

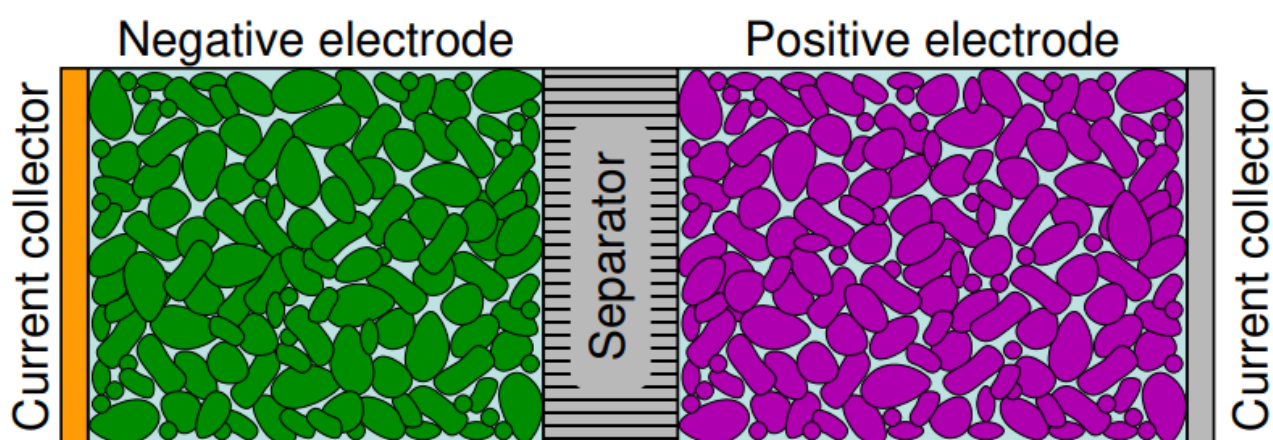
## 1.1.3 Princípios Fundamentais das Células Eletroquímicas

Exploraremos a anatomia fundamental de uma célula eletroquímica, identificando seus componentes funcionais primários e explicando seus propósitos específicos. Uma distinção crucial entre uma **célula de bateria eletroquímica** geral, que será o foco da discussão atual, e uma **célula de bateria de íon-lítio**, que ainda será explorada com mais detalhes. Embora, em última análise, o foco seja nos algoritmos para gerenciar células de íon-lítio, uma compreensão completa dos princípios eletroquímicos básicos é indispensável.

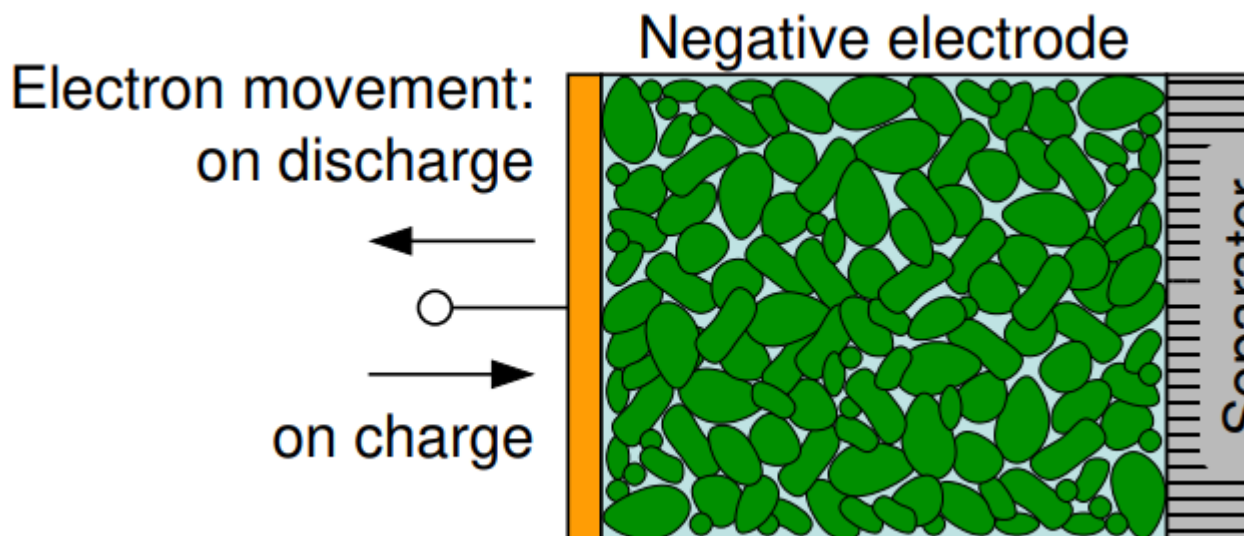
Felizmente, as células de íon-lítio são construídas sobre muitos dos mesmos conceitos fundamentais de suas equivalentes eletroquímicas tradicionais. Elas contêm todas as mesmas peças e componentes essenciais que serão detalhados. Portanto, o conhecimento adquirido aqui, é uma estrutura fundamental que tornará a mecânica única da tecnologia de íon-lítio muito mais fácil de compreender posteriormente.

