

# **Baterias de Lítio Caseiras**

## **Como Construir Seu Próprio Jogo de Baterias**

Para: Casas, Carros elétricos, RC Veículos, Drones,  
Bicicletas elétricas, Ou para qualquer outra aplicação

Roberto Saldo

# Índice

## **Capítulo 1: Introdução**

Usos das baterias de lítio

Como células de bateria de lítio funcionam

## **Capítulo 2: Fatores de forma das células de lítio**

Células em forma de bolsa

Células Prismáticas

Células Cilíndricas

## **Capítulo 3: Tipos de células de lítio**

Íon de Lítio (íon de Li)

Óxido de Manganês de Lítio (LiMn2O4 ou manganês de Li)

Óxido de Cobalto de Lítio (LiCoO2, co de Li ou cobalto de Li)

Óxido de Cobalto Manganês Níquel de Lítio (LiNiMnCoO2 ou NMC)

Óxido de Alumínio Cobalto Níquel de Lítio (LiNiCoAlO2, NCA ou NCR)

Polímero de Lítio (li-pol ou lipo ou RC lipo)

Fosfato de Ferro de Lítio (LiFePO4)

Resumo Geral da Célula de Bateria de Lítio

## **Capítulo 4: Obtenção de células de bateria de lítio**

Comprando novas células

Utilizando células recuperadas

Comprando módulos de baterias de carros elétricos usados

## **Capítulo 5: Taxas das células**

Capacidade

Taxa máxima de descarga

Taxa C

Taxa máxima de carga

Número máximo de ciclos

## **Capítulo 6: Combinando células de bateria de lítio para fazer jogos de bateria**

Aumentando a voltagem utilizando conexões em série

Aumentando a capacidade utilizando conexões paralelas

Combinando conexões em série e paralelas

## **Capítulo 7: Segurança**

O perigo de curtos circuitos

O efeito da temperatura em células de lítio Manuseio e armazenamento

## **Capítulo 8: Sistemas de Gestão das Baterias**

Por que uma bateria precisaria de BMS?

Desvantagens de um BMS

Conectando um BMS

## **Capítulo 9: Métodos de construção**

Mantendo as células unidas fisicamente

Juntando células em série e em paralelo

Fusíveis no nível da célula

## **Capítulo 10: Layout e design da bateria**

Voltagem

Capacidade

Corrente contínua máxima

Escolhendo as células apropriadas

Potência da corrente

Ciclo de vida

Peso

Tamanho

Segurança

Agrupando células em uma bateria

Fazendo baterias de diferentes formatos

## **Capítulo 11: Fazendo conexões de baterias**

Considerações de segurança

Combinando as células

Alinhamento e contenção da célula

Conexões parafusadas

Conexões com conector de fios

Conexões de solda por pontos

Conexões em série x paralelas

Conectando o BMS

Conectando fios de carga e descarga

Conectando os fios de equilíbrio

Adicionando um conector de equilíbrio

Realizando checagens finais de qualidade e performance

## **Capítulo 12: Vedando a bateria**

Caixas rígidas

Plástico termo retrátil

Problemas de resfriamento

## **Capítulo 13: Carregando baterias de lítio**

Carregamento com Corrente Constante, Voltagem Constante

Carregando com um BMS

Carregando sem um BMS Temperatura de carregamento

## **Capítulo 14: Aumentando o ciclo de vida**

Carregue a uma voltagem máxima menor

Descarga a uma voltagem mínima maior

Carga e descarga a baixas correntes

Mantenha as células resfriadas

## **Capítulo 15: Descartando baterias de lítio**

## **Capítulo 16: Exemplos de projetos de construção de baterias**

Bateria reserva de 5V e carregador de dispositivos USB

Bateria RC lipo de 12s para skate elétrico

Bateria triangular para bicicleta elétrica de 10s (36V)

Célula de bateria prismática para carro elétrico de 38s (120 V) LiFePO4

Bateria de armazenamento de energia de casa 18650 de 14s (52 V) 18650

Bateria FPV ou drone RC de 4s (14.8 V) 18650

**Conclusão**

**Referências**

## Índice

Isenção de responsabilidade:

Baterias de lítio podem ser perigosas. Elas contêm uma grande quantidade de energia em um pequeno volume, e são feitas especificamente para liberar esta energia rapidamente. Quando utilizadas corretamente, elas podem ser uma forma segura e eficiente de prover energia para qualquer coisa. No entanto, quando utilizadas inapropriadamente ou sem cuidado, baterias de lítio possuem o potencial de causar incêndios devastadoras que podem resultar em perda de propriedade e de vida.

Este livro foi feito para ser um guia educacional. Por favor não tente recriar nada que você vê neste livro ou na internet sem orientação e treinamento profissional. Sempre utilize equipamentos de segurança. Sempre siga as práticas de segurança. Nunca deixe baterias de lítio carregando sem supervisão. Use sua cabeça, seja inteligente e cauteloso.

# Capítulo 1: Introdução

Baterias de lítio existem desde os anos 70, em várias formas, e inovações nos anos 80 e 90 levaram às células de bateria de lítio que conhecemos hoje em dia. Pesquisas recentes sobre baterias de lítio produziram células de bateria capazes de ter um desempenho extremo, por exemplo, recarregando 100% em apenas alguns segundos. No entanto, estes avanços são estritamente experimentais e não veremos sua comercialização por um tempo. As informações neste livro cobrem os tipos de bateria de lítio que estão disponíveis comercialmente hoje em dia, e que provavelmente continuarão disponíveis no futuro.

## Usos das baterias de lítio

Hoje em dia, baterias de lítio são utilizados para uma infinidade de aplicações. Elas podem ser encontradas em qualquer lugar, desde veículos elétricos a trajes espaciais da NASA. Devido à sua leveza e densas propriedades energéticas, as baterias de lítio são perfeitas para uma grande gama de utilidades.

No passado, baterias de lítio eram majoritariamente utilizadas por fabricantes de equipamentos originais (OEMs) para uso em bens de consumo. Estas grandes fábricas construíram baterias de lítio voltadas para suas necessidades para produtos específicos ou grandes clientes. Se um amador quisesse um tamanho ou formato de bateria que não existisse, ele não teria sucesso em conseguir. No entanto, hoje em dia há diversas baterias e células de lítio que estão disponíveis para os consumidores utilizarem como bem entenderem.

Eu fui apresentado ao mundo das baterias personalizadas de lítio quando comecei a desenvolver projetos (VEs). Tenho trabalhado com elas e aprendido muito a anos. O número e variedade de baterias de lítio disponíveis para o mercado consumidor sempre foi pequena. Se eu quisesse um tamanho específico de jogo de bateria que já não existisse, eu não tinha outra escolha, a não ser fazer eu mesmo. Isto abriu todo um novo mundo para mim. De repente, eu podia construir baterias de qualquer voltagem, qualquer capacidade, a principalmente, qualquer tamanho e formato que eu quisesse.



Mas baterias de lítio caseiras não são limitadas apenas ao mundo dos Veículos Elétricos. Existem centenas de utilidades para baterias de lítio caseiras!

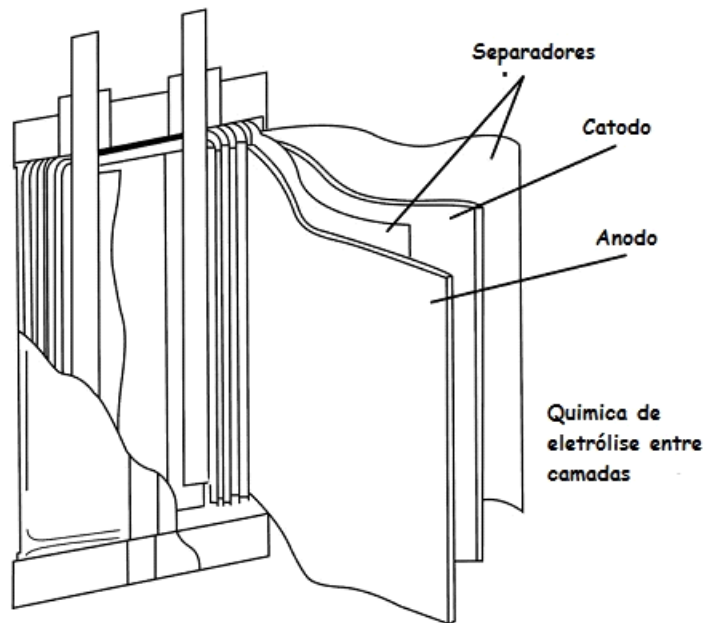
Embora os veículos elétricos estejam se tornando cada vez mais acessíveis no mercado consumidor, pode ser ainda mais barato (e divertido) construir um você mesmo. Muitas pessoas convertem todos os tipos de veículos em veículos elétricos, e eles precisam de baterias para isto. A não ser que você queira comprar uma bateria cara especialmente construída para veículos, você precisará saber como montar seu próprio jogo de baterias a partir de células de bateria de lítio.

Assim como veículos elétricos, baterias para casa estão se tornando cada vez mais populares. Uma bateria de lítio atrás de seu guarda roupa ou escondido na garagem pode alimentar uma casa por dias em caso de um apagão. Elas também são ótimas para armazenar energia produzida na sua própria casa, com de painéis solares ou turbinas eólicas. Sistemas de armazenamento de baterias para casa como o Tesla Powerwall são ótimos produtos OEM, mas você ainda pode construir seu próprio sistema personalizado, voltado para suas necessidades únicas. Tudo o que você precisa é de conhecimento sobre baterias!

Drones, baterias reserva, brinquedos, robôs, e inúmeras outras utilidades são todas oportunas para baterias de lítio caseiras. Este livro irá ensinar você a projetar e construir baterias de lítio para todas estas utilidades e mais. Prepare-se, porque quando você terminar este livro, você estará cheio de conhecimento e pronto para sair e dominar o mundo abrindo diversas oportunidades de negócios lucrativos!

## Como células de bateria de lítio funcionam

Apesar de passar por anos de pesquisa e desenvolvimento, os processos elétricos e químicos que permitem que as células de bateria de lítio funcionem na verdade é bem simples. Como as baterias de íon de lítio são as formas de células de bateria de lítio mais comuns, vamos dar uma olhada em como as células típicas funcionam.



De cima para baixo: Separador, Cátodo, Ânodo, Química de preenchimentos de eletrólitos entre camadas

Uma célula de íon de lítio é composta por quatro partes:

- Cátodo (ou terminal positivo)
- Ânodo (ou terminal negativo)
- Eletrólito
- Separador poroso

O cátodo varia entre tipos diferentes de células, mas é sempre um composto de lítio misturado com outros materiais. O ânodo é quase sempre grafite, e às vezes inclui traços de outros elementos. O eletrólito é geralmente um composto orgânico que contém sais de lítio para transferir íons de lítio. O separador poroso permite que os íons de lítio passem por eles enquanto ainda separa o ânodo do cátodo dentro da célula.

Quando a célula é descarregada, íons de lítio vão do ânodo ao cátodo ao passar pelo eletrólito. Isto descarrega elétrons no lado do ânodo, alimentando o circuito e qualquer dispositivo conectado a este circuito. Este processo é demonstrado no diagrama abaixo. Quando a célula é recarregada, este processo é revertido, e os íons de lítio passam de volta do cátodo ao ânodo, o que é o oposto do diagrama abaixo.

O processo na verdade é bem simples. As principais diferenças (e onde as coisas ficam um pouco mais complicadas) estão no formato das células e suas pequenas mudanças químicas. Vamos cobrir todas estas informações nos próximos dois capítulos.

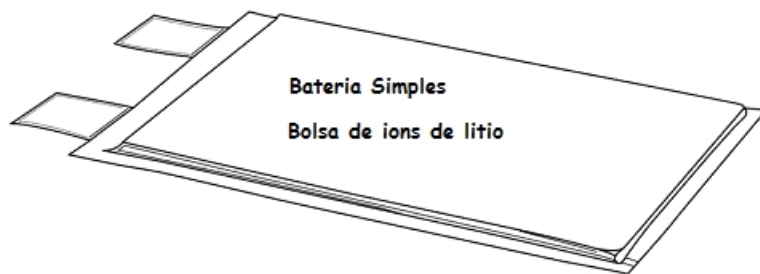
## Capítulo 2: Fatores de forma das células de lítio

Células de bateria de lítio estão disponíveis em uma variedade de diferentes fatores de forma, mas ainda assim sua construção subjacente é sempre a mesma. Todas as células de bateria de lítio possuem um eletrodo positivo (cátodo), um eletrodo negativo (ânodo), e um material eletrolítico, e algum tipo de separador poroso entre eles que permite que os íons de lítio se movam entre o cátodo e o ânodo. Vamos falar sobre como mudanças na química de diferentes

células de íon de Li podem afetá-las no próximo capítulo. Por enquanto, a principal diferença entre as várias formas das células de lítio é a forma em que são montadas.

## Células em forma de bolsa

As células em forma de bolsa são a forma mais simples das células de bateria. Elas parecem com uma bolsa de folha de alumínio, e possui dois terminais ao fim da bolsa. Dentro da bolsa estão um cátodo e um ânodo em lados opostos separados pelo separador poroso, e com um eletrólito em cada lado do separador. Este sanduíche cátodo-eletrólito-ânodo é dobrado para trás e para frente várias vezes dentro da bolsa para aumentar a capacidade da bateria.



Não há tamanhos padrão para as células em forma de bolsa. Elas são produzidas por diversas empresas diferentes e geralmente são feitas em tamanhos exatos para produtos específicos, como celulares, para certificar de que eles aproveitem o espaço o máximo possível. A produção em volumes tão grandes permite a falta de padronização de tamanhos. Quando você pode mandar fazer milhões de células de baterias, não é tão importante se o distribuidor tem seu tamanho no estoque ou não.

A vantagem das células em forma de bolsa é que elas são leves e baratas para produzir. A maior desvantagem é que elas não possuem proteção exterior, e, portanto, podem ser danificadas se não estiverem protegidas em algum tipo de capa protetora. A falta de uma capa exterior dura significa que elas são a forma mais leve e com maior eficiência de espaço para produzir uma célula de bateria de lítio. Células em forma de bolsa geralmente são utilizadas em dispositivos

como laptops e celulares devido ao seu uso eficiente do espaço. Estes dispositivos também servem como proteção para a frágil célula em forma de bolsa dentro deles.

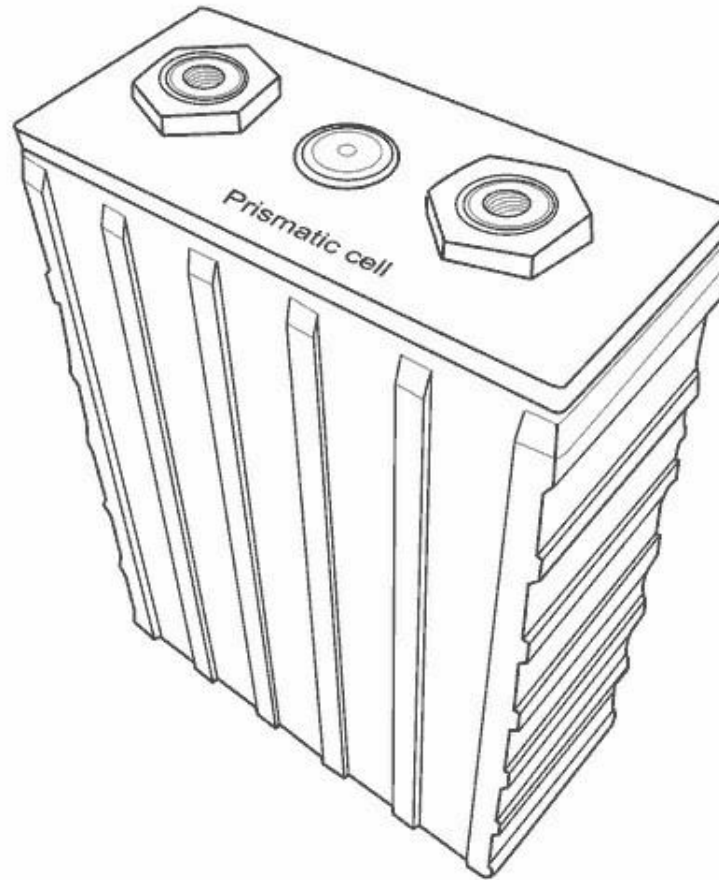
Células em forma de bolsa na verdade atuam melhor quando estão contidas em algum tipo de estrutura rígida ou semirrígida que pode fazer uma pequena quantidade de pressão nas células. Isto ajuda a manter todas as camadas da célula em contato, e previne a micro-delaminação que pode degradar a performance da célula com o tempo.

Quando uma célula em forma de bolsa envelhece, ela pode começar a expandir ou “inchar”, como às vezes chamamos. Isto geralmente é devido aos pequenos curtos interiores que ocorrem com o passar do tempo à medida em que a bateria envelhece, criando gases que incham a célula. Como as células em forma de bolsa são completamente vedadas, o gás não possui por onde escapar, e assim fica parecido com um travesseiro.

A expansão da célula em forma de bolsa resulta em uma redução na performance da célula, à medida em que as camadas da célula delaminam. Algum nível de acúmulo de gás pode ser retido pela estrutura da célula em forma de bolsa, mas quando o acúmulo do gás é muito grande, a bolsa pode explodir. Isto é fenômeno muito raro, mas muito bem documentado. A ruptura libera uma grande quantidade de gás inflamável – não é uma situação muito legal de se estar.

## Células Prismáticas

As células prismáticas são bem parecidas com as células de bolsa, exceto que elas possuem a adição de uma capa rígida retangular fora da célula. Isto dá à célula um formato retangular de prisma (ou prismático). As células prismáticas possuem, portanto, um pouco menos de eficiência de espaço que as células em forma de bolsa, mas também são mais duráveis que as células em forma de bolsa. Enquanto as células em forma de bolsa precisam ser manuseadas com cuidado, as células prismáticas podem aguentar mais choques, embora ainda possam ser frágeis.

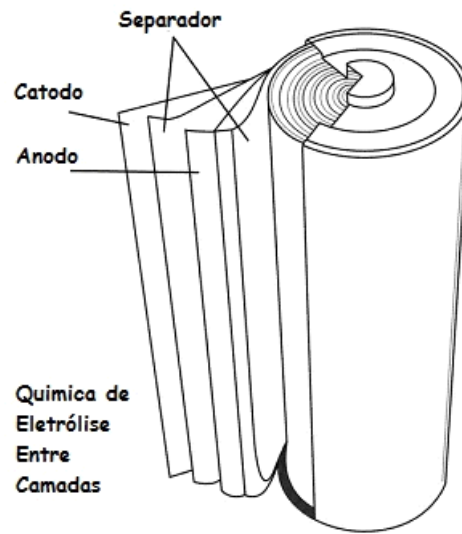


Ao contrário das células em forma de bolsa, que possuem finas abas terminais, as células prismáticas geralmente possuem terminais rosqueados que permitem que uma porca ou parafuso seja utilizado para conexões. Isto faz com que seja mais fácil juntar as células prismáticas a módulos de baterias maiores. As células prismáticas grandes de 20Ah a 100 Ah ou mais são geralmente utilizadas em grandes dispositivos de armazenamento de energia, como baterias para a casa ou veículos elétricos caseiros. Não há dimensões padrão para células prismáticas, mas elas geralmente vêm em várias capacidades com incrementos de 5-10 Ah.

