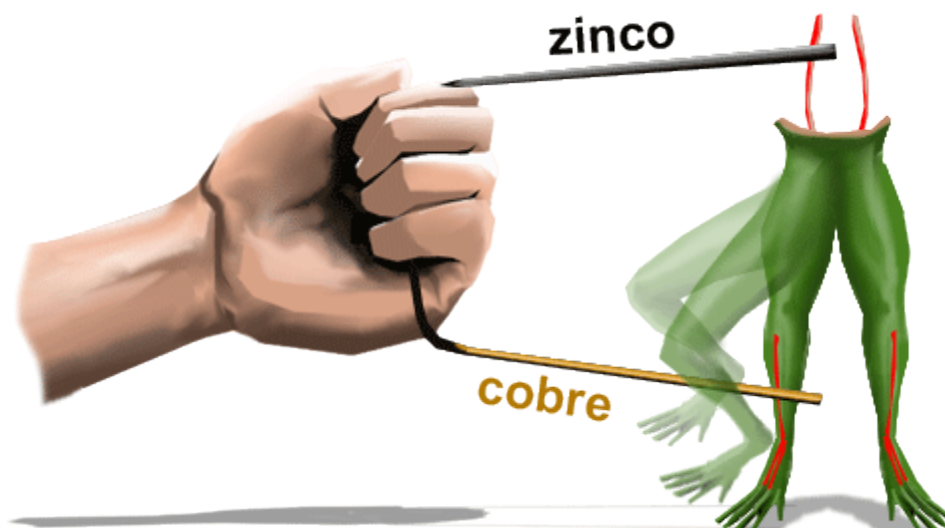


Figura 222

Muitos homens da época apoiaram a interpretação de Galvani, entre eles o próprio Alessandro Volta, que passou a repetir sistematicamente as experiências do anatomista. Posteriormente, Volta observou que, quando usava um arco de um único metal, em vez de usar dois metais, as contrações musculares eram muito mais intensas. Começou então a atribuir mais importância aos metais do que à rã. Abandonou as ideias de Galvani, e fez as seguintes hipóteses:

1ª) que a origem da eletricidade não era o corpo do animal, mas o contacto dos dois metais diferentes com esse corpo.

2ª) que o corpo da rã atuava como condutor, e ao mesmo tempo como um eletroscópio muito sensível.

Depois Volta passou a pesquisar somente com metais e soluções, e em 1.800, chegou a invenção da pilha.

As pilhas de Volta imediatamente se proliferaram por todos os laboratórios do mundo científico da época, porque abriam novos campos para a investigação. Apesar disso, Volta não poderia suspeitar da repercussão de sua descoberta e dos benefícios que ela traria à humanidade. Este é um bom exemplo de como é útil um homem curioso e que se interessa por aquilo que está fazendo: um homem que desejava saber por que os músculos de uma rã se contraem acabou por fazer duas das maiores descobertas de todos os tempos: a corrente elétrica, e a maneira de produzir corrente elétrica.

Resumo das unidades eletrostáticas e eletrodinâmicas estudadas

Grandeza	Símbolo	Unidade CGSES	Unidade MKS	Relação
Carga elétrica	Q ou q	statc	c	$3 \cdot 10^9$
Constante dielétrica	ϵ	$\frac{(\text{statc})^2}{\text{d} \cdot \text{cm}^2}$	$\frac{\text{c}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$	$9 \cdot 10^9$
Densidade elétrica	σ	$\frac{\text{statc}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{c}}{\text{m}^2}$	$3 \cdot 10^5$
Tensão eletrostática	T	$\frac{\text{d}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	10
Intensidade de campo elétrico	\vec{E}	$\frac{\text{d}}{\text{statc}}$	$\frac{\text{N}}{\text{c}}$	$\frac{1}{3 \cdot 10^4}$
Diferença de potencial	V	statv	v	$\frac{1}{3 \cdot 10^2}$

