

## 1.4.3 Por que um BMS deve estimar o SOC e o SOH

Tendo abordado as três primeiras áreas de requisitos de um Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), vamos nos aprofundar no quarto e talvez mais intensivo requisito do ponto de vista algorítmico: **Gerenciamento de Desempenho**. Esta função crítica envolve as tarefas complexas de calcular estimativas precisas e em tempo real do **Estado de Carga (SOC)** e da potência disponível do pacote de bateria, bem como gerenciar o **balanceamento ou equalização** das células individuais dentro do pacote.

### As Duas Métricas Fundamentais: Energia e Potência

Fundamentalmente, qualquer aplicação alimentada por um pacote de bateria precisa saber as respostas para duas perguntas básicas sobre o estado atual da bateria. Para ilustrar isso, apresentamos uma analogia de um copo de refrigerante e um canudo.

#### Quanta energia está disponível?

- **Conceito:** Energia é a quantidade total de trabalho que a bateria pode realizar. Em um veículo elétrico, isso se traduz diretamente em autonomia de condução.
- **Analogia:** A energia disponível é como a quantidade de refrigerante no copo. Uma bateria totalmente carregada é um copo cheio; uma bateria descarregada é um copo vazio.

#### Quanta potência está disponível?

- **Conceito:** Potência é a taxa na qual a energia pode ser entregue ou absorvida. Isso é crítico para aplicações como veículos híbridos que precisam lidar com aceleração rápida (alta potência de descarga) e frenagem regenerativa (alta potência de carga).
- **Analogia:** A potência disponível é como o diâmetro do canudo. Um canudo largo permite que você extraia o refrigerante rapidamente (alta potência), enquanto um canudo estreito o limita a uma taxa lenta (baixa potência).

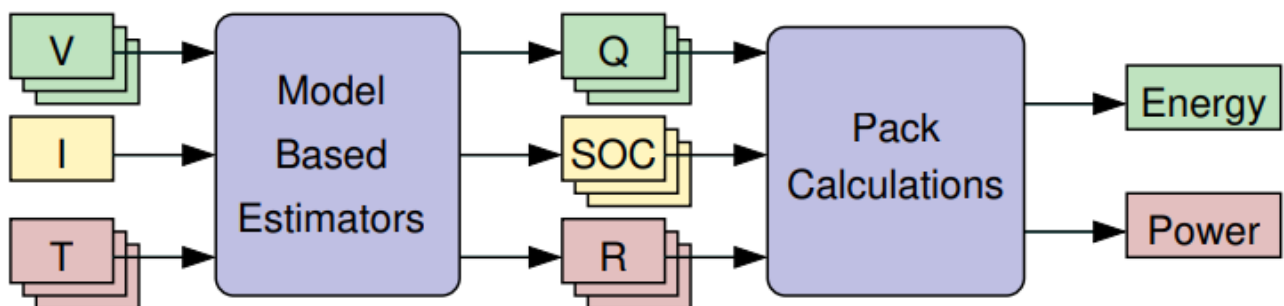
## A Hierarquia da Estimação: Da Medição à Análise

Um desafio fundamental no gerenciamento de baterias é que não existem sensores que possam medir diretamente a energia ou a potência disponíveis

de uma bateria. Essas grandezas críticas devem ser estimadas através de um processo de múltiplas camadas. Esta hierarquia da estimação é o problema central que os algoritmos avançados de BMS são projetados para resolver.

- **0 Objetivo:** As saídas finais que precisamos são estimativas de **Energia e Potência** disponíveis.
- **Entradas de Primeiro Nível:** Para calcular a energia e a potência, primeiro precisamos conhecer três propriedades internas chave das células da bateria: sua **Capacidade** total ( $Q$ ), seu **Estado de Carga (SOC)** atual e sua **Resistência** interna ( $R$ ).
- **0 Segundo Desafio:** No entanto, também existem sensores que possam medir diretamente a capacidade, o estado de carga ou a resistência interna de uma célula. Essas grandezas, que descrevem o estado interno da bateria, também devem ser estimadas.
- **A Base (Grandezas Mensuráveis):** Todo o processo de estimação deve ser construído sobre as grandezas físicas que podemos medir diretamente com sensores: as **tensões** individuais das células, a **corrente** geral do pacote e várias **temperaturas** de células ou módulos.

A tarefa central dos algoritmos de gerenciamento de desempenho do BMS, portanto, é usar as entradas brutas e mensuráveis (tensão, corrente, temperatura) para produzir estimativas precisas dos estados internos não mensuráveis (SOC, Capacidade, Resistência), que são então usadas para calcular as saídas finais desejadas (Energia, Potência).



## 0 Alto Custo de uma Estimação Ruim

O método usado para realizar essa estimação tem profundas consequências no mundo real. Embora existam métodos de estimação simples, eles são muitas vezes imprecisos e levam a problemas significativos:

- **Corte Abrupto de Potência:** Se um BMS com um algoritmo ruim superestima a potência disponível, um motorista de veículo pode começar a acelerar, apenas para as tensões das células caírem subitamente abaixo de seu limite seguro. Isso poderia forçar o sistema a cortar

abruptamente a potência para proteger a bateria, criando um grande risco de segurança e uma péssima experiência para o usuário.

- **Dano Acelerado às Células:** A alternativa é permitir que a condição insegura persista para evitar um corte súbito de potência, mas isso causará danos irreversíveis às células da bateria.
- **A Solução de Contorno Comum (Sobredimensionamento e Subutilização):** A maneira mais comum pela qual os engenheiros compensam a incerteza de algoritmos de estimação ruins é **sobredimensionar** o pacote de bateria. Eles instalam mais células (e, portanto, mais capacidade, custo, peso e volume) do que a aplicação realmente requer. Em seguida, eles **subutilizam o desempenho**, por exemplo, dizendo à aplicação hospedeira que apenas 40 quilowatts de potência estão disponíveis quando o algoritmo calcula 50 quilowatts. Essa margem de segurança conservadora garante que as células nunca sejam estressadas, mas significa que o cliente pagou por uma bateria cara e superdimensionada, cujo potencial total nunca pode ser usado.

## A Abordagem Ideal: Uma Introdução à Filtragem de Kalman

Claramente, um método de estimação melhor é necessário para evitar esses resultados caros e inseguros. A solução ótima para este tipo de problema foi desenvolvida pelo matemático Rudy Kálmán. O **filtro de Kalman** é um poderoso conjunto de equações matemáticas que fornece a maneira ideal de estimar o estado interno oculto de um sistema dinâmico quando você só pode medir suas entradas e saídas.

Esta é uma descrição perfeita do problema de gerenciamento de baterias. Ainda vamos dedicar tempo a ensinar a teoria e a implementação prática do filtro de Kalman e suas variações não lineares avançadas (como os Filtros de Kalman Estendido e de Ponto Sigma) para produzir estimativas quase ótimas e altamente precisas do estado interno de uma bateria.