## Células Cilíndricas

As células cilíndricas são as baterias no estilo AA, com a qual todos estamos familiarizados devido aos controles remotos, lanternas, e outros eletrônicos. Elas vêm em uma grande variedade de tamanho (a maior parte é maior que as baterias AA normais) mas todas compartilham da mesma forma cilíndrica e capa rígida de metal.

As células cilíndricas são produzidas ao enrolar quantidades do mesmo conteúdo de uma célula em forma de bolsa, que então é colocado em um cilindro metálico com um terminal positivo e negativo em ambas as extremidades do cilindro. Estas células não possuem tanta eficiência de espaço devido ao enrolamento das camadas internas e a adição da parede cilíndrica e as tampas nas extremidades. No entanto, células cilíndricas são o tipo mais robusto de células de bateria de lítio, e não precisam de nenhuma moldura ou suporte externo.



De cima para baixo: Separador, Cátodo, Ânodo, Química de preenchimentos de eletrólitos entre camadas

Ao contrário das células em forma de bolsa e prismáticas, as células cilíndricas são produzidas em tamanhos padrão. As células de bateria de lítio cilíndricas mais comuns são as células 18650, chamada assim por seu diâmetro de 18mm e comprimento de 65mm. A 18650 é a célula cilíndrica mais utilizada em laptops, ferramentas elétricas, lanternas e outros dispositivos que precisam de células de lítio cilíndricas. Outros dois tamanhos comuns das células cilíndricas são o 14500, que possui 14mm de diâmetro de 50mm de comprimento e possui o mesmo tamanho que uma bateria AA padrão, assim como o 26650, que possui 26mm de diâmetro de 65mm de comprimento. A 18650, que cabe bem nomeio destes três tamanhos mais comuns, possui o maior uso, e está disponível em um grande número de fabricantes.

Em 2017, a Tesla começou a produzir o novo formato de célula 21700 que eles co-criaram com a Panasonic. A 21700 é uma célula um pouco maior que a 18650 e vem com um aumento decente em sua capacidade, comparando com as 18650 atuais. A célula foi projetada



especificamente para veículos Tesla, e provavelmente demorará alguns anos até que se torne disponível para as pessoas as incorporarem em seus próprios projetos de bateria caseiros.

Também existe uma série de células cilíndricas LiFePO<sub>4</sub> feitas pela empresa Headway que estão disponíveis nos tamanhos 38120 e 40152, que possuem 38mm de diâmetro, 120mm em comprimento e 40mm de diâmetro, 152mm em comprimento, respectivamente. Estas são obviamente células cilíndricas muito maiores e possuem capacidade muito maior que as células 18650. Estas células são as únicas células cilíndricas que possuem terminais parafusados para conexões fáceis. A maior parte das outras células cilíndricas devem ser soldadas para conectá-las.

## Capítulo 3: Tipos de células de lítio

Nenhuma célula de bateria de lítio é criada igualmente. Existem algumas químicas diferentes de baterias de lítio que possuem propriedades e especificações diferentes. Todas elas possuem suas vantagens e desvantagens únicas, então vamos compará-las.

## Íon de Lítio (íon de Li)

Íon de Li é o tipo de bateria de lítio mais comum utilizado em eletrônicos para consumidores, como celulares, laptops, ferramentas elétricas, etc. Elas possuem a maior energia a relação de peso e são também algumas das células com maior densidade de energia, o que significa que você pode colocar muita energia em um pequeno volume.

Dependendo do tipo exato, as células de íon de Li são células relativamente seguras, pelo menos no tangente às baterias de lítio. A maior parte das células de íon de Li não irão pegar fogo se forem perfuradas ou se a célula for extremamente danificada, mas isto pode acontecer com alguns tipos de íon de Li, e já foi visto várias vezes. As chances de incêndio sempre estão presentes em baterias de lítio, mas geralmente são causados por negligência ou abuso de uma célula ou bateria de lítio. Fazer a bateria ter um curto circuito é um exemplo comum desta negligência, mas vamos falar mais sobre curto circuitos no Capítulo 7 sobre segurança.

Células de íon de Li também possuem ciclos de vida relativamente longos. Os mais curtos estão avaliados como aproximadamente 300 ciclos até que eles alcancem 70-80% de sua capacidade inicial, enquanto o ciclo mais longo pode durar até 1000 ciclos. Claro que há formas de aumentar o número de ciclos que você pode ter em uma célula de lítio, e vamos falar sobre isto no Capítulo 14. No entanto, apenas baseados nas avaliações dos fabricantes, células de íon de Li estão no meio da estrada para o ciclo de vida, comparadas às outras grandes químicas que vamos falar em seguida.

O custo é sempre um fator importante quando escolhendo componentes para qualquer projeto. Células de íon de Li estão no meio da variação de preço de células de lítio (você deve ter notado que as íon de Li são como as “médias” da química – estão bem no meio de muitas destas especificações). Existem químicas mais baratas (RC lipo) e mais caras (fosfato de ferro de lítio), o que faz com que a íon de Li padrão fique na média em termos de preço.

As íon de Li se destacam na disponibilidade. Porque esta é a química de bateria mais utilizada, é também a mais disponível em diferentes tamanhos, formatos, capacidades, e pequenas variações químicas que possuem efeitos diferentes na performance.

Um dos formatos mais comuns e fáceis de trabalhar das células de íon de Li são as células cilíndricas 18650 das quais falamos no capítulo anterior. Existem dezenas e dezenas de células de íon de Li 18650 de alta qualidade e boas marcas, mais centenas de outras células de íon de Li 18650 sem marcas e genéricas também. Porque as 18650 são tão comumente utilizadas em produtos OEM, incluindo tudo desde veículos elétricos a ferramentas elétricas, elas foram desenvolvidas com uma grande variedade de especificações. Você pode encontrar células de íon de Li 18650 baratas e de baixa energia como as células Samsung ICR18650-26F, que possuem aproximadamente a mesma capacidade, tamanho e peso, mas podem fornecer até 600% a mais de energia!

Qualquer um que faça uso das células 18650 de alta energia, devem ser bastante gratos à indústria de ferramentas elétricas, por sinal. Eles foram um dos primeiros a precisar de células cilíndricas de íon de lítio mais poderosas, o que fez com que a indústria das baterias respondesse e atendesse a esta demanda com células novas e de maior energia. Graças às furadeiras, você agora pode encontrar células de íon de Li que contêm uma grande quantidade de energia em algo do tamanho de seu dedão.

É difícil dizer quais projetos são melhores para o uso do íon de Li, principalmente porque células de íon de Li diferentes possuem uma grande variedade de especificações e propriedades. No entanto, se seu projeto possui limitações de espaço e peso, assim como necessidades de energia moderadas a alta, o íon de Li provavelmente é uma boa opção para você.

A maioria das células de íon de Li possuem uma voltagem nominal entre 3.6V a 3.7V e geralmente são avaliadas para um alcance de voltagem de descarga-carga de 2.5V – 4.2 V. Células de íon de Li são geralmente avaliadas para capacidade máxima neste alcance de voltagem (ex: carregando a 4.2V, então descarregando para 2.5V), mas é recomendado evitar o esgotamento das células de íon de Li a 2.5V com muita frequência. Elas podem aguentar, mas isto reduz sua duração. A maioria dos sistemas de gerenciamento de baterias (BMSs) para baterias de íon de Li possuem seu ponto de corte de descarga a cerca de 2.7V – 2.9V por célula. Descarregar a menos de 2.5V irá causar danos irreparáveis à célula, e a célula não conseguirá segurar sua capacidade ou sustentar sua corrente de descarga.

Algumas químicas de íon de Li mais novas estão se tornando disponíveis comercialmente, e estão projetadas para serem carregadas a até 4.3V – 4.4V. Estas ainda são a exceção, e a maior parte das células de íon de Li nunca devem ser carregadas a mais de 4.2V. Sempre veja as recomendações do fabricante para as voltagens de carregamento mais altas. Carregar

demais uma célula de íon de Li não só reduz seu tempo de vida, como também pode ser perigoso.

Existe uma variedade de químicas de íon de Li únicas que estão todas contidas em uma maior classe de células de íon de Li. Todas elas compartilham um material de ânodo idêntico ou similar (terminal negativo), mas possuem materiais de cátodo únicos (terminal positivo). A diferença nas químicas do íon de Li está descrita abaixo.

## **Óxido de Manganês de Lítio (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ou manganês de Li)**

LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> possui seu nome devido ao uso de uma estrutura com matriz de manganês no cátodo. Ele foi desenvolvido no fim dos anos 70 e início dos anos 80, fazendo com que fosse uma das primeiras químicas de íon de Li comerciais. A LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pode lidar com uma energia relativamente alta em pequenas explosões e oferece alta estabilidade térmica. Isto faz com que ela seja uma das químicas mais seguras do íon de Li, porque temperaturas mais altas são necessárias para causar uma fuga térmica.

As células de LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> também podem ser ajustadas para maior energia ou maior capacidade, uma a custo de outra. A desvantagem da LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> é seu ciclo de vida relativamente mais curto quando comparada às outras químicas de íon de Li. Um exemplo de uma célula de LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> é a LG 18650 HB2.

## **Óxido de Cobalto de Lítio (LiCoO<sub>2</sub>, co de Li ou cobalto de Li)**

A LiCoO<sub>2</sub> foi desenvolvida mais ou menos ao mesmo tempo que a LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> e também foi uma das primeiras formas de células de íon de lítio disponíveis comercialmente. Ela utiliza uma estrutura de camadas de cobalto no cátodo. A LiCoO<sub>2</sub> é conhecida por seu custo relativamente baixo e alta capacidade, mas geralmente possui uma menor corrente e um ciclo de vida moderado. Ela também possui uma menor temperatura de fuga térmica, fazendo com que seja menos segura que outras químicas de íon de lítio.

A  $\text{LiCoO}_2$  também é a base para os tipos muito mais perigosos de bateria RC lipo que vamos discutir mais tarde neste capítulo. Nas baterias RC lipo, a química é alterada para produzir uma célula muito mais poderosa, capaz de sustentar uma corrente de descarga extremamente alta. Esta maior energia vem ao custo de segurança, peso e ciclo de vida.

## **Óxido de Cobalto Manganês Níquel de Lítio ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ou NMC)**

O  $\text{LiNiMnCoO}_2$  é uma química recente que ainda está passando por desenvolvimentos constantes. O NMC cai no ponto ideal de melhorar nas desvantagens dos diversos tipos anteriores de químicas de íon de lítio, enquanto retém seus benefícios. O NMC compartilha muitas das vantagens das químicas dos  $\text{LiCoO}_2$  e  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ . Ao combinar Cobalto e Manganês, e depois incluir o Níquel, as células NMC demonstraram poder, capacidade e segurança relativamente altos.

Ao ajustar a proporção de cobalto, manganês e níquel no cátodo, assim como incluindo outros elementos tanto no cátodo quanto no ânodo, as células NMC podem ser ajustadas para melhorar a performance em praticamente qualquer categoria. Outras químicas são capazes de conseguir melhor performance em algumas categorias, mas o NMC possui algumas das maiores performances gerais entre as baterias com química de lítio.

Isto faz com que o NMC seja uma excelente química “faz-tudo”. Ele não precisa ter a maior performance em alguma única categoria, mas consegue a melhor performance geral em comparação a qualquer outra química. Um exemplo de célula NMC é o Samsung INR18650-25R, que foi otimizada para um poder relativamente alto e capacidade média.

## **Óxido de Alumínio Cobalto Níquel de Lítio ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ , NCA ou NCR)**

O  $\text{LiNiCoAlO}_2$  é bastante parecido com a química do NMC citado acima, mas com o alumínio trocado pelo manganês no cátodo. A adição do alumínio ajuda as células NCA atingirem a maior capacidade de todas as químicas de íon de lítio. A desvantagem é uma pequena queda no ciclo

de vida e energia quando comparado com a maioria das outras químicas. Um exemplo de célula NCA é a célula Panasonic NCR18650B, que foi utilizada para a maioria ou todos os primeiro veículos elétricos da Tesla.

Como o NMC, o NCA é um produto químico muito promissor para o desenvolvimento futuro de células de íon de lítio. Ele é melhor para fins de alta capacidade e densidade de energia. Por isso ele foi selecionado pela Tesla para utilizar em seus carros eletrônicos. O NCA se destaca ao armazenar a maior quantidade de energia em um espaço pequeno. Com uma bateria grande o suficiente, seu menor poder relativo pode ser mitigado. No entanto, pesquisas e melhorias incrementais estão ajudando a aumentar o poder deste tipo de célula, fazendo com que ela seja bastante competitiva com o NMC.

## **Polímero de Lítio (li-pol ou lipo ou RC lipo)**

Existe uma enorme confusão sobre as baterias de polímero de lítio. Isto se deve principalmente porque as células para as quais o termo foi criado originalmente, e as células que a maioria das pessoas chamam de células de polímero de lítio não são a mesma coisa.

Lembra de quando discutimos como as células de lítio são feitas? Como elas possuem um ânodo, um cátodo, e um líquido ou mais comumente um material eletrólito em gel entre os dois? Certo. Então, o termo original “bateria de polímero de lítio” se referia a um novo tipo de células de lítio que utilizaram um eletrólito sólido (às vezes chamado de “seco”) em vez do eletrólito líquido ou em gel comum. O eletrólito sólido utilizado nestas células experimentais foi um polímero, ou material de plástico, dando origem ao nome “bateria de polímero de lítio”.

Esta nova tecnologia para baterias de eletrólitos secos prometia baterias incrivelmente seguras. No entanto, elas nunca conseguiram sair do laboratório em alta escala. O problema foi que o eletrólito seco não conduzia a eletricidade muito rápido em temperatura ambiente. Isto significava que as baterias precisavam ser aquecidas constantemente para funcionar corretamente. Isto obviamente impossibilitou a maioria das aplicações. Quem quer um aquecedor embutido em seus celulares ou laptops?

Então as baterias de polímero de lítio nunca realmente foram a lugar nenhum. O problema com o nome começou quando alguns fabricantes começaram a chamar outras células que

possuíam uma capa de polímero, designadamente células em forma de bolsa, como células de “polímero de lítio”. Isto se tornou bastante confuso, já que estas células na verdade não tinham eletrólitos de polímero, e sim, eletrólitos líquidos em gel com o uso de um polímero externo. Estas células realmente deveriam se chamar células de “polímero de íon de lítio”, para diferenciá-las das células de “polímero de lítio” originais e não comercializadas. No entanto, uma vez que as pessoas começaram a chama-las de células de polímero de lítio, a confusão começou.

Mas a confusão não para por aí! Porque o que as pessoas começaram a chamar de baterias de polímero de lítio (que na verdade eram baterias de polímero de íon de lítio em células em formato de bolsa) são praticamente idênticas às baterias de íon de lítio padrão que já existiam. Elas possuem materiais de cátodo e ânodo idênticos ou parecidos, e quantidades de eletrólitos parecidas. A principal diferença é que as baterias de polímero de íon de lítio utilizam um eletrólito micro poroso em vez da camada porosa separadora normal, colocada no eletrólito das células de íon de lítio.

Isto significa que todas as baterias de “polímeros de íon de lítio” e “íon de lítio” disponíveis hoje são tecnicamente baterias de íon de lítio. Elas são todas parecidas e funcionam ao transportar íons de lítio para todos os lados por meio de um eletrólito. Mas o termo “lipo”, que é diminutivo para polímero de lítio, tem sido utilizada comumente para se referir ao formato e estilo das células, as células em forma de bolsa, cujas bolsas são tecnicamente um material de polímero. Porque o uso deste termo “lipo” ficou popular, muitas pessoas agora pensam que uma célula lipo é outro nome para uma célula em formato de bolsa. De fato, uma célula em formato de bolsa é simplesmente um tipo de estrutura de célula de bateria, e pode ser utilizada para fazer íon de lítio,  $\text{LiFePO}_4$ , ou potencialmente outras novas químicas no futuro. Então “células em formato de bolsa” descreve o formato, não a química. Mas agora parece que todos por aí estão chamando as células em formato de bolsa de “lipos”.

Por último, existe toda uma classe de células de íon de lítio utilizadas para brinquedos e veículos controlados por radiofrequência (RC) que estão sendo chamadas de baterias lipo. Estas são células de íon de lítio extremamente poderosas que são especificamente utilizadas na indústria RC por sua habilidade de fornecer a maior corrente possível.

O uso mais comum do termo lipo hoje em dia é para tratar destas baterias RC. Por esta razão, durante o resto deste livro, eu vou tratar destas baterias RC de alto poder como baterias “RC lipo”. Este não é o uso histórico original do termo polímero de lítio, mas é a convenção mais comumente usada hoje em dia, e por isto é como eu vou utilizá-la. Quando em Roma...



Mas por favor, tenha a consciência de que há muita confusão na indústria sobre os termos polímero de lítio, íon de lítio e lipo. Para nossos propósitos, “RC lipo” se tratará das baterias de íon de lítio projetadas especificamente para propósitos de RC, e todas as outras baterias de íon de lítio serão chamadas de íon de Li. Eu não vou utilizar o termo polímero de lítio, já que as células no mercado que estão sendo chamadas de “polímero de lítio” hoje em dia na verdade são apenas íon de lítio, e as células de “polímero de lítio” de verdade nunca realmente saíram do laboratório.

É importante explicar toda esta confusão e tentar entender tudo isto. Agora, vamos seguir para realmente aprender o que são baterias RC lipo. O que deve ser divertido, já que estas são as que fazem boom quando você faz besteira.

Agora vamos nos livrar disto imediatamente: as baterias RC lipo são as perigosas. Estas são as que poderão queimar sua casa se você não seguir os procedimentos de carga e descarga corretos. Elas podem ser seguras, mas também são incrivelmente voláteis quando utilizadas de forma errada.