### Anatomia de uma Célula: Uma Visão Geral dos Componentes Essenciais

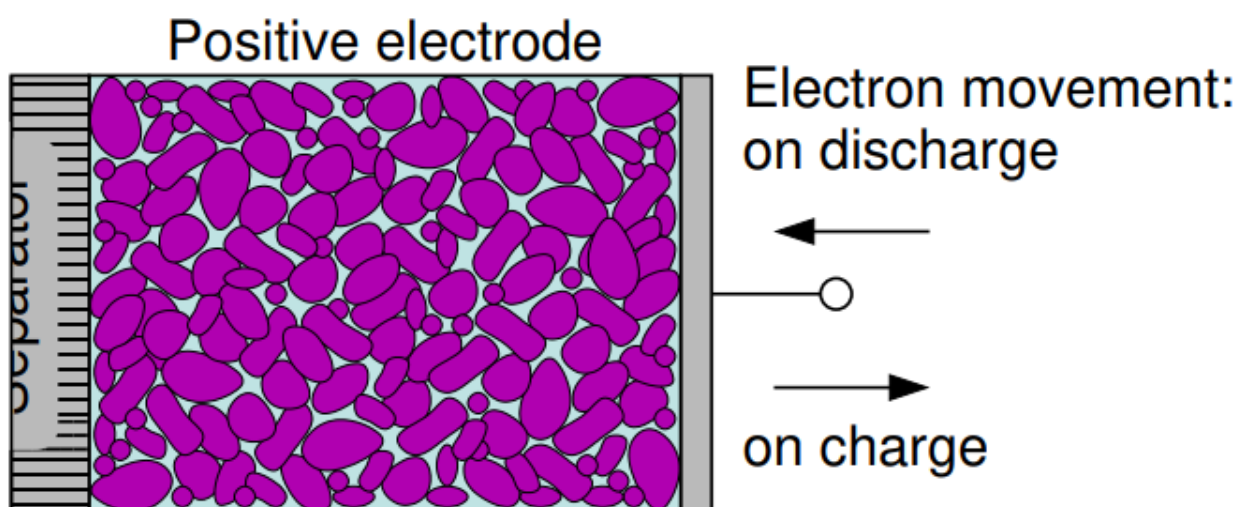
Para visualizar como uma célula é construída, a aula utilizamos um diagrama de seção transversal. Este diagrama ilustra os cinco componentes essenciais dispostos em uma estrutura de camadas.



1. **0 Eletrodo Negativo:** Mostrado como um conjunto de formas verdes no lado esquerdo da ilustração.



2. **O Eletrodo Positivo:** Mostrado como um conjunto de formas roxas no lado direito.



3. **O Eletrólito:** Representado por uma cor azul clara, esta substância preenche o espaço entre e dentro dos eletrodos.
4. **O Separador:** Uma barreira situada entre os eletrodos negativo e positivo.
5. **Os Coletores de Corrente:** Finas folhas metálicas representadas nas bordas externas de cada eletrodo (laranja para o lado negativo, cinza para o positivo).

É importante notar que este esquema de cores é puramente para fins ilustrativos; os compostos químicos reais dentro de uma célula de bateria são tipicamente pretos ou cinzas. Este diagrama específico corresponde mais diretamente à estrutura física de uma célula de íon-lítio moderna, mas mesmo células eletroquímicas com diferentes arranjos físicos possuirão esses mesmos cinco componentes funcionais.

## Os Eletrodos: Motores da Reação Química

As células de bateria operam movendo carga elétrica, na forma de elétrons, entre seus dois eletrodos. Você pode pensar nesses eletrodos como

reservatórios que armazenam e liberam essa carga através de reações químicas cuidadosamente controladas.

## 0 Eletrodo Negativo

O **eletrodo negativo** é o componente que fornece elétrons ao circuito externo durante o processo de descarga. Em uma célula eletroquímica típica, como uma bateria de chumbo-ácido, este eletrodo é frequentemente construído a partir de um metal, uma liga metálica ou uma pasta metálica.

- **Durante a Descarga:** O eletrodo negativo cede elétrons. Este processo químico, no qual um composto perde elétrons, é conhecido como **oxidação**.
- **Durante a Carga:** Ocorre o oposto. Uma tensão externa é aplicada, atuando como uma pressão elétrica que força os elétrons *do* circuito externo *para dentro* do eletrodo negativo. Este processo, no qual um composto ganha elétrons, é conhecido como **redução**.

Um ponto de grande confusão potencial surge com os termos **ânodo** e **cátodo**. Por definição, o **ânodo** é o eletrodo onde ocorre a oxidação, e o **cátodo** é onde ocorre a redução. Portanto, durante a **descarga**, o eletrodo negativo é o **ânodo**. No entanto, durante a **carga**, ele está sendo reduzido, tornando-se tecnicamente o **cátodo**. Como é confuso chamar a mesma parte física por dois nomes diferentes, a maioria da literatura e dos engenheiros se referirá ao eletrodo negativo como o **ânodo**, independentemente de a célula estar carregando ou descarregando.