Capacidade	c	statf	F	$9 \cdot 10^{11}$
Fluxo elétrico	Φ	$\frac{d}{statc} \cdot \text{cm}^2$	$\frac{N}{c} \cdot \text{m}^2$	$\frac{1}{3}$
Intensidade de corrente	I ou i	statA	A	$3 \cdot 10^9$
Resistência	R ou r	stat Ω	Ω	$\frac{1}{9 \cdot 10^{11}}$
Resistividade	ρ	stat $\Omega \cdot \text{cm}$	$\Omega \cdot \text{m}$	$\frac{1}{9 \cdot 10^9}$
Condutância	C	statmho	mho	$9 \cdot 10^{11}$
Condutividade	γ	statmho $\cdot \text{cm}^{-1}$	mho $\cdot \text{m}^{-1}$	$9 \cdot 10^9$
f.e.m. e f.c.e.m.	E ou e	statv	v	$\frac{1}{3 \cdot 10^2}$
Trabalho (energia)	τ (W)	erg	j	10^7
Potência	P	erg/seg	$W = \frac{j}{\text{seg}}$	10^7

Nota: A relação dada indica o número de unidades CGS necessárias para perfazerem uma unidade MKS. Exemplo: entre as unidades de carga elétrica está colocada a relação $3 \cdot 10^9$, o que quer dizer que $1c = 3 \cdot 10^9 \text{ statc}$. Entre as unidades de diferença de potencial está indicada a relação $\frac{1}{3} \cdot 10^2$, o que quer dizer que: $1\text{statv} = \frac{1}{3} \cdot 10^2 \text{ v}$
 $1\text{statv} = 1/3 \cdot 10^2 \text{ v}$.

Observações

1ª) As unidades do sistema CGSES tem o nome formado da seguinte maneira: adiciona-se o prefixo STAT ao nome da unidade correspondente do sistema MKS.

A unidade de intensidade de corrente do sistema MKS chama-se ampère; então a unidade de intensidade de corrente do sistema CGSES se chamará statampère. A unidade de resistência do sistema MKS chama-se ohm; então a unidade de resistência do sistema CGSES se chamará statohm.

2^a) No sistema CGSES, em vez de se usar o nome de uma unidade conforme está indicado na 1^a observação, também é permitido escrever-se assim: unidade CGS eletrostática de..... (nome da grandeza).

Exemplo

Tratando-se da unidade de intensidade de corrente tanto podemos indicá-la por statampère como por: unidade CGS eletrostática de intensidade de corrente (abreviadamente: *uCGSESi* ou *ues CGSi*). Tratando-se da unidade de carga elétrica, tanto podemos indicá-la por statcoulomb, como por: unidade CGS eletrostática de carga elétrica (abreviadamente: *uCGSESq* ou *ues CGSq*).

3^a) No sistema CGSES, todas as vezes que não há possibilidade de dúvida, isto é, quando se sabe de antemão qual a grandeza que está sendo tratada, nem há necessidade de se mencionar por extenso: unidade CGS eletrostática de tal grandeza. Basta escrever: unidade eletrostática, ou abreviadamente, *ues*.

Exemplo

Se num problema é sabido que se está tratando de unidades de carga elétrica, não há necessidade de se escrever por extenso: *uCGSE* de carga elétrica, ou *uCGSESq*. Basta escrever: *ues*. Assim, não há necessidade de se escrever o seguinte, por exemplo: a carga elétrica do elétron é $4,8 \cdot 10^{-10} \text{ uCGSESq}$. Basta escrever: a carga elétrica do elétron é $4,8 \cdot 10^{-10} \text{ ues}$.

4^a) No sistema CGSES, como em qualquer outro sistema de unidades, é permitido indicar-se uma unidade por uma combinação de nomes de outras unidades com as quais ela tem relação.

Exemplo

A unidade de intensidade de campo tanto pode ser indicada por $uesCGS|\vec{E}|$ como por $\frac{d}{statc}$, pois campo elétrico é quociente de força por carga elétrica. A unidade de fluxo elétrico tanto pode ser indicada por $uesCGS\Phi$, como por $\frac{d}{statc}cm^2$, pois fluxo é produto de intensidade de campo por área.