Certo, agora que nos livramos disto, vamos ver o que fazem as baterias RC lipo especiais. As células RC lipo possuem uma química especializada baseada em cobalto de lítio que foi feito para aplicações de alta potência. Elas podem fornecer taxas de descarga super altas por longos períodos de tempo, e taxas de descarga insanamente altas por curtos períodos (antes que elas superaqueçam, e então voltamos para aquele infeliz cenário de incêndio que eu avisei).

Células de RC lipo são quase exclusivamente utilizadas na indústria de veículos de controle remoto para aplicações como drones, helicópteros, aviões, carros, etc. Estes dispositivos requerem taxas de descarga muito altas em uma bateria pequena e leve. As células RC lipo não são as mais leves (Estas são variáveis de células convencionais de íon de lítio), mas podem fornecer muito mais potência por um peso apenas um pouco maior.

Células RC lipo também são as células de lítio mais baratas disponíveis. Elas custam muito menos que células íon de lítio e LiFePO<sub>4</sub> (vamos aprender sobre LiFePO<sub>4</sub> em breve), fazendo com que elas sejam atrativas para outras aplicações que utilizam baterias caseiras, como bicicletas elétricas.

Uma grande desvantagem (além do fato de que RC lipo são basicamente pequenas bombas que também podem energizar eletrônicos) é que as células RC lipo possuem ciclos de vida muito curtos. Alcançar 200 ciclos em uma célula RC lipo seria considerado uma boa performance. Algumas RC lipos podem chegar perto de 300 ciclos, mas não duram tanto quanto células de íon de lítio, e não chegam nem perto das células de LiFePO4. (Nota: estas contagens de ciclos são baseadas em ciclos completos de carga e descarga. Vamos falar sobre como carregamento e descarregamento parcial podem estender a vida de quase todos os tipos de células de bateria de lítio.)

Outro problema com as células RC Lipo é seu processo de carregamento mais complicado. Enquanto células de íon de lítio e LiFePO4 são bem fáceis de carregar, principalmente quando utilizando um sistema de gerenciamento de bateria (BMS), as células RC lipo precisam de carregadores mais caros para assegurar que todas as células em uma bateria são mantidas na voltagem apropriada e equilibradas umas com as outras.

O motivo para isto é que quando as baterias RC lipo saem de seu alcance de voltagem, elas se tornam incrivelmente voláteis. Faça uma rápida pesquisa no YouTube por “célula RC lipo sobrecarregada” para ter uma ideia do que eu quero dizer. É criticamente importante que as células RC lipo sejam carregadas em seu alcance específico de voltagem. Elas também nunca podem ser descarregadas demais. Descarregar uma célula RC lipo a menos de 2.5 volts e então carregar a célula pode resultar em sua combustão, principalmente em correntes de carregamento mais altas. Por isto, as células RC lipo precisam ser cuidadosamente monitoradas durante o descarregamento, para assegurar de que elas nunca descarregaram demais.

É possível recarregar células RC lipo que descarregaram demais, mas isto precisa ser feito com correntes muito baixas, e pode facilmente levar a um incêndio, dependendo do quão danificada a célula estava. Idealmente, isto não deve ser feito, mas se for feito, deve ser em um ambiente monitorado e longe de qualquer coisa inflamável.

Células RC lipo são eletroquimicamente parecidas com as células de íon de lítio, e possuem voltagem nominal de 3.7V. No entanto, como deve haver muito cuidado para não descarregar demais as células, não é recomendado descarregá-las a menos de 3.0V. É ainda mais seguro se mantiver a voltagem de 3.2V. No campo de aeronaves RC, muitos pilotos param de voar quando a bateria chega a 3.5V, mantendo uma margem de segurança ainda maior. A voltagem máxima das células RC lipo nunca devem exceder 4.2V.

Também deve ser lembrado que estas voltagens são consideradas as voltagens de “sub carga”. Dependendo da carga da corrente, a célula de bateria de lítio (ou qualquer química) terá uma queda na voltagem. Esta queda na voltagem é conhecida como afundamento de tensão. Uma célula RC lipo nunca deve ir a menos de 3.0V enquanto em uso. Se o descarregamento parar em 3.0V em uma sub carga, quando medida a voltagem após a carga ser removida irá voltar a uma voltagem mais alta, provavelmente entre 3.3V – 3.5V, embora um nível ainda mais seguro para a voltagem em descanso seja entre 3.7V. Por isto, é extremamente importante monitorar a sub carga das células RC lipo para assegurar que elas nunca descarreguem demais, abaixo do limite de segurança.

## Fosfato de Ferro de Lítio (LiFePO4)

Fosfato de ferro de lítio é tecnicamente um subconjunto da classe de íon de lítio mais geral, mas é único o suficiente para ser citado separadamente. As células LiFePO4 são mais pesadas e com menor densidade de energia que a maioria das células de íon de lítio. Isto significa que conjuntos da bateria construídos com células LiFePO4 serão mais volumosos e mais massivos que baterias de íon de lítio ou RC lipo da mesma voltagem e capacidade. A quantidade exata varia dependendo do formato de célula, mas você pode esperar que uma bateria LiFePO4 seja duas vezes maior e duas vezes mais pesada que uma bateria de íon de lítio comparável.

Células LiFePO4 também são algumas das mais caras. Seu custo varia baseado em vários fatores, incluindo tamanho da célula, formato, vendedor e localização, mas você pode esperar pagar cerca de 20% a mais para células LiFePO4 do que para células de íon de lítio da mesma capacidade.

As células LiFePO4 mais comumente disponíveis também possuem uma menor taxa de descarga, o que significa que elas não podem fornecer tanta potência, mas nem sempre este é o caso. Algumas células, como aquelas feitas pela empresa de baterias de alta qualidade A123, pode fornecer níveis de alta potência, mas custam bastante e são difíceis de conseguir. Estas são mais comumente vendidas para OEMs para o uso em bens de consumo como ferramentas elétricas.

É comum ouvir a LiFePO<sub>4</sub> sendo divulgada por sua alta taxa de descarga, mas a não ser que você encontre células LiFePO<sub>4</sub> feitas especialmente para alta descarga, a maior parte das células LiFePO<sub>4</sub> possuem taxas de descarga relativamente baixas.

Com todas estas desvantagens, por que alguém iria querer utilizar células LiFePO<sub>4</sub>? Na verdade, existem duas grandes vantagens para utilizar LiFePO<sub>4</sub> – ciclo de vida e segurança. LiFePO<sub>4</sub> possuem o maior ciclo de vida de todas as células de baterias de lítio comumente disponíveis. Elas geralmente são avaliadas em mais de 2,000 ciclos. Ela também é a química de bateria mais segura disponível. Embora incêndios causados por células LiFePO<sub>4</sub> tenham sido documentados, são muito raros. O eletrólito utilizado nas células LiFePO<sub>4</sub> simplesmente não oxida rápido o suficiente para eficientemente entrar em combustão, e requer temperaturas extremamente altas para um escape térmico, geralmente maior que a temperatura de combustão de muitos materiais.

Então quando você deve utilizar células LiFePO<sub>4</sub>? Os melhores usos para células LiFePO<sub>4</sub> são projetos que requerem longos ciclos de vida e maior segurança, que não possuem limitações de espaço ou peso, e não requerem grandes níveis de energia (ao menos que você encontre células LiFePO<sub>4</sub> especificamente feitas para alta potência).

As células LiFePO<sub>4</sub> possuem uma voltagem nominal de 3.2V por célula e um alcance de voltagem de carga-descarga de 2.5V – 3.65V. Assim como as células de íon de lítio, descarregar a menos de 2.5V irá causar danos irreparáveis à célula, apesar de não ser perigoso, como nas células RC lipo que aprendemos.

## Resumo Geral da Célula de Bateria de Lítio

Todas as informações que eu descrevi para as químicas de lítio acima são geralmente verdade para a maioria das células de bateria de lítio que estão disponíveis comercialmente hoje em dia. Com isto, existem exceções em todos estes casos. A mais nova tecnologia para células de bateria de lítio ultrapassa e muito o que você pode comprar agora. Neste momento, existem células de íon de lítio em mesas de laboratório em salas limpas que podem carregar completamente em alguns segundos, pesam uma fração do que as células anteriores pesavam, e fazem todos os tipos de coisas incríveis.

No entanto, estas são baterias experimentais e ainda não foram comercializadas. As baterias que podemos comprar e utilizar atualmente foram desenvolvidas anos atrás, até mesmo décadas atrás, e passaram por extensivos processos de desenvolvimento e comercialização para chegar às nossas estações de trabalho.

Em alguns anos, as propriedades descritas nas seções anteriores deste capítulo provavelmente irão lentamente mudar e melhorar, à medida em que entramos em uma nova era de baterias de lítio. Isto pode ser nos próximos 5 anos, ou nos próximos 20 anos. Por enquanto, as descrições acima cobrem as baterias que estão geralmente disponíveis para nosso uso hoje em dia.

## Capítulo 4: Obtenção das Células de Bateria de Lítio

Existe uma variedade de diferentes formas de encontrar células de lítio que você irá precisar para um projeto de bateria caseiro. Células de bateria de lítio não são baratas, e por isso o maior fator que provavelmente irá afetar sua decisão será o custo e disponibilidade. Enquanto comprar novas células sempre será o melhor método (e mais seguro), existem outras opções disponíveis. Vamos falar destas opções neste capítulo.

### Comprando novas células

O primeiro método, e aquele que eu geralmente recomendo, é comprar novas células de vendedores conhecidos. Células de bateria de lítio não são baratas, mas ao comprar novas células, você tem certeza de que está conseguindo células de alta qualidade e seguras, que irão durar o tempo que você quiser. Isto pode ser algumas centenas de ciclo, ou alguns milhares, dependendo do tipo de célula, mas pelo menos você não terá nenhuma surpresa.

Dependendo de onde você vive, você pode não ter uma boa fonte local para comprar baterias de lítio. Não se preocupe – existem vários lugares onde comprar baterias de lítio online. Por anos, as baterias de lítio foram quase exclusivamente feitas na Ásia, o que significa que o melhor método de comprar células era pagar um estranho online e esperar um mês para elas chegarem pelo correio. Agora existe um número cada vez maior de revendedores em países ao redor do mundo, fazendo com que seja mais fácil lidar com um vendedor que está pelo menos no mesmo país que você, mesmo que não vivam na mesma região.

Eu ainda compro a maioria das minhas células de bateria da China, onde você geralmente pode conseguir o melhor preço. Se você está comprando pequenas células, como pacotes de RC lipo ou baterias 18650, então comprar online do outro lado do mundo pode ser uma boa opção. Estas células de lítio geralmente são pequenas e podem ser facilmente enviadas a um baixo preço. No entanto, as mudanças constantes das leis de frete para baterias de lítio podem não fazer com que isto seja uma possibilidade para sempre.

Eu geralmente compro centenas de caixas de células 18650, que geralmente resulta em uma redução significativa de preço, de cerca 10-30%, comparado a comprar células 18650 individualmente.

Algumas das fontes mais comuns que eu utilize para comprar células de bateria de lítio pequenas são Alibaba e sua seção de vendas AliExpress. Alibaba é bom para as compras em atacado em que você comprará mais de 100 células, embora alguns vendedores no Alibaba não queiram vender menos que 1,000 células. No AliExpress você pode comprar desde células únicas a muitos milhares.

Sempre procure por um vendedor que está no negócio ao menos há alguns anos e possui muitos feedbacks e avaliações. É verdade que um bom feedback pode ser comprado ou falso, mas geralmente estes vendedores estão vendendo em um volume alto o suficiente que qualquer feedback ainda passará. Vendedores com centenas de transações e feedback positivo são geralmente boas fontes.

Existe uma indústria enorme de células de lítio falsas, que geralmente são células sem marca que foram remarcadas para parecer com células de marcas. Quando comprando diretamente da Ásia, pode ser mais difícil determinar se o vendedor está vendendo células genuínas ou falsificadas. Apenas comprar de vendedores com boa reputação, com anos de bom feedback ajuda a deixar as chances a seu favor, mas ainda é difícil ter 100% de certeza. Fóruns online para pessoas construindo projetos parecidos com o seu (como uma bicicleta elétrica ou fóruns caseiros) geralmente possuem grandes comunidades que podem ajudar você a encontrar os vendedores mais confiáveis utilizados por membros desta indústria.

Se você está realmente preocupado sobre comprar células ruins ou falsas, peça apenas algumas células primeiro para testar o vendedor. Desta forma, você não se compromete a um pedido grande de um vendedor novo, para descobrir depois que as células não são boas. Você também pode considerar escolher apenas um vendedor local que garante a autenticidade das células que fornecem. Será mais caro, mas você pode ter certeza de que está comprando as células corretas, e você provavelmente será reembolsado se não for o que você pagou.

Se você estiver comprando células grandes, como aquelas utilizadas em várias conversões de veículos elétricos, suas fontes serão mais limitadas. As baterias de lítio mais comumente disponíveis vêm em pequenos formatos. As células grandes existem, mas há menos fabricantes e vendedores. Você provavelmente terá mais sucesso ao procurar por um vendedor em seu país que possa importar células de lítio grandes diretamente para você. Você pode sempre utilizar várias células pequenas (os veículos elétricos da Tesla possuem milhares de pequenas células), mas para grandes projetos como conversões de veículos elétricos ou baterias de armazenamento de energia da casa muito grandes, células grandes podem economizar muito trabalho na fase de montagem.

Por último, se você vai gastar dinheiro ao comprar novas células, você deve comprar apenas células de marca feitas por empresas conhecidas como Panasonic, Samsung, Sony, LG, etc. Existe uma variedade de não-marcas por aí que vendem células de lítio baratas, mas não possuem a mesma qualidade que as grandes marcas.

Nos milhares de células Panasonic e Samsung que eu comprei durante os anos, eu nunca recebi uma célula ruim. As empresas renomadas possuem controle de qualidade excelente. Elas testam e removem qualquer célula ruim na fábrica, antes do envio. Outras empresas possuem padrões menores, mas não é difícil ter uma ou duas células ruins em uma carga de algumas



centenas. Enquanto isto pode parecer negligenciável, na verdade isto pode ter um efeito devastador se você estiver construindo uma bateria grande. Uma única célula fraca pode acabar arrastando todo o grupo paralelo conectado a ela, estragando muitas outras células.

Também existem diversas marcas de células que simplesmente compram células rejeitadas das grandes empresas e as embalam novamente com especificações ridiculamente sobrevalorizadas. Ultrafire é a principal marca para esta prática, mas outras marcas como Trustfire, Surefire, entre outras, fazem a mesma coisa. Se você vir que estas células são mais baratas que as da marca, mas ainda assim dizem ter capacidades mais altas, você pode ter certeza de que elas não são células legítimas. Se parece bom demais para ser verdade, provavelmente é.

## Utilizando células recuperadas

Outra fonte comum para células de lítio é encontrar células recuperadas. Células de lítio utilizadas em bens de consumo eletrônicos como laptops e ferramentas elétricas são classificadas para muitas centenas ou até milhares de ciclos. Isto pode ser ótimo quando os produtos são feitos para durar, mas muitos produtos acabam morrendo prematuramente por diversas razões. As células de bateria de lítio nestes produtos geralmente são descartadas junto com os eletrônicos antes destas células realmente morrerem. Um laptop pode morrer após alguns anos, mas as baterias podem ter chegado a apenas 20% de seus ciclos de carga.

Muitas pessoas escrupulosas descobriram que podem colecionar estas baterias OEM descartadas, abri-las e salvar as células de lítio dentro. Isto pode ser um trabalho relativamente intensivo, dependendo de como as células estão guardadas em suas embalagens OEM, e quantas células estão em cada bateria. No entanto, o preço não pode ser superado. Baterias recuperadas são provavelmente a forma mais barata de comprar um grande estoque de células de bateria.

Muitos destes pacotes de bateria descartados podem ser obtidos gratuitamente de empresas que acumulam grandes quantidades, como lojas de consertos de computadores, centros de reciclagem, hospitais e clínicas que utilizam dispositivos de bateria, etc. Em muitos lugares é tecnicamente ilegal jogar fora estes pacotes de bateria de lítio em lixos municipais normais,

então muitas destas empresas pagam para que empresas venham e levem estes pacotes de baterias para a reciclagem. Ao oferecer levar estas baterias de suas mãos, você está fazendo com que eles economizem dinheiro e a preocupação de lidar com o que consideram ser lixo eletrônico.

É como eles sempre dizem, “o lixo eletrônico de um homem é o tesouro de outro homem”. Ou algo assim.

À medida em que esta prática se torna mais comum, alguns lugares começaram a cobrar por seus pacotes de bateria descartados, mas os preços ainda assim são muito menores do que você gastaria em novas células. Alguns dólares por meio quilo é um preço comum para um volume de pacotes de bateria.

Como eu mencionei acima, eu sempre recomendo comprar novas células quando possível. Isto é porque há algumas desvantagens de utilizar células recuperadas.

- 1) Você nunca sabe a qualidade que as baterias recuperadas terão. Elas são de marca? Elas são falsificadas ou células de qualidade inferior? O dono anterior fez mau uso delas?
- 2) Você não sabe quanta capacidade cada bateria resgatada possui. Quando você utiliza baterias resgatadas, você precisa checar a capacidade de cada célula para determinar qual célula segura uma carga e possui uma boa capacidade. Células antigas perdem sua capacidade, então não é incomum jogar fora metade das células resgatadas de apenas um pedido. O processo de checar cada célula por sua capacidade pode demorar desde uma tarde a vários meses, dependendo de em quantos testadores de célula você quer investir.
- 3) Você não sabe quanta vida cada célula de bateria resgatada possui. Apenas 20% do total de ciclos da célula foi utilizado, ou será que foi 90%? Se você sabe a capacidade original da célula, você pode conseguir medir isto aproximadamente, por quão perto ela está de sua capacidade. No entanto, muitas células resgatadas não estão marcadas com sua capacidade original ou informações de identificação. Isto significa que você precisa adivinhar. Além do mais, se você construir um pacote de células com expectativas de vida diferentes, as primeiras células que começam a morrer irão arrastar com elas o resto das células. As células boas terão que trabalhar mais, o que significa que irão ficar sobrecarregadas e morrer rapidamente também.

Dependendo de seus objetivos e requerimentos, estas desvantagens podem ser um problema. Se você quer uma bateria potente para um veículo elétrico ou bicicleta elétrica, células resgatadas não são a melhor opção. Existem muitos fatores desconhecidos. Se você está construindo uma bateria de apoio para sua casa, ou para guardar energia de seus painéis solares e utilizá-las pouco, células resgatadas podem ser uma ótima opção. De fato, uma grande porção da comunidade caseira utiliza apenas células resgatadas em seus projetos de bateria.