## 0 Eletrodo Positivo

O **eletrodo positivo** é o componente que aceita elétrons do circuito externo durante o processo de descarga. Em células eletroquímicas padrão, ele é frequentemente feito de um óxido metálico ou um sulfeto. Em uma célula de chumbo-ácido, por exemplo, o eletrodo positivo é feito de óxido de chumbo.

- **Durante a Descarga:** O eletrodo positivo aceita elétrons, o que significa que está sendo **reduzido**.
- **Durante a Carga:** Ele é forçado a ceder elétrons de volta ao circuito externo, o que significa que está sendo **oxidado**.

Isso leva à mesma confusão terminológica que ocorre com o eletrodo negativo. Durante a **descarga**, o eletrodo positivo é o **cátodo** (onde a redução acontece). Mas durante a **carga**, ele está sendo oxidado, tornando-se tecnicamente o **ânodo**. Novamente, por simplicidade, a literatura quase universalmente se refere ao eletrodo positivo como o **cátodo**.

## Eletrólito e Transporte de Íons

Enquanto os elétrons se movem através do circuito externo, um movimento correspondente de carga deve ocorrer *dentro* da célula para manter a neutralidade de carga local. Se um eletrodo cede um elétron de carga negativa, uma carga positiva fica para trás e precisa ser equilibrada. Esse balanceamento de carga interno é realizado pelo movimento de **íons** através de um meio chamado eletrólito.

O **eletrólito** é uma substância química que contém íons móveis, mas não conduz elétrons. Ele é um **condutor iônico**, mas um **isolante eletrônico**. Essa propriedade dupla crucial força os elétrons a viajarem pelo circuito externo para realizar trabalho útil, em vez de pegarem um atalho pelo interior da célula (o que causaria autodescarga). Em uma bateria de chumbo-ácido, o eletrólito é ácido sulfúrico diluído em água.

Os íons dentro do eletrólito são categorizados da seguinte forma:

- **Cátions:** São íons com carga positiva. Durante a descarga, eles se movem da região do eletrodo negativo em direção à região do eletrodo positivo para equilibrar a carga.
- **Ânions:** São íons com carga negativa. Durante a descarga, eles se movem na direção oposta, da região do eletrodo positivo em direção à região do eletrodo negativo.

## Estruturas de Suporte: Separador e Coletores de Corrente

Dois outros componentes físicos são essenciais para o funcionamento adequado e a integridade estrutural da célula.

- **O Separador:** Esta é uma barreira física colocada entre os eletrodos positivo e negativo. Sua única função é evitar que eles se toquem, o que causaria um **curto-circuito** interno imediato e uma descarga rápida e descontrolada da célula. O separador é tipicamente uma membrana porosa (feita de um polímero ou manta de vidro) com furos microscópicos. Esses poros são grandes o suficiente para permitir que íons e o eletrólito passem livremente, mas pequenos o suficiente para manter os materiais dos eletrodos física e eletricamente isolados.
- **Os Coletores de Corrente:** Frequentemente, os materiais dos eletrodos são fabricados como pós ou pastas, que não podem ser conectados diretamente aos terminais externos da célula. Os **coletores de corrente** são folhas metálicas que servem como ponte. O pó do eletrodo é aderido à superfície do coletor de corrente, permitindo que os elétrons fluam do material do eletrodo, para a folha metálica e para fora, até o terminal da célula (e vice-versa).

# Uma Análise Comparativa das Químicas de Bateria Comuns

A seguir uma tabela que resume os componentes usados em vários tipos comuns de células eletroquímicas.

Tipo de Célula	Eletrodo Negativo	Eletrodo Positivo	Eletrólito	Tensão Nominal
Chumbo-Ácido	Chumbo (Pb)	Óxido de Chumbo (PbO <sub>2</sub> )	Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	~2,1 V
Pilha Seca	Zinco (Zn)	Óxido de Manganês (MnO <sub>2</sub> )	Cloreto de Zinco (ZnCl <sub>2</sub> )	~1,6 V
Alcalina	Zinco (Zn)	Óxido de Manganês (MnO <sub>2</sub> )	Hidróxido de Potássio (KOH)	~1,5 V
Níquel-Cádmio (NiCad)	Cádmio (Cd)	Hidróxido de Níquel (NiOOH)	Hidróxido de Potássio (KOH)	~1,2 V
Zinco-Ar	Zinco (Zn)	Oxigênio (O <sub>2</sub> ) do ar	Hidróxido de Potássio (KOH)	~1,4 V

Esta tabela destaca como diferentes combinações de materiais resultam em células com diferentes tensões e características, adequadas para uma ampla gama de aplicações, desde dispositivos de baixa potência (Pilha Seca) até aplicações de alta potência (Alcalina) e usos recarregáveis (NiCad).