O principal aspecto a ser lembrado quando utilizando células resgatadas é que você deve sempre utilizá-las com moderação – não tente tirar muita potência delas. É melhor construir uma bateria de maior capacidade do que você acha que vai precisar para tirar uma menor corrente de cada célula resgatada. Vamos falar mais sobre classificações de células e com quanta energia as células podem lidar no Capítulo 5.

## Comprando módulos de baterias de carros elétricos usados

Esta opção é meio que um equilíbrio entre comprar células de marca novas, e encontrar células resgatadas gratuitas ou baratas. Baterias de veículos elétricos usados estão se tornando cada vez mais disponíveis no mercado de produtos usados por meio de sites como eBay. Com mais veículos elétricos nas estradas, mais destes módulos de bateria estão disponíveis, devido a acidentes, substituições e upgrades.

Comprar módulos de baterias de veículos elétricos usados ainda significa que você não sabe exatamente quanta vida resta nas baterias, mas ao menos você sabe que estão todas no mesmo nível do ciclo de carga (expectativa de vida) e que todas são células genuínas de marca, assumindo que vieram de um carro que é conhecido por ter boas células. A maioria dos veículos elétricos são feitos com boas células – há muito em jogo para economizar na qualidade da célula.

Alguns veículos elétricos, como aqueles feitos pela Tesla, possuem baterias feitas de milhares de pequenas células. Outros veículos elétricos podem ter baterias feitas apenas de algumas células maiores. Dependendo de quais são seus requerimentos, você terá que decidir que tipo de bateria é melhor para seu projeto.



## Capítulo 5: Taxas das células

Agora que já falamos dos diferentes tipos de células e onde compra-las, precisamos aprender sobre as diferentes especificações de células e o que elas significam. Assim como lápis de cera em um grande estojo, há um número igualmente quase infinito de células de lítio por aí. Muitos deles são parecidos, mas suas especificações e taxas são o que os diferencia.

Na verdade, há uma longa lista de especificações e taxas diferentes para células. Aqui, vamos ver as especificações mais importantes que afetam que células você usará para um determinado projeto.

### Capacidade

A capacidade de uma célula é provavelmente o fator mais crítico, já que determina quanta energia está disponível na célula. A capacidade de células de bateria de lítio é medida em ampere-hora (Ah), ou às vezes miliampere-hora (mAh) em que  $1 \text{ Ah} = 1,000 \text{ mAh}$ . Células de baterias de lítio podem ter desde alguns mAh para mais de 100 Ah.

Poucas vezes a unidade Watt-hora (Wh) será listada em uma célula em vez de ampere-horas. Watt-hora é outra unidade de energia, mas também considera voltagem. Para determinar o ampere-horas nesse caso, apenas divida os watt-hora pela voltagem nominal da célula. Por exemplo, para calcular a capacidade em ampere-hora de uma célula de íon de lítio com uma voltagem nominal de 3.7 V e uma capacidade em watt-hora de 11.1Wh, simplesmente divida 11.1Wh por 3.7V para ter 3.0 Ah (ou 3,000 mAh).

Ampere-horas da célula = watt-hora ÷ voltagem nominal da célula

Ou em nosso exemplo acima,

Ampere-horas da célula = 11.1 watt-hora ÷ 3.7 volts = 3.0 ampere-hora

Taxas de capacidade apenas dizem quanta energia a célula pode armazenar e fornecer. Elas não dão nenhuma informação sobre a potência da célula ou sua longevidade. De fato, as baterias de maior capacidade geralmente possuem apenas níveis de potência moderados. Geralmente existe uma troca entre potência e capacidade. Portanto, você pode utilizar a taxa de capacidade apenas para determinar quanta energia a célula possui.

Uma última observação sobre capacidade – não espere que suas células consigam alcançar sua taxa de capacidade completa. Fabricantes geralmente testam a capacidade de suas células utilizando dois “truques” para retirar a maior capacidade possível. Eles testam a uma taxa de descarga muito baixa, geralmente a cerca de 0.2C (vamos falar sobre as taxas C mais tarde neste capítulo). Eles também descarregam as células completamente para sua voltagem mínima absoluta, geralmente 2.5V para a maioria das células de íon de lítio. Descarregar tanto é possível, mas irá diminuir o tempo de vida da célula se feito muitas vezes. A maioria dos produtos comerciais que utilizam células de íon de lítio descarregam para cerca de 3.0V, se não mais, para poder conseguir maior vida das células.

Então só porque na sua célula diz que é classificada como 3.0Ah, não se surpreenda se ela chegar perto de 2.9Ah quando testá-la.

## Taxa máxima de descarga

A taxa máxima de descarga informa a carga máxima, que seria a corrente máxima, que pode ser retirada da célula. Na verdade, existem duas taxas de descarga comuns, a “corrente de descarga contínua máxima” e a “corrente máxima de pico de descarga”. A corrente de descarga contínua máxima é o melhor parâmetro para utilizar ao comparar células. Esta é a corrente máxima que a célula pode fornecer continuamente sem superaquecer ou se danificar. Se a taxa de corrente contínua máxima é 10A, então a célula pode fornecer 10A de corrente continuamente desde sua carga máxima até seu estado vazio.

A corrente máxima de pico de descarga é a quantidade de corrente que uma célula pode fornecer para uma pequena explosão. Cada fabricante classifica de formas diferentes, e é por isso que é difícil utilizar este número para comparações. Alguns fabricantes consideram uma explosão de 2-3 segundos, enquanto outros consideram um período de 10 segundos ou mais para a descarga máxima de pico.

De todas as formas, você nunca deve exceder a taxa máxima de pico de descarga por mais que alguns segundos, e se possível, você deve tentar projetar sua bateria para ser grande o suficiente que você nunca alcance a descarga de pico máxima (vamos discutir o design da bateria para minimizar a carga no Capítulo 6).

Como os fabricantes geralmente classificam suas células em sua capacidade extrema, não é uma boa ideia forçá-las ao limite destas taxas. Além do mais, células de baterias que são operadas perto de seus limites tendem a ficar muito quentes e operar de forma ineficaz, tirando delas até 10% de sua capacidade. Então se você quer utilizar toda a capacidade de uma célula de bateria, não a force ao seu limite de corrente de descarga máxima.

## Taxa C

A taxa C de uma célula de bateria é a medida da taxa que a célula de bateria pode ser descarregada ou carregada em relação à capacidade da célula. A taxa C não muda baseada na capacidade da célula da bateria; em vez disso, é uma propriedade intrínseca da bateria. Isto

significa que duas células que são idênticas em todos os aspectos, exceto por suas taxas de capacidade, também terão taxas C idênticas.

Se isto parece confuso, não se preocupe. Vamos trabalhar com exemplos simples.

A taxa C é calculada como um múltiplo da taxa de capacidade da bateria. Uma célula de bateria com uma taxa de capacidade de 2 Ah e uma corrente de descarga contínua máxima de 4 A possui uma taxa C de 2. Assim são conhecidas as baterias 2 C. Neste exemplo, encontramos a taxa C ao dividir a corrente de descarga máxima pela capacidade, que é calculado como:

$$\text{Taxa C} = 4 \text{ A} \div 2 \text{ Ah} = 2$$

Isto nos dá uma taxa C de 2. Se esta mesma célula de 2 Ah tivesse uma taxa de descarga máxima de 5 A em vez de 4 A, ela seria uma bateria 2.5 C. Se ela tivesse uma taxa de descarga máxima de 10 A, ela seria uma bateria 5 C. Se ela tivesse uma taxa de descarga máxima de 10 A, mas capacidade de 5 Ah em vez de 2 Ah, ela voltaria a ser uma bateria 2 C. Entendeu? Se não, tente trabalhar nestes exemplos no papel, utilizando a mesma equação acima. Também teremos mais exemplos em breve.

A taxa C é importante porque é utilizada para comparar o poder relativo das células, até mesmo quando as células possuem taxas diferentes. Uma célula grande de 10 Ah pode ser classificada com uma descarga máxima de 10 A, enquanto uma célula menor de 2.5 Ah é classificada apenas com uma descarga máxima de 5 A. À primeira vista, pode parecer que a célula grande é mais poderosa, já que pode fornecer o dobro da corrente do que a célula pequena (10 A em vez de 5 A). No entanto, é a célula menor que de fato é mais relativamente poderosa, já que possui uma taxa C maior. A célula menor possui uma taxa C de 2, enquanto a célula maior possui uma taxa C de 1. Se combinarmos quatro das células pequenas em paralelo, faríamos uma bateria de 10 Ah com uma descarga máxima de 20 A. Compare isto com a bateria “maior” original de 10 Ah, e veremos que a célula maior na verdade é mais fraca, já que sua descarga máxima é de apenas 10 A.

Poucas vezes as células de bateria de lítio são vendidas apenas com a taxa C, e não a taxa de corrente máxima. Isto pode facilitar para comparar o nível de potência das células de bateria de



diferentes capacidades. Desde que você saiba a capacidade da célula, você pode utilizar a taxa C para rapidamente calcular a corrente máxima da célula.

## Taxa máxima de carga

A taxa de carga máxima é parecida com a taxa máxima de descarga, e também relativamente autoexplicativa – é a taxa máxima com a qual você consegue carregar a célula. A maioria das células terá uma taxa de carga de não mais de 0.5 C. Carregar uma célula a uma taxa próxima de sua taxa de carga máxima irá diminuir a expectativa de vida da célula. É recomendado não carregar a maioria das células de lítio a mais de 0.5 C, e carregar próximo a 0.2 C é muito melhor para a saúde da célula.

Lembra de como calculamos a taxa C acima para a taxa de descarga? Funciona da mesma forma para a taxa de carga. Uma célula de 5 Ah carregada a 0.5 C seria carregada a 2.5 A. No entanto, se você carregar uma célula de 2.5 Ah a 2.5 A, isto seria um carregamento de 1 C (e muito rápido também, para os padrões das baterias de lítio).

## Número máximo de ciclos

Dependendo do tipo de bateria de lítio, o número de ciclos pode ser desde 200 a 3,000 ou mais. As taxas de ciclos podem ser difíceis de comparar de uma célula à outra, já que os fabricantes nem sempre utilizam um sistema padrão de classificação.

O sistema de classificação mais comum é o número de ciclos antes de uma célula alcançar 80% de sua capacidade original. A capacidade das células de lítio decai lentamente com o tempo ao aumentar os ciclos de carga. A 80% de sua capacidade original, muitos fabricantes já consideram que a célula alcançou o fim de sua vida útil. Alguns fabricantes dão uma taxa de ciclos de carga de até 70% da capacidade restante. Alguns nem especificam, e apenas declaram um número de ciclos até o “fim da vida”, deixando incerto exatamente o que eles consideram ser o fim da vida.

De todas as formas, quando uma célula alcança 80% ou até 70% de sua capacidade original, ela não está necessariamente morta, apenas não irá performar tão bem. Não só ela obviamente não terá tanta capacidade, mas também terá um “afundamento de voltagem”, ou uma queda na sub carga da voltagem. Isto irá resultar em menos potência e uma vida útil ainda mais curta para a bateria.

Existem muitas outras classificações e especificações para a maioria das células, inclusive dimensões e variações de temperatura. No entanto, as taxas descritas acima: capacidade, taxas de descarga/carga e ciclo de vida são geralmente os parâmetros mais importantes para escolher células de bateria para a maioria dos projetos, e também ajudar a comparar entre várias células.

# Capítulo 6: Combinando células de bateria de lítio para fazer jogos de bateria

Jogos de bateria de lítio maiores são feitos ao combinar células de bateria de lítio individuais. Ao combinar várias células, você pode alcançar diferentes voltagens e capacidades. A forma com que estas células são combinadas determina as especificações para cada jogo de bateria.

## Aumentando a voltagem utilizando conexões em série

Células de bateria de lítio individuais geralmente possuem um nominal de 3.7 V (para células de íon de lítio) ou nominal de 3.2 V (para células LiFePO<sub>4</sub>). Esta voltagem é aceitável para alguns dispositivos de baixa potência, como celulares e outros pequenos eletrônicos, mas não pode fornecer energia suficiente para algo mais substancial. Para projetos maiores, incluindo um skate elétrico ou um carro elétrico, múltiplas células de lítio são conectadas em uma série para aumentar a voltagem da bateria.

Em uma conexão em série, o terminal positivo de uma célula de bateria é conectado ao terminal negativo da próxima bateria. Se você já colocou mais de uma bateria em fileira em um tubo de uma lanterna, esta é uma conexão em série. O terminal positivo de uma célula sempre se conecta ao terminal negativo da próxima célula.

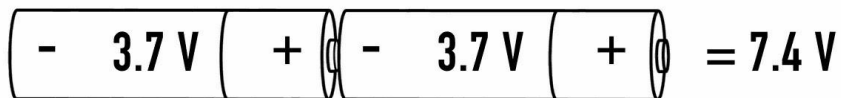
Estas conexões em série podem combinar apenas duas células, ou centenas de células. O número de células conectadas em série depende de que voltagem é necessária. Para calcular a voltagem de um conjunto de células de bateria conectadas em série, apenas multiplique a voltagem de uma célula pelo número de células em uma conexão em série.

A voltagem total das células em série = voltagem nominal de uma única célula x # de células em série

Se estamos utilizando células de lítio de íon com um nominal de 3.7 V e conectamos duas células em série, teremos uma bateria com nominal de 7.4 V, calculando desta forma:

Voltagem total = 3.7 V x 2 células = 7.4 V total

Se adicionarmos mais uma célula à conexão em série para um total de três células, teríamos uma bateria de 11.1 V. Dez células em série nos dariam um nominal de 37 V. Quinze células em série nos daria 55.5 V, e acho que você já entendeu.



Uma coisa importante para lembrar é que a voltagem nominal de uma célula de bateria ou de um jogo de bateria maior é só isso – “nominal”, que tem a mesma origem que a palavra

“nome”. Basicamente, estas células são “denominadas” células de 3.7 V, mas na verdade elas possuem uma variação de voltagem muito maior durante o uso.

Uma única célula de íon de lítio com nominal 3.7 V pode ser carregada a até 4.2 V e descarregada a 2.5 V, o que é um alcance muito grande. Imagine se conectarmos 10 destas células em uma série, criando uma bateria de nominal de 37 V. A voltagem desta bateria na verdade irá variar de 42 V quando totalmente carregada a um mínimo de 25 V se descarregada a 0%.

Se tivermos um dispositivo que precisa de pelo menos 30 V para funcionar, então devemos parar de descarregar a 3.0 V por célula nesta bateria de 10 células, mesmo que a bateria possa continuar descarregando a 2.5 V. Isto é igual a não utilizar cerca de 5% da capacidade total do jogo. Você pode pensar que 5% não é grande coisa, mas e se o dispositivo precisasse de 35 V? Pararíamos de descarregar a 3.5 V por célula nesta bateria de 10 células, o que seria igual a deixar cerca de 40% da capacidade da bateria inutilizada. Por isto, é importante considerar todo o alcance da voltagem de uma bateria quando calculando quantas células em série você precisa para seu projeto.

Muitos eletrônicos como inversores, motores elétricos e outros dispositivos DC são projetados para voltagens em incrementos de 12 V, como um farol de 12 V ou uma bicicleta elétrica de 48 V. Esta é uma pendência de muitos anos quando baterias de chumbo ácido eram utilizadas para energizar estes tipos de dispositivos. Baterias de chumbo ácido utilizam células que possuem uma voltagem nominal de 2 V, e seis delas geralmente estão conectadas em série para criar baterias de chumbo ácido de 12 V. Estas baterias de 12 V são então conectadas em série para criar qualquer outro tamanho de bateria com incrementos de 12 V.

O problema que este antigo sistema criou para nós é que a maioria das baterias de lítio não se conformam com este incremento arbitrário de 12 V.

A maioria dos eletrônicos (mas não todos!) é capaz de lidar com uma pequena variação de voltagens acima e abaixo de suas taxas de voltagem. Por exemplo, um farol de LED de 12 V provavelmente pode funcionar com uma voltagem de cerca de 9V – 15V, apesar de que eletrônicos mais sensíveis tenham um menor alcance permissível de voltagem.

Este alcance de voltagem permite que utilizemos a voltagem da bateria de lítio que é próxima dos incrementos de 12 V que muitos eletrônicos possuem, mesmo se não for exato. Por exemplo, bicicletas elétricas são geralmente projetadas para baterias de 24V, 36 V ou 48V. Novamente, isto acontece porque muitos dos componentes da ebike foram originalmente projetados para baterias de chumbo ácido, e a nomenclatura na indústria acabou pegando.

As baterias de íon de lítio mais comumente aceitas para sistemas de ebike de 24V são 7 células em série, o que cria uma bateria com nominal de 25.9 V que varia aproximadamente entre 21 V – 29 V durante seu uso. Para baterias de lítio de 36 V, quase todos os fabricantes de ebike utilizam 10 células em série para criar uma bateria de nominal de 37 V, que varia aproximadamente entre 39 V – 54 V. No entanto, com o aprofundamento de voltagem, a bateria pode na verdade passar a maior parte de seu tempo abaixo de 48V, o que resulta em menor potência.

Por isto, muitas baterias de 48 V para ebikes agora são feitas com 14 células em série, o que dá uma taxa nominal de 51.8 V e possui um alcance de voltagem maior, aproximadamente entre 42 V – 58.8 V. Estas baterias são geralmente chamadas de baterias de 52 V em vez de baterias de 48 V, para mostrar que elas são de fato de uma voltagem maior que as baterias de lítio de 48 V “padrão”.

Outras indústrias nem sempre possuem este problema de incremento dos 12 V e podem essencialmente utilizar qualquer voltagem para a qual eles projetarem seus dispositivos. Ferramentas elétricas são um ótimo exemplo. Muitas furadeiras utilizam baterias com nominal de 11.1 V, que consistem de três células de íon de lítio em série, apesar de que muitas fabricantes de ferramentas ainda chamem estas de baterias de 12 V. Isto não é justo, já que elas passam pouco tempo acima de 12V. No entanto, porque elas carregam para até 12.6 V, o título de 12 V não é totalmente mentira, é apenas um pouco enganador. O próximo degrau para ferramentas elétricas é geralmente uma bateria nominal de 18 V, que consiste de cinco células de íon de lítio em série.

Uma coisa a notar é que todos os exemplos acima que eu dei utilizam células de íon de lítio, já que estas são as células mais comumente utilizadas nestas aplicações. No entanto, células LiFePO<sub>4</sub> funcionam mais facilmente com incrementos de 12 V. Com células nominais de 3.2 V, combinando quatro células LiFePO<sub>4</sub>, criará uma bateria de 12.8 V, que é bem perto de 12 V. Células LiFePO<sub>4</sub> são populares para conversões caseiras de veículos, principalmente devido a uma combinação de alto ciclo de vida, segurança excelente e apenas restrições de espaço moderadas (quem precisa de espaço na mala?). Já que muitos componentes de veículos

elétricos foram projetados originalmente para baterias de chumbo ácido, eles geralmente são classificados com incrementos de 12 V, o que faz o uso das células LiFePO4 um pouco mais fáceis quando você está buscando uma voltagem específica em um incremento de 12 V.

## Aumentando a capacidade utilizando conexões paralelas

Combinar células em série aumenta a voltagem, mas isto não possui qualquer efeito na capacidade da bateria. Combinar 10 células de íon de lítio que cada uma está classificada com 3.5 Ah em série resultará em uma bateria de 37V e 3.5 Ah. Esta é uma voltagem decente, mas com uma capacidade muito baixa para a maioria das aplicações. Para aumentar a capacidade da bateria, devemos combinar as células em paralelo.

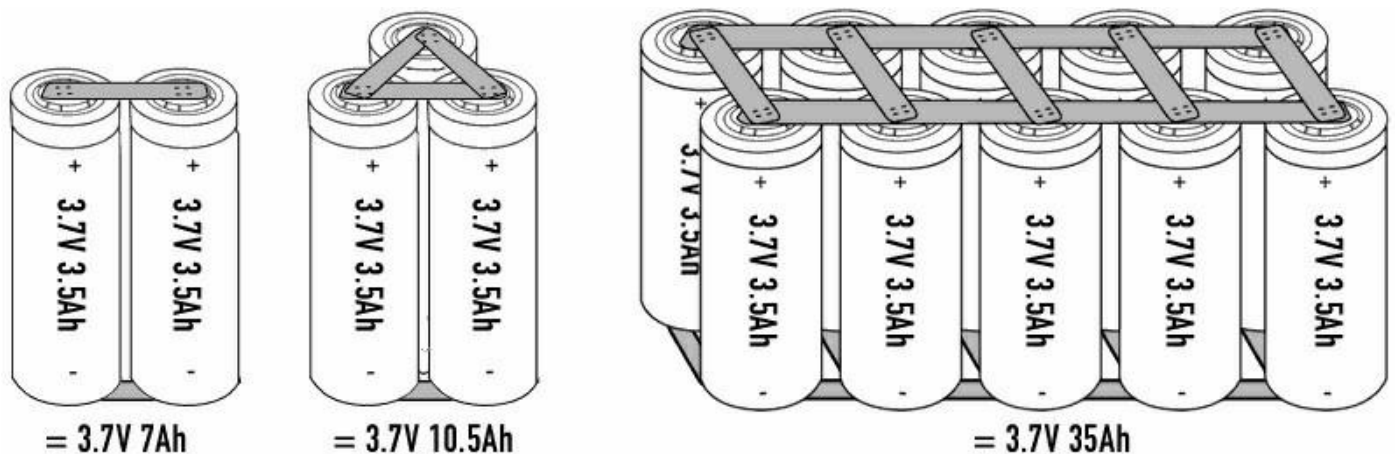
Conexões paralelas podem ser vistas como o oposto de uma conexão em série. Em vez de conectar o terminal positivo de uma célula ao terminal negativo da próxima célula em uma conexão em série, conexões paralelas são feitas ao conectar os mesmos terminais. Para conectar duas células em paralelo, você simplesmente conecta o terminal positivo da primeira célula ao terminal positivo da segunda célula, e então conecta o terminal negativo da primeira célula ao terminal negativo da segunda célula. Isto essencialmente cria uma célula maior, porque duas células agora estão dividindo os mesmos terminais e funções que uma célula de bateria.

Uma observação de segurança importante: antes de conectar qualquer célula de bateria ou jogo de baterias em paralelo, você DEVE se assegurar que elas possuem voltagens quase idênticas. Se as voltagens forem diferentes, significa que uma célula está em um estado de carga maior que a outra. Quando você conecta células com níveis de carga diferentes em paralelo, a célula com maior carga irá tentar carregar a célula de menor carga. Se a diferença na carga é grande, a célula mais carregada tentará depositar uma grande quantidade de energia de uma só vez na célula menos carregada. O alto fluxo de corrente irá danificar ambas as células e pode resultar no superaquecimento de uma das células, podendo levar a um incêndio. Sempre veja se as células estão muito próximas ou idênticas em voltagem antes de conectá-las em paralelo.

Certo, agora vamos dar uma olhada na matemática simples. Calcular a capacidade total em Ah das células de bateria conectadas em paralelo é fácil: apenas multiplique o número de células conectadas em paralelo pela capacidade das células individuais.

Capacidade das células em paralelo = o nº de células em paralelo × a capacidade de uma única célula em Ah

Por exemplo, digamos que temos duas células de íon de lítio, cada uma com uma voltagem nominal de 3.7 V e classificadas com 3.5 Ah. Se as conectarmos em paralelo ao juntar seus terminais positivos, e então seus terminais negativos, teremos criado um jogo de bateria de 3.7 V e 7.0 Ah, como mostra o diagrama. Se adicionarmos mais uma célula em paralelo com as duas primeiras, isto irá criar um jogo de bateria de 3.7 V e 35 Ah. Fácil, não? Ótimo!



## Combinando conexões em série e paralelas

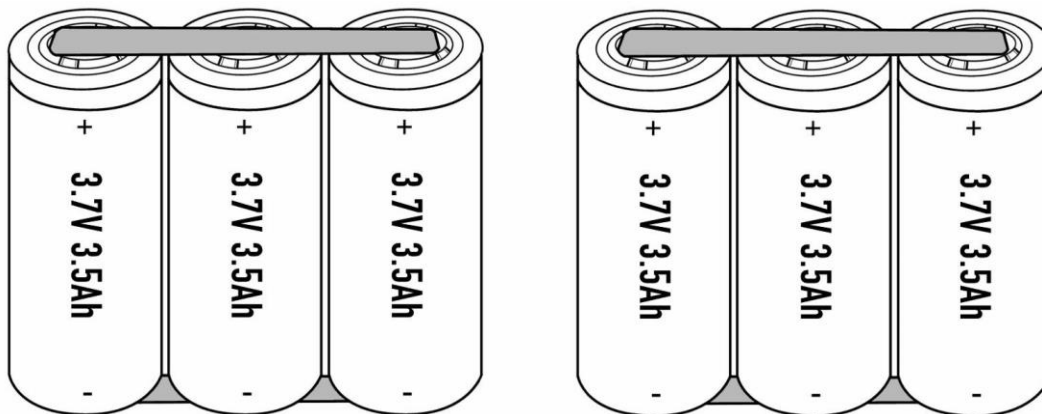
Agora que vimos que conexões em série aumentam a voltagem de um jogo de bateria, mas não afetam a capacidade, enquanto conexões paralelas aumentam a capacidade do jogo de bateria, mas não afetam a voltagem. Como aumentamos tanto a voltagem quanto a capacidade simultaneamente? Nós simplesmente combinamos ambas as conexões em série e paralelas.

Vamos ver um exemplo. Vamos começar com conexões paralelas. Vamos pegar aquelas mesmas células de íon de lítio de 3.7 V e 3.5 Ah do exemplo anterior e conectar as três em paralelo. Isto irá efetivamente transformar estas três células em uma célula maior que possui uma voltagem nominal de 3.7 V, mas agora possui uma capacidade combinada de 10.5 Ah, que pode ser calculado como:

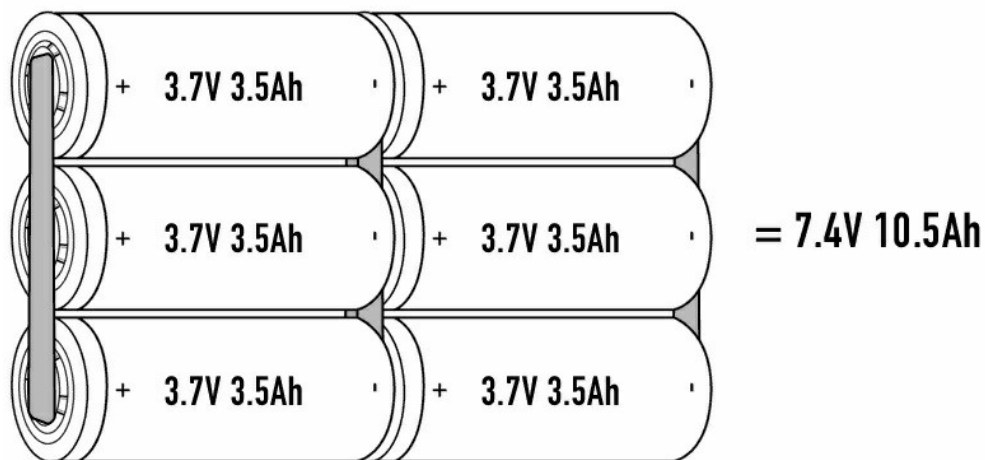


Capacidade total = 3 células em paralelo  $\times$  3.5 Ah por célula =  $3 \times 3.5 = 10.5$  Ah

Agora vamos fazer isto novamente, vamos pegar mais três células e combiná-las em paralelo, assim como as três primeiras, agora temos dois pequenos jogos de bateria de três células cada. Ambos os jogos possuem nominal de 3.7 V e capacidade de 10.5 Ah.



Certo, pronto para enlouquecer? Agora vamos combinar estes dois jogos em uma série. Isto significa que iremos conectar eletricamente o conjunto positivo de terminais no primeiro grupo de três células ao conjunto negativo de terminais no segundo grupo de células. Esta conexão pode ser feita com fios, abas de metal, ou simplesmente ao pressionar os terminais uns aos outros. Ao juntar estes dois grupos paralelos desta forma, nós criamos uma série de conexões entre os dois grupos de três células paralelas.



Para calcular a nova voltagem dos jogos de baterias conectados, apenas multiplicamos a voltagem de cada célula pelo número de grupos de célula em série, que neste caso são dois

(cada um dos dois grupos paralelos conta como uma grande célula, não como três células individuais, porque elas estão conectadas em paralelo e funcionam como uma célula). Nossa voltagem total então é:

$$\text{Voltagem total} = 3.7 \text{ V} \times 2 \text{ grupos de células em série} = 3.7 \times 2 = 7.4 \text{ V.}$$

Lembre-se que a conexão em série que fizemos afeta apenas a voltagem, não a capacidade. Isto significa que nossa capacidade de 10.5 Ah continua a mesma. Portanto, ao realizar as conexões paralelas seguidas das conexões em série, criamos um jogo de bateria de seis células que está classificado com uma voltagem nominal de 7.4 V e uma capacidade nominal de 10.5 Ah.

Agora vamos aprender um pouco de terminologia e abreviações. Tratar da bateria acima como “três células em paralelo e duas células em série” é muito trabalho, então vamos utilizar as abreviações da indústria de “s” para séries e “p” para paralelo. A bateria que criamos é um exemplo do que seria chamada de uma bateria 2s3p, já que ela possui dois grupos em série de três células paralelas cada.

Uma bateria 3s3p poderia ser feita seguindo exatamente as mesmas instruções do exemplo acima, exceto que vamos fazer três grupos paralelos no começo, em vez de dois, e então conectar aquele terceiro grupo em uma série também. Esta bateria 3s3p pode ser uma bateria de 11.1V e 10.5 Ah. Se utilizarmos as mesmas células para criar uma bateria de 10s4p, ela seria classificada a 37V e 14 Ah, o que pode ser calculado assim:

$$\text{Voltagem total} = 10 \text{ células em série} \times 3.7 \text{ V por célula} = 37 \text{ V}$$

E

$$\text{Capacidade total} = 4 \text{ células em paralelo} \times 3.5 \text{ Ah por célula} = 14 \text{ Ah}$$

Este esquema de conexões em série e paralelas é a base da construção da bateria, então é importante que você entenda isto completamente. Estragar as conexões em séries e paralelas não só irá levar você a errar nas especificações de sua bateria, mas também pode levar a um

curto circuito no jogo de bateria. Criar um curto circuito em uma bateria de lítio é uma situação perigosa, da qual vamos falar um pouco mais no Capítulo 7. Basta dizer, você quer acertar isto todas as vezes. Para assegurar que você está pronto para fazer conexões em série e paralelas, vamos fazer um pequeno teste.

Determine a voltagem nominal e capacidade das seguintes configurações:

- A. Jogo de bateria 13s4p utilizando células de íon de lítio de 3.7V 3.0Ah
- B. Jogo de bateria 8s2p utilizando células de LiFePO4 de 3.2V 5.0Ah

Determine a configuração do jogo (o número de células em série e paralelas) para as seguintes especificações:

- C. Jogo de bateria de 37V 11.6Ah utilizando células de íon de lítio de 3.7V 2.9Ah
- D. Jogo de bateria de 51.8V 100Ah utilizando células de íon de lítio de 3.7V 10Ah

Determine a capacidade das células utilizadas em um jogo de bateria com as seguintes especificações:

- E. Jogo de bateria de 25.9V 17.1Ah com configuração 7s6p construída com células de íon de lítio de 3.7V
- F. Jogo de bateria de 74V 20Ah com configuração 20s8p construída com células de íon de lítio de 3.7V

Respostas: A. 48.1V 12Ah; B. 25.6V 10Ah; C. 10s4p; D. 14s10p; E. células de 2.85Ah; F. células de 2.5Ah

## Capítulo 7: Segurança

Quando trabalhando com células e baterias de lítio, é preciso ter cuidado ao manuseá-las. Se utilizadas corretamente, elas podem ser bastante seguras. Mas se utilizadas da maneira errada,

elas podem representar um sério risco de incêndio. Vamos ver como as coisas podem dar errado com baterias de lítio para aprender o que devemos fazer certo.

## O perigo de curtos circuitos

Talvez a melhor forma de fazer uma bateria de lítio pegar fogo é causar um curto circuito. Um curto circuito acontece quando os dois terminais de um jogo de baterias ou de uma célula são conectados. Essencialmente, a bateria é colocada em série com ela mesma, conectando seus terminais positivos para seu próprio terminal negativo. Isto cria um pequeno ciclo de corrente que flui diretamente pela bateria sem nada para diminuir sua velocidade, a não ser a própria resistência interna da bateria.

Uma bateria nunca deve ter um curto circuito. Isto é raramente feito de propósito (a não ser talvez ao tentar fazer uma fogueira de emergência com uma bateria e uma lâ de aço ou uma embalagem de chiclete). Talvez, a maior parte dos curtos circuitos de baterias são resultado de um erro de imprudência. Estes acidentes podem ser muito caros. O melhor caso possível: o curto circuito acontece por apenas uma fração de segundo, e acontece leva apenas a um pequeno dano à bateria. Pior caso possível: o curto circuito é mantido, fazendo com que a bateria superaqueça, pegue fogo e comece uma reação em cadeia com outras células ou baterias ao seu redor, eventualmente queimando toda a sua casa, carro, avião, ou qualquer outra coisa que tenha a bateria.

Então a este ponto eu acho que a mensagem sobre curtos circuitos é bem clara: não faça isso. Você deve estar pensando “isto é fácil, eu não vou fazer isto”. Mas não é tão simples assim. Como eu disse, a maioria dos curtos circuitos acontece acidentalmente, geralmente devido a imprudência ou falta de atenção, e geralmente durante o processo de montagem.

Lembra de como falamos sobre as conexões em série, em que o terminal positivo de uma célula é conectado ao terminal negativo da próxima célula? Bem, fazer conexões em série é uma ótima oportunidade para acidentalmente causar um curto circuito em uma bateria. Se suas células da bateria estão alinhadas pelas extremidades, como em uma lanterna, é um pouco mais difícil para criar um curto circuito acidentalmente, já que você teria que encontrar algo condutivo que pudesse abranger todo o comprimento das células e alcançar suas extremidades para conectar ambos os terminais.

Mas imagine se reorganizarmos estas células, para que em vez de estarem em uma linha reta, elas estivessem ao lado uma da outra com uma célula de cabeça para baixo. Criaríamos uma simples conexão em série ao conectar os terminais em uma extremidade, já que os terminais positivos e negativos estão ao lado um do outro. Mas agora olhe para a outra extremidade da bateria, ela possui um terminal positivo e um negativo, um bem ao lado do outro, separados apenas por alguns milímetros. Qualquer objeto metálico grande o suficiente para alcançar ambos os terminais podem facilmente causar um curto circuito nesta bateria.

Imagina esta bateria em sua estação de trabalho. Se você derrubasse um pedaço de fio exposto ou solda nestes terminais, você criaria um curto circuito. Se você colocasse a bateria em cima de uma chave de fenda, alicate ou qualquer outra ferramenta de metal, você criaria um curto circuito. Você pode criar um curto circuito naquela bateria ao tocar seu anel nela quando você a levantar.

Por isto, você deve sempre usar luvas quando trabalha com baterias de lítio. Mesmo que você não tenha joias na sua mão, palmas suadas podem transmitir corrente facilmente e você vai ter um grande choque (literal e figurativamente) na primeira vez que passar por isto. Luvas de mecânicos funcionam bem, mas às vezes eu gosto de usar luvas de látex ou nitrila já que elas proporcionam maior destreza. Também, falando em joias, lembre-se de remover qualquer coisa metálica. Relógios, colares, brincos, piercings, etc., basicamente qualquer coisa metálica que fique pendurada ou balance sobre conexões expostas de bateria pode ser um perigo.

Agora, isto é apenas uma simples bateria de duas células. Imagine uma bateria maior com dúzias de células e muito mais conexões em série. Toda conexão de não-série entre grupos de células é outra oportunidade para causar um curto acidental nas células em uma bateria assim. Eu não quero fazer com que isto soe muito assustador, porque não deve ser, mas é importante manter em mente que o potencial para curtos circuitos está presente durante muitos estágios da construção. Do momento em que você começa a criar conexões em série até o momento em que a bateria está selada e os terminais não estão mais expostos, há o potencial de criar um curto circuito acidental.

Para se proteger contra estes tipos de curtos circuitos acidentais, lembre-se de sempre trabalhar em uma superfície limpa e organizada. Se sua estação de trabalho é parecida com a minha, ela está sempre cheia e coberta de pedaços dos últimos projetos nos quais você esteve trabalhando. Isto parece funcionar bem para a maioria dos projetos, mas é um acidente

esperando para acontecer quando você está trabalhando com baterias de lítio. Um pequeno parafuso ou grampeador em sua estação de trabalho pode causar um curto circuito com resultados potencialmente desastrosos. A qualquer momento em que você estiver trabalhando com baterias de lítio, limpe completamente sua estação de trabalho.

Eu tenho um rolo de papel pardo e coloco um grande pedaço em cima de minha estação de trabalho sempre que estou trabalhando com baterias de lítio. Não só ele certifica que estou começando com uma superfície livre de qualquer risco metálico, mas o papel branco também facilita que eu veja qualquer novos riscos que eu crie, como gotas de solda ou fio cortado que possam causar um curto na minha bateria se eu acidentalmente colocá-la em cima deles.

Mas curtos circuitos não acontecem apenas de contato acidental com objetos de fora servindo como ponte entre terminais vizinhos de células. Muitos curtos circuitos ocorrem por causa de descuido na colocação dos fios. Quando instalando os fios em sua bateria, você provavelmente terá vários tamanhos de fios jogados por aí em sua superfície de trabalho. Estes fios estarão conectados a diferentes partes de sua bateria e possuirão diferentes potenciais de voltagem, o que significa que o contato entre as extremidades destes fios pode causar um curto. Isto acontece mais facilmente do que você pensa, já que muitas pessoas estão tão focadas em suas baterias que não prestam atenção a fios soltos em sua estação de trabalho.

É por isto que você nunca deve deixar fios expostos quando conectados à sua bateria. Quando possível, eu gosto de ligar os conectores aos meus fios antes de conectá-los à minha bateria. Isto significa que as extremidades dos fios estão sempre cobertas a partir do momento em que estão ligadas à minha bateria. Se isto não for possível, eu pelo menos tento colocar um pedaço de fita isolante ou plástico termo retrátil nas extremidades dos fios. Se você estiver fazendo trabalho de reparo ou manutenção e precisar cortar os fios, sempre cubra as extremidades imediatamente com fita ou plástico termo retrátil.

Também tenha cuidado com a viscosidade de muitos fios. Se você não estiver segurando um fio quando cortá-lo, ele pode escorregar após ser cortado. Você só precisa de um pouco de azar para ele cair em qualquer lugar em seus terminais de bateria expostos e criar um curto circuito. Então sempre segure em um fio que você estiver cortando. Eu gosto de segurar com muitos dedos e cortá-lo entre os dedos. Desta forma, eu posso segurar em ambas as extremidades do fio uma vez que ele for cortado. Quando isto não for possível, sempre se certifique de que você está segurando a extremidade que continua conectada à sua bateria, já que esta possui uma maior chance de causar um curto.

Outra forma excelente de realizar um curto circuito em sua bateria é cortar vários fios ao mesmo tempo. Quando desmontando uma bateria ou realizando manutenção, você geralmente irá precisar utilizar um cortador de fios para cortar seções do fio ou remover conectores. Para aqueles preguiçosos, pode ser tentador cortar vários fios de uma vez, mas fazer isto pode facilmente criar um curto circuito, quando dois fios com potenciais diferentes tocarem as partes metálicas de seus pedaços de fio ao mesmo tempo.

Novamente, isto pode parecer óbvio para algumas pessoas, mas isto é facilmente ignorado, principalmente quando se está trabalhando rápido. Eu não estou muito orgulhoso de admitir que eu tenho alguns cortadores de fio com uma grande quantidade de dentes faltando. Elas foram vaporizadas ao estupidamente cortar um conector carregado de uma vez, em vez de um fio de cada vez. Em minha defesa, eu era jovem e inocente, mas esta desculpa não traz minhas ferramentas de volta (ou os poucos ciclos de carga que provavelmente tiraram a expectativa de vida de minha bateria).

Então sempre se lembre de cortar os fios individualmente, pode ser irritante quando você tem uma dúzia ou mais de fios para cortar, mas só leva alguns segundos a mais e pode prevenir que você danifique sua bateria, suas ferramentas, ou ambos.

Outra ótima forma de causar um curto circuito em sua bateria é quando você está adicionando conectores à sua bateria. Se você não adicionar seus conectores ao fio antes de ele ser anexado à sua bateria, você estará trabalhando com fios potencialmente “quentes”, o que significa que estes fios possuem o potencial para que a corrente flua se o circuito ficar completo. Por isto é melhor adicionar seus conectores antes de inserir os fios à bateria.

No entanto, às vezes adicionar os conectores primeiro simplesmente não é possível. Se você precisa adicionar os conectores após os fios terem sido anexados à bateria, adicione cada conector um de cada vez e certifique-se de instalar qualquer tipo de casco isolante que vem com seu conector, se necessário. Se você possui conectores como os conectores de projétil, conectores Anderson Powerpole ou outros que requerem solda ou encrespar os conectores metálicos antes, seguidos pelo isolante, então é ainda mais importante fazer estas conexões uma de cada vez. Senão, você terá vários conectores expostos sambando juntos no espaço, apenas pedindo por um curto circuito.



Novamente, estou infelizmente falando de minha própria experiência. Muitos anos atrás, quando eu estava apenas começando com as baterias, eu soldei dois conectores de projétil de ouro cromado de 6mm nos fios de descarga de uma bateria de 48V e 15Ah antes de adicionar seus isolantes. Eu deixei um cair e eles devem ter entrado em contato. Eu digo “devem ter” porque eu não vi nada a não ser um grande relâmpago. Na verdade, eu nunca mais vi aqueles conectores. Eles simplesmente evaporaram. Foram embora. O que alguns segundos antes era um conector elétrico de 2.5 cm se transformou em gás e poeira em frente aos meus olhos temporariamente cegados.

Então por favor, aprenda pelo meu erro. Não deixe conectores descobertos soltos por aí. Não corte vários fios de uma vez. Não manuseie uma bateria exposta com as mãos desprotegidas e enquanto usando uma aliança. Todos estes soam como erros idiotas. E eles são erros idiotas. Mas são erros idiotas que são fáceis de fazer quando perdemos o foco. Só o que você precisa é de alguns segundos deixando sua mente vagar para permitir que um acidente aconteça.

Quando você está trabalhando com baterias de lítio, e principalmente quando estiver realizando conexões entre múltiplos jogos de bateria e/ou células, não há espaço para falta de foco. Sempre se concentre no que está fazendo. Na carpintaria, dizemos “meça duas vezes, corte uma”. Na construção de baterias, o ditado deveria ser “pense duas vezes, aja uma vez”. Sempre que você estiver fazendo uma conexão, cortando um fio, ou realizando qualquer tipo de ação em uma bateria de lítio, certifique-se duas vezes de que você está fazendo a coisa certa, e depois faça.

Você vai perceber que eu falo muito sobre curtos circuitos. Isto é porque curtos circuitos são uma combinação conveniente de ambas as formas mais fáceis e mais perigosas para errar com baterias de lítio. Mas curtos circuitos não são a única forma de fazer besteira e criar uma situação perigosa. Como uma versão mórbida de Ron Popeil, estou aqui para dizer “espera, que vem mais!”

## O efeito da temperatura nas células de lítio

O calor é o inimigo das células de bateria de lítio. Calor moderadamente alto irá fazer com que suas baterias operem de forma menos eficientes, o que quer dizer que suas células irão morrer mais cedo e não entregar a totalidade de suas capacidades. Calor moderadamente alto deve ser evitado sempre que possível, mas não é necessariamente perigoso. Baterias de lítio podem

descarregar em temperaturas de até 60°C, apesar de que é melhor manter esta temperatura mais baixa, se possível, para aumentar seu ciclo de vida. Baterias de lítio nunca devem ser carregadas a temperaturas mais altas que 40°C, mas vamos falar sobre carregar baterias específicas no Capítulo 13.

O perigo de verdade ocorre quando células de lítio são levadas a temperatura muito mais altas. Células de bateria de lítio nunca devem passar dos 130°C. A temperaturas um pouco mais altas que 130°C, algumas baterias de lítio correm o risco de escape térmico, que é quando o eletrólito nas células oxida a um ritmo que cria tanto calor que ele aumenta seu próprio ritmo de oxidação, basicamente alimentando seu próprio fogo. À medida em que a célula esquenta com escape térmico, qualquer célula que estiver por perto também aquele ao ponto de escape térmico, causando uma reação em cadeia limitada apenas pelo número de células por perto. Uma vez que uma célula alcança o escape térmico, não há nada que possa ser feito para parar. A célula irá entrar em combustão até que tenha se consumido.

A temperatura com a qual um escape térmico começa varia de célula para célula. Células de cobalto de lítio podem entrar em escape térmico em temperaturas tão baixas quanto 150°C, enquanto células NMC geralmente alcançam escape térmico perto dos 180°C. Ambas as químicas podem alcançar temperaturas de mais de 500°C no pico do escape térmico. O início de um escape térmico varia bastante para células LiFePO<sub>4</sub>, mas algumas vão começar o escape a cerca de 200°C, e a maioria não chegará ao pico em até mais de 230°C durante o escape térmico.

O efeito físico das células depende bastante do tipo de célula. Células cilíndricas, como as 18650, possuem um mecanismo de ventilação no terminal positivo, que permite que o gás escape quando a célula superaquece e se aproxima do escape térmico. Algumas células prismáticas possuem mecanismos de ventilação embutidos. Outras células prismáticas e todas as células em forma de bolsa não possuem ventiladores, e não haverá forma de liberar o acúmulo de pressão na célula. Se a pressão exceder a força da parede da célula, ela pode quebrar, geralmente de forma violenta. Até metade dos gases circulando nas células das baterias de lítio são feitos de gases altamente inflamáveis, incluindo hidrogênio, metano e etileno.

É raro que as células aqueçam ao ponto de escape térmico durante o uso normal ou armazenamento. Seu sócio geralmente não alcança os 130°C, embora seja melhor guardar as baterias de lítio em um lugar fresco em temperatura ambiente. Guardá-la em um lugar mais frio ajuda a aumentar a vida útil das células de lítio.

O maior risco de escape térmico é quando utilizando as baterias de lítio em grandes estradas, que resultam em uma grande retirada de corrente das células individuais. Se a corrente é maior do que a célula pode aguentar, ela começará a aquecer. Se isto acontecer por muito tempo, a célula pode alcançar o escape térmico. Por isto, é sempre importante projetar sua bateria para operar dentro das especificações das células que você está utilizando. Se você possui uma carga contínua de 20 A e está construindo uma bateria com quatro células em paralelo, estas células precisam ter pelo menos 5 A contínuos. Preferencialmente, as células seriam classificadas com ainda mais que 5 A contínuos para garantir que você não está forçando-as ao limite.

Do outro lado do espectro, temperaturas muito frias também não são boas para células de lítio. A maioria das células pode descarregar em temperaturas de até  $-20^{\circ}\text{C}$ , mas elas nunca devem ser carregadas em temperaturas menores de  $0^{\circ}\text{C}$ . Mas novamente, vamos falar mais sobre carregar no Capítulo 13.

## Manuseio e armazenamento

Dependendo do tipo de célula de bateria, baterias de lítio podem ser ou muito robustas ou incrivelmente frágeis. Células cilíndricas são geralmente fortes devido à sua capa de metal rígido, e podem aguentar uma boa quantidade de maus tratos. Você não deve jogá-las por aí, mas algumas células cilíndricas quicando por aí em uma caixa não serão destruídas. Quando possível, você deve tentar deixá-las em algum tipo de invólucro de plástico (não metal!) quando não as estiver utilizando, mas elas basicamente vêm em suas próprias capas protetoras para todas as intenções e propósitos.

Além disso, com seus terminais positivos e negativos em lados opostos da célula, é bem difícil causar um curto circuito acidental em células cilíndricas por tê-las soltas em uma caixa ou bolsa. Ainda assim, é melhor protegê-las em algum tipo de capa, só por precaução.

Células prismáticas podem ser fortes, dependendo de como elas são feitas. Células maiores, variando entre 20 Ah e 100 Ah que foram feitas para veículos elétricos ou armazenamento de energia da casa geralmente são protegidas em um invólucro resistente. Você deve evitar derrubá-las de alguma altura, mas elas geralmente não são muito frágeis.

Células em forma de bolsa, por outro lado, precisam ser manuseadas com cuidado. Elas não podem ser jogadas em uma caixa como as células cilíndricas. Não só elas não possuem qualquer proteção contra perfuração, esmagamento ou rompimentos, elas também geralmente possuem seus terminais positivos e negativos no mesmo lado da célula, fazendo com que seja perigosamente fácil causar um curto circuito nelas se estiverem guardadas dentro ou perto de objetos metálicos. Um clipe de papel solto pode queimar uma casa inteira se causar um curto em algumas células em forma de bolsa dentro de uma gaveta.

Células em forma de bolsa são geralmente enviadas em capas de plásticos. Estas capas de plástico devem ser utilizadas para guardar as células com segurança quando não estiverem sendo utilizadas. Nunca guarde uma grande pilha destas células uma em cima da outra, a não ser que você esteja conectando-as e esteja cuidadoso e ciente do que está fazendo. É muito fácil acidentalmente causar um curto nas células em forma de bolsa quando estão em uma pilha.

Para resumir, células de bateria de lítio são inerentemente perigosas por natureza. Elas possuem uma grande quantidade de energia em uma pequena embalagem, e foram feitas para entregar aquela energia rapidamente. Ao ter precaução e utilizar os princípios de operação segura apropriadamente, podemos assegurar de que as células são extremamente seguras para nosso uso. Sempre preste atenção no que está fazendo e não trabalhe com células de bateria de lítio se você não puder dedicar todo seu foco ao trabalho.



## Capítulo 8: Sistemas de Gestão de Baterias

Sistemas de Gestão de Baterias (BMSs), ou como elas são conhecidas, Módulos de Proteção de Circuito (PCMs) ou Placas de Proteção de Circuitos (PCBs), são circuitos que podem ser adicionados a uma bateria de lítio para proteger a saúde das células individuais da bateria. Por mais que sejam opcionais, elas geralmente são uma boa ideia para incluir na maioria das baterias.

### Por que uma bateria precisaria de BMS?

Como já aprendemos, jogos de bateria são montados ao conectar múltiplas células em série e em paralelo. E como também aprendemos, conexões paralelas entre múltiplas células fazem com que elas ajam como se estivesse em uma grande célula. Se qualquer célula em um grupo paralelo tem uma carga aplicada a ela, então todas as células naquele grupo terão a mesma carga. Desta forma, a voltagem de todas as células de um grupo em paralelo permanece idêntica. No momento em que a voltagem de uma célula começa a cair, a corrente flui de suas células vizinhas para manter o equilíbrio de voltagem. Isto é conhecido como balanceamento.

Células que são balanceadas com respeito umas às outras possuem a mesma voltagem (e consequentemente o mesmo estado de carga) que a outra.

Mas pense naquelas conexões em série. Elas não funcionam da mesma forma. Quando uma carga é aplicada a múltiplas células conectadas em série, todas as células na série irão ter aquela carga mais ou menos igual. No entanto, porque as células em série não estão conectadas a ambos os terminais umas das outras (já que isto as transformaria em células paralelas), elas não podem equilibrar umas às outras.

Agora perceba que o parágrafo anterior eu disse que estas células em série irão ter uma carga mais ou menos igual. Eu não disse idêntica, e isto é importante. Pequenas diferenças entre as conexões das células, assim como as células em si, significarão que cada célula possui uma resistência levemente diferente. Esta pequena resistência significa que uma quantidade um pouco diferente de corrente irá fluir por elas à medida em que diferentes quantidades de corrente são queimadas à medida em que esquentam na forma de resistência. A mesma corrente passar pelo ciclo das séries de células, mas algumas células queimam aquela corrente um pouco mais ou menos como calor. Isto resulta em estados levemente diferentes de cargas para cada célula ou grupo de células paralelas em uma corrente em série.

Células de boa qualidade com conexões elétricas fortes terão resistências quase idênticas, e por isto ficarão bem balanceadas. No entanto, a níveis mais altos de corrente, até mesmo células de boa qualidade irão eventualmente ficar desequilibradas após dezenas ou centenas de ciclos de cargas. Para células de baixa qualidade com grandes diferenças em resistência interna, ou até para baterias feitas com células de boa qualidade, mas com conexões elétricas fracas, as células podem começar a perder seu equilíbrio após apenas alguns ciclos de carga.

O problema com ficar desequilibrado é que a não ser que você esteja utilizando um carregador específico conhecido como um carregador equilibrador para monitorar cada grupo de células e equilibrá-las ativamente durante um ciclo de carga, então as células irão ser carregadas a níveis diferentes. Isto é porque carregadores simples não monitoram os grupos individuais de células quando carregam uma bateria. Eles apenas fornecem uma voltagem e corrente, e então esperam para que a bateria carregue até aquela voltagem, ponto no qual o carregamento está completo.

Com um carregador não balanceado e uma bateria desbalanceada, muitas células irão inevitavelmente ficar sobrecarregadas, enquanto outras células não irão carregar até o final. Isto

causa diversos problemas na bateria. Primeiro, as células de voltagem menor possuem um estado de carga menor porque não foram completamente carregadas. Estas células irão ficar ainda mais vazias na próxima vez que a bateria descarregar, causando danos irreparáveis a estas células. Em seguida, as células de maior voltagem terão carregado a mais de 4.2 V (a voltagem completa apropriada para íon de lítio) ou 3.65 V (a voltagem completa apropriada para LiFePO<sub>4</sub>). Passar qualquer quantidade de tempo acima da voltagem máxima também causará danos irreparáveis que danificarão as células.

Desequilíbrio das células também é uma condição de escape. As células se tornam desbalanceadas, e suportam uma quantidade desproporcional de carga, o que faz com que elas se tornem ainda mais desbalanceadas, e o ciclo vicioso continua aumentando o desequilíbrio até que a bateria se autodestrói.

Certo, eu sei, você entendeu. Células desequilibradas são ruins. Então o que podemos fazer para evitar que as células se tornem desequilibradas após muitos ciclos de carga?

Uma opção é utilizar um carregador equilibrador, como mencionei acima. Carregadores equilibradores são mais comumente utilizados para baterias RC lipo no mundo dos veículos RC, em que eles são considerados uma necessidade. A maioria dos carregadores equilibradores começa ao carregar uma bateria de lítio de forma simples, ao fornecer a voltagem e corrente total apropriada para a bateria inteira, por todas as células igualmente. Isto geralmente ocorre ao conectá-lo diretamente aos fios de descarga e revertendo a corrente para utilizar os fios de descarga para carregar. Mas carregadores equilibradores também se conectam a fios menores (conhecidos como fios equilibradores) que por sua vez se conectam a cada célula individualmente da bateria (ou cada grupo paralelo, se há muitas células em paralelo). O carregador monitora cada célula (ou grupo paralelo) comparadas às outras e pode retirar a voltagem de células de maior voltagem até que todas as células estejam equilibradas.

A maioria dos carregadores equilibradores são capazes de tanto realizar o esquema de balancear a carga, como o simples esquema de “voltagem total para a bateria inteira sem balancear”. Este último é conhecido como carregamento em “massa”. No carregamento em massa, as células não são balanceadas e o problema de algumas células se tornarem um pouco sobrecarregadas enquanto outras células se tornam um pouco descarregadas ainda existe. Para células de bateria de boa qualidade, no entanto, a quantidade de balanceamento que ocorre durante os ciclos normais de descarga e carga é pequeno, o que significa que as baterias podem passar por algumas dezenas de ciclos de carga utilizando carregamento em massa antes que precisem de um carregamento equilibrado. A vantagem de carregar em massa é que é mais



rápido e você não precisam esperar que as células sejam equilibradas ao fim do carregamento. A desvantagem é que claro, as células irão lentamente ficar desequilibradas. Dependendo do tipo específico de bateria, requerimentos do projeto e do usuário, a proporção correta de massa para carregamento equilibrado pode ser selecionada.

Ok, você provavelmente está se perguntando por que faz um tempo que eu não falo sobre BMSs. Isto é depois de todo o capítulo sobre BMS. Bem, você precisa de uma base teórica para entender por que os BMS são tão importantes e úteis. Agora que você entende aonde estávamos, veja aonde estamos indo. Que entre o poderoso BMS!

O trabalho de um BMS é permitir que um simples carregador em massa seja utilizado para fornecer a voltagem total correta para uma bateria enquanto se certificando de que as células não estão desequilibradas. O BMS fica entre o carregador em massa e as células da bateria e regula as células. Ele permite que a voltagem total da bateria do carregador passe pelas células e as carregue à voltagem correta. Mas durante este carregamento, o BMS constantemente monitora as células e irá começar a tirar um pouco de energia de qualquer célula ou grupo paralelo que comece a carregar demais.

O BMS basicamente faz o trabalho de um carregador equilibrador, mas em vez de ficar no carregador, ele geralmente fica fora da bateria, na forma de uma placa de circuito separada. Unidades BMS maiores, por outro lado, geralmente possuem seus invólucros separados para ajudar a dispersar o calor causado pelo processo de balanceamento.

O tipo de balanceamento descrito acima é conhecido como “equilíbrio superior”, porque ele equilibra as células quando estão no topo da curva de carregamento. Este é o tipo mais comum de esquema de equilíbrio BMS. Uma alternativa é conhecida como “equilíbrio inferior”, e funciona da mesma forma que soa. Em vez de balancear as células quando elas estão cheias, ele as equilibra quando elas estão chegando perto de seu estado de carga vazio. Existem muitos debates na indústria de bateria sobre que forma de balanceamento é melhor. Na maioria das vezes, no entanto, o equilíbrio superior é o padrão da indústria e o que você irá encontrar na maioria dos BMSs.

O fato de que o BMS está sempre conectado à bateria fornece alguns benefícios. Os designers dos BMS aproveitaram isto para desenvolver funcionalidades adicionais ao BMS. Quase todos os BMS possuem proteção de circuito para descarregamento também. Porque eles estão conectados a todas as células ou grupos de células, eles podem monitorar a voltagem de todas

as células. Sempre que a primeira célula alcançar o Corte de Baixa Voltagem (LVC), o BMS irá cortar o circuito de descarga e fazer com que a bateria pare de descarregar ainda mais. Isto evita que as células na bateria descarreguem demais e sofram danos irreparáveis.

Curiosamente, alguns dos BMS mais baratos possuem apenas esta opção de Corte de Baixa Voltagem (LVC), mas não possuem uma função de equilíbrio. É preciso prestar atenção a isto se você for comprar um BMS barato. Sempre se certifique com o vendedor de que ele inclui o balanceamento de circuito.

Muitos BMSs também protegem a bateria de descarregamento excessivo, sendo neste ponto onde o BMS corta a energia da bateria se a carga nela exceder um certo limite. Isto evita que as células trabalhem demais e se danifiquem. Isto também pode proteger contra curtos circuitos, dependendo do BMS.

Alguns BMSs possuem proteção termal embutida, em que sondas de temperatura inclusas nele monitoram a temperatura instantânea, e interrompem o processo de carga ou descarga se a bateria ficar muito quente. O sensor de temperatura geralmente possui o comprimento de um fio, permitindo que o usuário o encoste nas células da bateria, fazendo com que ele seja mais responsivo a um aumento repentino na temperatura da célula.

Os BMSs mais caros podem incluir características como conectividade Bluetooth e funções antirroubo ou de alarme. A conectividade Bluetooth permite que o usuário monitore o status e saúde das células ou do jogo de bateria remotamente e em tempo real, de seus celulares ou outros dispositivos com Bluetooth. Funções antirroubo podem prevenir que a bateria forneça corrente até que um sinal seja recebido. Alguns BMSs possuem uma tela para dar uma leitura exata das especificações da bateria. No entanto, esta é uma função rara, e a maioria dos BMSs utilizam um indicador LED para mostrar se o carregamento de uma célula está completo ou não, isto se eles tiverem algum indicador. Também existem BMSs programáveis que permitem que o usuário final atualize suas configurações durante os momentos de ócio, mas estes BMSs são mais caros.

Por último, a maior parte das aplicações apenas requerem um BMS simples que irá proteger as células durante o carregamento e descarregamento. Mas se você quer alguma coisa mais chique, existem muitos BMSs diferentes por aí para escolher.

## Desvantagens de um BMS

Na seção anterior, falamos sobre as vantagens de utilizar um BMS em vez de um carregador equilibrador. No entanto, também há algumas desvantagens no uso dos BMSs.

Uma das principais desvantagens é que um BMS pode falhar, e quando isto acontece, ele irá causar o problema que ele foi criado para evitar. Um BMS que falha pode lentamente drenar as células em uma bateria, geralmente a um ritmo que faz com que o usuário não perceba. Isto pode fazer com que as células se degradem ou se destruam com o tempo (ou rápido, dependendo do tipo de falha). Baterias que são produzidas em massa com uma ênfase na redução de custo são mais propensas a ter estes problemas devido a unidades de BMS baratas com padrões de controle de qualidade fracos.

Embora seja um problema raro, a indústria de ebike já viu um bom número destes casos. Manufaturadores às vezes tentaram reduzir o custo das baterias ao utilizar BMSs baratos ou poupando no controle de qualidade. Isto levou algumas baterias a sofrer um falecimento precoce quando seus BMS baratos ou de baixa qualidade falham.

Por isto, os BMSs ganharam uma má reputação em certas áreas. Como qualquer coisa, você recebe o que pagou, e se você quer um BMS de boa qualidade, você deve esperar pagar um preço razoável. Se uma oferta parece boa demais para ser verdade, provavelmente é. Um BMS barato pode acabar custando muito dinheiro a longo prazo se ele destruir uma bateria cara.

Os BMSs também limitam a quantidade máxima de energia que uma bateria pode fornecer. Porque o caminho de descarga de bateria precisa passar por um BMS (para permitir que o BMS monitore e interrompa a descarga quando necessário), o limite da corrente de descarga de uma bateria com BMS está limitado ao limite de corrente dos componentes utilizados no BMS. BMSs de melhor qualidade podem ter taxas de descarga muito altas, mas seus preços também são mais altos.

Esta, e o peso extra de um BMS, são as duas razões principais porque a indústria de veículos RC não adotou BMSs em suas baterias. Pelo perigo das baterias RC lipo, um BMS faria maravilhas

para ajudar a monitorar e proteger estas baterias. No entanto, veículos RC, e aeronaves RC principalmente, todas requerem uma combinação de potência muito alta e pouco peso. Um BMS adiciona tanto peso quanto reduz a quantidade de energia que uma bateria pode fornecer.

Curiosamente, algumas pessoas que utilizam baterias de RC lipo fora da indústria RC, geralmente devido à sua grande disponibilidade e baixo preço, adicionarão uma unidade BMS a estas baterias para aumentar sua segurança. Quando a alta potência e peso minimizado não são tão necessários, um BMS se torna uma boa adição a estas baterias tão perigosas.

## Conectando um BMS

A fiação correta entre um BMS e uma bateria será explicada com mais detalhes no capítulo 11, então por enquanto eu vou apenas dar uma visão geral para que você entenda como o processo funciona.

Primeiramente, é importante combinar o tipo certo de BMS para suas células de bateria. Um BMS para uma bateria de lítio será feito tanto para células de íon de lítio ou para células LiFePO<sub>4</sub>, mas não para ambas. É extremamente importante que você utilize o BMS correto para suas células. A incompatibilidade entre o BMS e tipos de células pode levar a uma sobrecarga da bateria. Baterias de lítio sobrecarregadas nunca são uma coisa boa. Elas possuem uma tendência a fazer todo um “show de fogos”. Então certifique-se de que escolheu o BMS correto!

Segundo, um BMS é geralmente a última coisa a ser adicionada a uma bateria durante a fase de construção. Eu geralmente coloco o meu logo antes de vedar minha bateria. A razão para isto é que o BMS é geralmente conectado à série intercelular ou às conexões paralelas. Isto evita ter que conectá-lo diretamente às células em si, o que se você estiver utilizando um método de solda, previne que calor desnecessário alcance as células. Como já aprendemos, excesso de calor é o inimigo mortal das baterias de lítio.

O BMS em si terá pequenos fios, geralmente chamados de fios de “senso” ou “equilíbrio”, e fios mais grossos (ou pastilhas para soldar os fios mais grossos) que geralmente são utilizados para carregar e descarregar a bateria. Estes fios grossos serão conectados aos terminais principais positivos e negativos da bateria (ou geralmente apenas o terminal negativo, enquanto os fios finos de equilíbrio serão conectados entre cada conjunto de grupos paralelos).

Alguns BMSs possuem o mesmo número de fios de equilíbrio que o número de células (por exemplo, um BMS de 10s com 10 fios finos de equilíbrio), mas também é comum ver BMSs com mais de um fio de equilíbrio que o número de células para os quais eles foram classificados (ex: um BMS de 10s com 11 fios finos de equilíbrio). Se você possui um número igual de células e fios, então os fios de equilíbrio são conectados cada um ao terminal positivo de cada grupo paralelo. Então para uma bateria de 10s e um BMS de 10s com 10 fios, cada fio seria conectado a 1+, 2+, 3+, etc., até o 10+. Para um BMS de 10s com 11 fios de equilíbrio, este primeiro fio será conectado ao terminal negativo do primeiro grupo paralelo, que também é o terminal negativo da bateria inteira. Então o resto continuaria como acima, com a segunda conexão do fio no 1+, o terceiro fio conectando ao 2+, etc., até o 11º fio conectando ao 10+.

Mas não se preocupe muito com isto agora. Isto tudo ainda é teoria. Vamos voltar no Capítulo 11 e falar sobre conexões BMS com muito mais detalhes quando discutirmos a montagem das baterias.

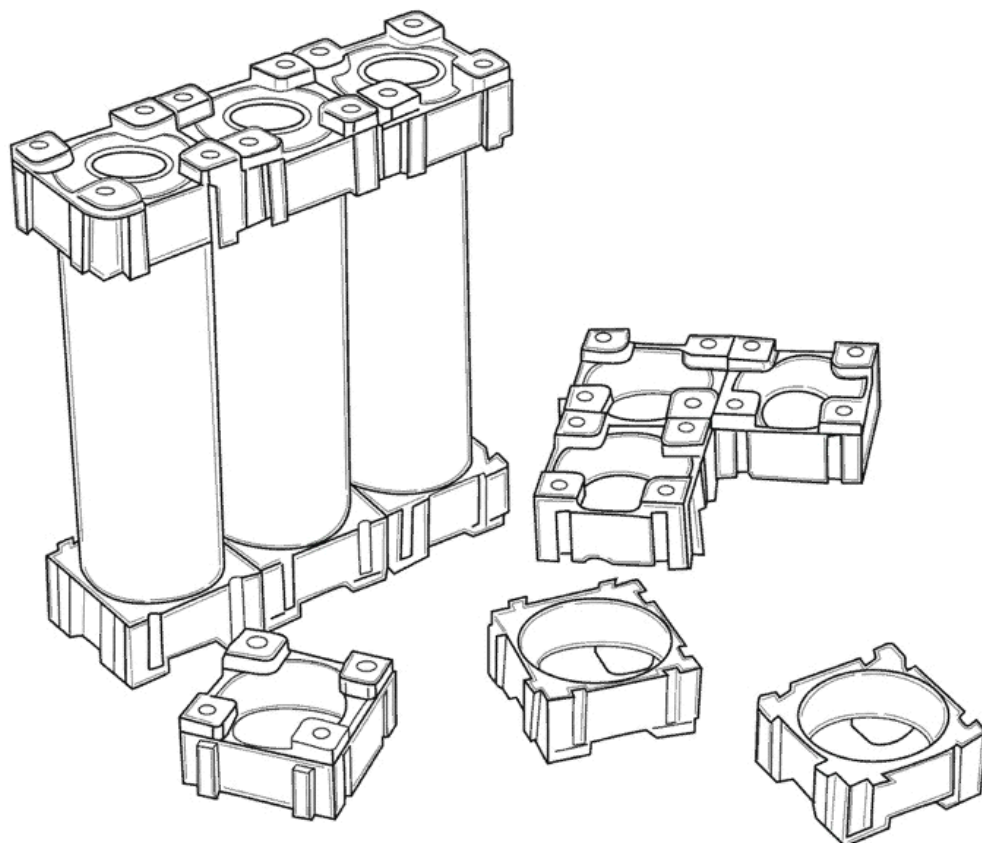


## Capítulo 9: Métodos de Construção

Certo, agora sabemos tudo sobre células de bateria de lítio, como elas funcionam, o que fazer com elas, e como mantê-las seguras. Mas agora você provavelmente está perguntando, “como as combinamos fisicamente para formar uma bateria maior?”. E se você não estava se perguntando, pelo menos agora você está pensando nisto. Aperte os cintos e se segure bem, porque temos um furacão de opções e informações aqui.

### Mantendo as células unidas fisicamente

A primeira coisa que precisamos discutir é como manter as células juntas em um conjunto. Esqueça as conexões elétricas - vamos falar sobre isto nas próximas páginas. Mas como mantemos as células juntas? A resposta depende do tipo de célula que você está utilizando.



As células cilíndricas são os tipos mais comuns de células para construção de baterias customizadas, e também as mais fáceis para segurar, então vamos começar por elas. Todas as células de bateria de lítio padrão possuem suportes de células que foram produzidos para ajudar pessoas como eu e você a juntá-las em jogos de bateria maiores. Para células menores como as 18650, estas geralmente vêm em forma de blocos de plástico com furos circulares no meio. Elas se encaixam como Legos e são fáceis de construir dois suportes de plástico iguais que podem segurar cada extremidade das células. Estes blocos geralmente são pretos, mas algumas células cilíndricas maiores como as Headway 38120s possuem suportes de célula maiores e laranja.

Não importa de que cor ou material eles são feitos, eles são praticamente os mesmos. Geralmente eles vêm em blocos individuais de células ou em fileiras ou matrizes maiores para economizar seu tempo quando construindo baterias maiores.



Se você possui acesso a uma impressora 3D e um programa CAD (ou pode fazer o download de arquivos CAD de outras pessoas pela internet), você pode até mesmo imprimir seus próprios suportes de célula em 3D em qualquer formato que quiser.

A vantagem destes suportes de célula é principalmente sua conveniência. Eles seguram sua célula firmemente, facilitando a criação de conexões. Eles também aumentam a segurança de seu processo de construção da bateria porque geralmente eles possuem pequenas colunas nas bordas que ajudam a manter os terminais das baterias elevados em sua estação de trabalho. Isto ajuda a prevenir curtos circuitos acidentais que podem ser causados ao encostar sua bateria parcialmente completa em um objeto de metal.

Dependendo do tipo de apoio de células, eles também podem proporcionar boa rigidez à sua bateria. Os baratos são, bem, baratos – eles não adicionam muita força porque suas tolerâncias são baixas e eles não se encaixam muito firmemente. Os blocos que se juntam em matrizes maiores são geralmente mais fortes, já que eles não possuem articulações individuais entre cada célula.

Se você está construindo uma bateria que passará por muito movimento e stress, como para um skate ou bicicleta elétrica, apoios de célula fortes podem ajudar a fortalecer sua bateria. A não ser que você vá imprimir um formato customizado em 3D para se adaptar à sua aplicação (ou a não ser que um formato retangular funcione para você), então apoios de célula que se encaixam irão limitar suas opções de design da bateria.

Outro benefício destes apoios de células é que eles permitem que o ar flua entre as células, o que pode ajudar a resfriá-las durante o uso. No entanto, isto ajuda apenas se você deixar sua bateria sem vedação. Se você utilizar plástico termo retrátil em sua bateria ou mantê-la em uma caixa, o efeito resfriador destes suportes de célula serão praticamente zero. O problema é que mesmo que haja um espaço para o ar entre as células, se a bateria estiver vedada em uma caixa ou em plástico termo retrátil, o ar simplesmente aquece e fica entre as células. Você está basicamente criando um pequeno forno. Isto não é necessariamente ruim se sua bateria fica dentro das variações normais de temperatura. As baterias aquecem naturalmente durante o uso, e podem suportar estes aumentos normais de temperatura. Só tente não deixar espaços entre suas células e então vedar a bateria enquanto dando palmadinhas nas costas, pensando que você possui um ótimo sistema de resfriamento.

Para aplicações em que não é necessária impermeabilização, como para baterias de armazenamento de energia de casas ou outras baterias que são mantidas em espaços fechados, o benefício adicional de resfriamento de uma bateria feita com espaços de ar entre as células pode ser uma boa vantagem. Mas você também irá querer se certificar de que suas baterias estão seguras e protegidas de tudo, não só água. Acidentes geralmente acontecem de formas imprevisíveis. Um animal subindo em sua prateleira de bateria pode facilmente iniciar um incêndio ao derrubar baterias sem vedação. Lembre-se disso.

Outra opção para células cilíndricas é simplesmente juntar as células com cola quente em qualquer forma que se adeque à sua aplicação. Cola quente pode parecer rústico, mas na verdade é uma boa opção para diversos usos. Colar as células com cola quente proporciona um uso mais eficiente do espaço, já que você não está colocando blocos de plástico ou conectores entre cada célula. Se você está tentando minimizar o tamanho e peso, cola quente provavelmente é sua melhor opção.

Isto também permite que você construa qualquer formato que quiser, já que você pode simplesmente colar as células de acordo com qualquer modelo que você desenhar para caber em sua aplicação.

Cola quente pode ser bastante rígida, mas não é a forma mais forte de juntar suas células. Ela é limitada pela força da cola e do plástico termo retrátil nas células. Como a maioria das células cilíndricas possuem uma camada de plástico termo retrátil ao redor do exterior de seu invólucro, a cola quente se junta ao plástico termo retrátil, e não à célula em si. Isto significa que se você colar duas células e tentar separá-las, se a cola não falhar primeiro, então o plástico termo retrátil irá rasgar. Geralmente você não possui este nível de stress em sua bateria, mas é algo a manter em mente.

Outra desvantagem de usar cola quente nas células é que ela cria uma massa térmica mais densa. As células no centro não conseguem dissipar seu calor ao ar entre as células, porque há pouco ar disponível. Como discutimos antes, espaços de ar não irão ajudar muito a resfriar se a bateria estiver vedada, mas se a bateria não for vedada e resfriamento passivo ou ativo estiver disponível, então limitar os espaços de ar entre as células ao colá-las terá um impacto negativo no resfriamento da bateria.

Para a maioria das baterias, a falta de espaço de ar ao redor das células causado pela cola quente não será só um problema. Baterias que são utilizadas para aplicações de baixa ou média

potência não irão criar calor suficiente para causar um problema. No entanto, baterias muito grandes e de alta potência irão criar mais calor, então é importante considerar isto.

A cola quente não deve soltar durante condições normais de uso da bateria. A cola quente derrete a cerca de 120°C, o que é mais quente do que você quer que sua bateria opere. No entanto, se por alguma razão você planeja que sua bateria esteja em um ambiente com temperaturas muito altas, lembre-se que a cola quente entre suas células pode ficar mole ou solta.

Algumas empresas experimentaram blocos de cera para segurar células cilíndricas. A AllCell Technologies, empresa de Chicago, utiliza uma mistura de ceras exclusiva com furos cilíndricos para segurar células 18650. Esta cera foi feita para sofrer uma mudança de fase, indo da forma sólida para líquida, à medida em que as células da bateria começam a esquentar. Isto ajuda a tirar o excesso de calor das células. Você pode comprar pacotes pré-construídos da AllCell, ou encontrar várias receitas online de “cera de mudança de fase” caseira para tentar fazer sua própria versão. Um bloco de cera e uma furadeira podem fazer um bom suporte de bateria caseiro!

Se você está utilizando células em forma de bolsa em vez de células cilíndricas, você irá precisar de uma solução muito melhor para segurar suas células. Não há muitos suportes de célula disponíveis no comércio para células em formato de bolsa, principalmente porque não há muitos tamanhos padrão de células em formato de bolsa.

A quantidade de proteção para suas células irá depender de seus requerimentos. Baterias RC lipo são um ótimo exemplo de design minimalista. As células em formato de bolsa que são incluídas em baterias RC lipo são simplesmente unidas por um pedaço de plástico termo retrátil. Geralmente, há uma pequena camada de plástico ou fibra de vidro ao redor do exterior dos invólucros, mas geralmente apenas uma camada de plástico termo retrátil é utilizada para juntar e segurar as células.

A vantagem de utilizar apenas plástico termo retrátil é que você terá a bateria mais leve e pequena possível. A desvantagem é que você possui muito pouca proteção. Qualquer batida ou impacto é transferido diretamente para a pele das células de lítio em formato de bolsa. Qualquer coisa afiada pode facilmente perfurar as células e causar um incêndio. Este método também funciona melhor para baterias menores. À medida em que as baterias aumentam, o maior peso e maior quantidade de energia contida requerem invólucros mais fortes e seguros.

Uma capa de plástico duro é a melhor opção para guardar células em formato de bolsa. Você pode se sentir sofisticado e construir uma caixa customizada de plástico ou chapa de acrílico, ou você pode utilizar produtos prontos como capas OEM. Caixas de ferramentas, lancheiras e caixas para armazenamento que são feitas de plástico duro também são ótimas opções. Elas são produzidas em massa, o que faz seu preço baixar, e também foram feitas especificamente para proteção. Uma camada de espuma no interior de uma capa dura é uma boa ideia para ajudar a amortecer as células e evitar o impacto direto com o plástico.

Algumas pessoas constroem invólucros de madeira para as baterias. Esta também é uma opção, embora eu recomende utilizar uma camada de espuma entre a madeira e as células, assim como na capa de plástico duro. O problema com a bateria é que não só ela é mais inflamável, mas se for deixada sem vedação ela também pode absorver água se ficar molhada. Isto criaria um ambiente úmido ao redor de suas células, o que não é nem um pouco ideal.

Capas de metal geralmente não são uma boa ideia para baterias caseiras a não ser que você tenha certeza de que a bateria e todos os conectores estão 100% selados e isolados, ou que você pintou ou vedou a caixa para torná-la não condutiva. É muito fácil criar um curto circuito acidental em uma caixa de metal se você não tiver cuidado. Embalar toda a bateria com plástico termo retrátil e utilizar conectores bons e fechados pode ajudar a tornar a capa de metal mais viável.

Células prismáticas geralmente vêm em suas próprias capas de plástico duro, o que faz a construção de uma bateria um processo muito mais fácil. Células prismáticas grandes, entre 20Ah – 100 Ah geralmente são utilizadas na construção de veículos elétricos, e podem ser utilizadas como estão, sem necessidade de capas externas. Elas podem simplesmente ser colocadas no porta-malas ou no compartimento de motor de um carro, embora uma caixa personalizada para proteger as baterias e apoiá-las seja uma boa ideia. Uma caixa assim também pode ajudar a tirar a pressão física das conexões elétricas, barras de suporte e fiação para conectar a bateria eletricamente.

As células prismáticas são geralmente guardadas em caixas de madeira, geralmente porque seu tamanho maior dificulta encontrar caixas OEM de plástico que podem segurar baterias grandes. O fato de que células prismáticas são vedadas também faz com que seja um problema menor se a caixa de madeira absorver um pouco de umidade. Células prismáticas menores podem ser

colocadas em caixas OEM de plástico, ou deixadas expostas se foram construídas em seus próprios invólucros de plástico rígido.

## Juntando células em série e em paralelo

Existem diversas formas diferentes de fazer conexões elétricas para juntar células de lítio. O método certo geralmente depende do tipo de célula e requerimentos de carga da bateria.

Algumas células de lítio vêm com terminais rosqueados que facilitam na hora de parafusar as células. Muitas células prismáticas, principalmente aquelas maiores, possuem estes conectores rosqueados. Às vezes eles são rosqueados que se estendem das células e requerem uma porca para conectar aos rosqueados dos terminais da bateria, e às vezes são furos rosqueados que requerem que parafusos sejam inseridos na própria caixa da bateria.

Células Headway são algumas das poucas células cilíndricas que possuem colunas rosqueadas disponíveis para facilitar o processo de montagem do conjunto. Células cilíndricas geralmente possuem terminais suaves e planos que foram feitos para serem segurados por baterias com contatos de mola ou soldados.

Baterias com contatos de mola são os tipos comuns utilizados para baterias menores como AA. Eles são os suportes de bateria que você geralmente vê em um controle remoto, e geralmente consiste de uma mola em uma extremidade e um botão ou doma circular na outra. A mola assegura que as duas extremidade da bateria são mantidas em constante contato com os terminais do invólucro.

Este método é provavelmente o mais fácil para juntar as baterias para formar conjuntos maiores, já que ele não requer ferramentas ou habilidades. Apenas alinhe os '+'s e os '-'s e encaixe as baterias! O problema com este método é que ele só funciona para aplicações de baixa potência, e por isto é utilizado na maioria dos bens de consumo eletrônicos. Os contatos de mola possuem resistência relativamente baixa, e então se você estiver retirando qualquer quantidade significativa de energia da célula, você vai terminar com uma grande queda de voltagem e muito calor desperdiçado nos terminais das molas. Se você tentar tirar energia demais, você pode até superaquecer os contatos das molas, que passarão a ficar vermelhas. Como você pode imaginar, isto é um mau sinal. Você quer evitar isto.

Uma das maiores vantagens das baterias de lítio é que elas podem fornecer uma alta potência. Aproveitar esta potência quer dizer que você não pode utilizar os suportes de contato de mola.

Em vez disso, a melhor forma de juntar as baterias de lítio que não possuem terminais de parafusos é soldando. A soldagem por pontos é uma simples forma de soldagem que funciona ao passar uma corrente muito alta por dois pedaços de metal fixos. Um eletrodo em cada lado do metal fixo (ou em muitas soldagens de bateria, no mesmo lado) pressiona o metal e aplica um pequeno pulso de alta corrente. A corrente flui de um eletrodo ao primeiro pedaço de metal, e então ao segundo pedaço de metal, e finalmente ao segundo eletrodo. A maior resistência é encontrada entre os dois pedaços do sanduíche de metal. Por causa da maior resistência entre os metais, esta junção rapidamente aquece e faz com que o metal derreta instantaneamente, juntando os dois pedaços de metal naquele ponto.

A chave para fazer soldagem por pontos é que este pulso de corrente é muito curto, geralmente de apenas alguns milissegundos. Isto significa que aquele único lugar que aquece é a junção entre os dois metais sendo soldados.

De fato, a maioria das soldagens por pontos em baterias utiliza um pulso duplo, em que dois pulsos extremamente curtos de corrente são atirados em uma rápida sucessão. O primeiro pulso geralmente ajuda a amolecer o metal e queimar impurezas, enquanto o segundo pulso, o mais forte, realiza a soldagem.

Como já falamos diversas vezes, o calor é o inimigo das células de bateria de lítio. Ao utilizar a soldagem por pontos para juntar as células, apenas uma quantidade muito pequena de calor é criada por um tempo muito curto, e aquela quantidade pequena de calor é rapidamente dissipada ao ar do ambiente. Isto é crucial, porque quanto mais calor é transferido à célula de bateria de lítio, mais dano será causado à célula.

A soldagem por pontos é o método mais comum para juntar células de bateria de lítio que não possuem terminais de parafusos, e é o método utilizado por praticamente todos os construtores profissionais de bateria.

Soldadores de baterias por ponto profissionais custam muitos milhares de dólares e estão fora do alcance dos construtores de baterias caseiras que planejam construir apenas algumas baterias. Os soldadores por ponto profissionais geralmente possuem recursos CNC para soldar automaticamente um padrão pré-programado, e geralmente utilizam descarga condensadora. No entanto, soldadores de bateria a nível de hobby que utilizam transformadores em vez de condensadores são muito comuns, e podem ser encontrados por algumas centenas de dólares em sites como AliExpress e eBay.

O soldador por pontos mais barato a nível de hobby custa cerca de US \$100, mas geralmente deixam muito a desejar em termos de qualidade. Até mesmo os soldadores por ponto de \$200-\$300 são conhecidos por ser meio duvidosos às vezes. Estes ou funcionam muito bem ou chegam quebrados. E porque geralmente estão disponíveis apenas para compra por meio de vendedores asiáticos online, pode ser difícil devolver uma unidade defeituosa ou quebrada.

Houve um tipo de renascença dos soldadores por ponto caseiros baseados em microcomputadores como Arduino ou Raspberry Pi. Estes soldadores por ponto geralmente utilizam uma bateria de carro como fonte de corrente, e utilizam micro controles para controlar o pulso elétrico. Embora nesta opção geralmente se faça necessário um operador habilidoso para construir seu próprio soldador por pontos, ela geralmente resulta em soldadores de melhor qualidade.

O material mais comum utilizado para soldagem por pontos em células de bateria é o níquel. O níquel é uma opção excelente para construir conexões elétricas para jogos de bateria por causa de sua alta condutividade e resistência relativamente baixa. O cobre geralmente é utilizado para conexões elétricas, já que sua condutividade é ainda mais alta e a resistência mais baixa do que o níquel, mas esta mesma baixa resistência dificulta a soldagem. O problema é que a maioria dos eletrodos para soldagem por pontos são feitos de cobre, e se você lembra de como o processo de soldagem por pontos funciona, precisamos criar uma maior resistência entre os dois pedaços de metal sendo soldados do que entre o mesmo metal e os eletrodos. Se todas as partes são feitas de cobre, é difícil assegurar que a resistência entre as duas superfícies soldadas será substancialmente maior do que entre os eletrodos. O níquel, por outro lado, é bastante fácil de soldar com eletrodos de cobre, embora ainda possua uma resistência baixa o suficiente para ser uma boa escolha para conexões elétricas entre células de baterias.

Rolos de tiras de níquel estão comumente disponíveis especificamente para soldagem de jogos de bateria. Tiras de níquel são produzidas em diversas larguras e espessuras. A espessura máxima do níquel que pode ser soldado pela maioria dos soldadores por pontos a nível de

hobby é aproximadamente 0.15mm. Para células 18650, você geralmente não deve utilizar nada mais estreito que 7mm, senão você estará reduzindo a condutividade das conexões de suas células. Eu gosto de utilizar tiras de 8mm com 0.15mm de espessura, e geralmente utilizo várias tiras soldadas uma em cima da outra quando preciso de uma bateria com maior corrente.

Damian Rene, um construtor de baterias customizadas em Madrid, calculou e divulgou uma útil tabela para determinar a quantidade de corrente que pode ser levada por uma tira de níquel de certo tamanho de forma segura. O alcance ideal é onde o níquel quase não aquece acima da temperatura ambiente. O alcance aceitável é quando o níquel começa a aquecer, mas não superaquece. O alcance fraco é quando acontece um superaquecimento e correntes acima deste nível devem ser evitadas.

<b>Acceptable current levels for pure nickel strips</b>			
<b>Size</b>	<b>Optimal</b>	<b>Acceptable</b>	<b>Poor</b>
<b>0.1 mm x 5 mm</b>	<b>&lt; 2.1 A</b>	<b>~ 3.0 A</b>	<b>&gt; 4.2 A</b>
<b>0.1 mm x 7 mm</b>	<b>&lt; 3.0 A</b>	<b>~ 4.5 A</b>	<b>&gt; 6.0 A</b>
<b>0.15 mm x 7 mm</b>	<b>&lt; 4.7 A</b>	<b>~ 7.0 A</b>	<b>&gt; 9.4 A</b>
<b>0.2 mm x 7 mm</b>	<b>&lt; 6.4 A</b>	<b>~ 9.6 A</b>	<b>&gt; 12.8 A</b>
<b>0.3 mm x 7 mm</b>	<b>&lt; 10 A</b>	<b>~ 15 A</b>	<b>&gt; 20 A</b>

Título: níveis de corrente aceitáveis para tiras de puro níquel.  
Da esquerda para a direita: Tamanho, Ideal, Aceitável, Fraco.

Como eu gosto de utilizar tiras de níquel com largura de 8mm e espessura de 0.15mm, minha regra geral é que para este tamanho, uma tira pode carregar 5 A. Se eu precisar de mais de 5 A de capacidade de carregamento de corrente por tira, então eu soldo outra tira em cima da primeira. Eu sempre soldo uma tira de cada vez para ter certeza de que eu tenho a melhor soldagem possível. Como você pode ver da mesa, o alcance aceitável da tira de níquel desde tamanho é um pouco maior que 5 A, mas eu também tenho uma regra de ficar sempre seguro.

Também seria possível utilizar tiras de níquel mais grossas em vez de soldar múltiplas camadas, mas a maioria dos soldadores por pontos a nível de hobby não conseguem lidar com tiras de níquel com mais de 0.15mm de espessura. Soldar duas camadas de níquel possui o mesmo efeito que utilizar uma camada de níquel que seja duas vezes mais espessa.



Tiras de níquel geralmente estão disponíveis em duas variedades, tiras de níquel puro e tiras de níquel com aço cromado. Não ser que você tenha requerimentos de corrente muito baixos, você quer a tira de níquel puro (que geralmente é vendida como tira com 99.9% de níquel puro). Tiras de níquel com aço cromado são mais baratas para produzir, mas possuem uma resistência muito maior, e por isso são ideais apenas para baterias com baixa potência.

Tenha cuidado ao comprar tiras de níquel puro, e se certifique de que se trata realmente de níquel puro. Quando comprando tiras de níquel de vendedores internacionais, muitas vezes vi pessoas vendendo níquel de aço cromado como puro níquel. Os dois parecem idênticos e são difíceis de distinguir, mesmo quando dada uma amostra de cada. Os dois possuem a mesma aparência e densidades quase idênticas (ou perto o suficiente para você precisar de equipamentos de laboratório para medi-los com precisão o suficiente para distingui-los pela massa). Juntos, eu e Damian Rene desenvolvemos dois testes para determinar se as tiras de níquel são puras ou de aço cromado.

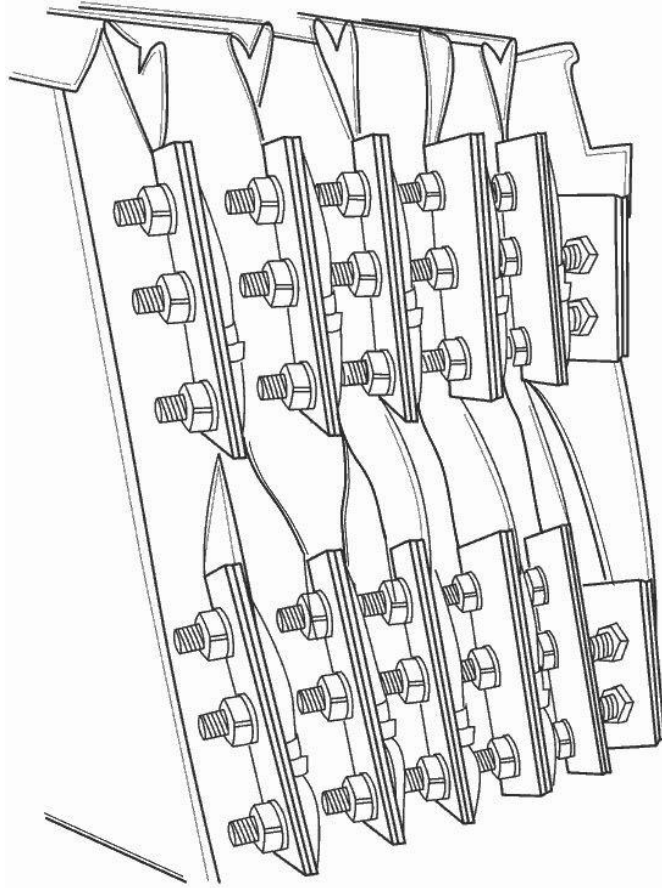
O teste da água salgada: o níquel não se corrói facilmente, ao contrário de aço, que adora enferrujar. Pegue um pedaço de tira de níquel e a risque agressivamente com uma lixa forte ou uma lima de metal. Se você não possui nenhuma destas, utilize uma moeda, um prego, ou qualquer coisa – apenas certifique-se de atacar a superfície. Queremos arrancar um pouco da camada de níquel, se ela existe. Então misture água com sal em um copo (a quantidade não importa). Derrube suas tiras de níquel arranhadas na água e espere alguns dias. Se você não perceber nenhuma ferrugem sendo formada, você tem níquel puro! Se você perceber ferrugem marrom ou laranja, você possui tiras de níquel com aço cromado.

O teste da roda com lixa/trituração: eu desenvolvi este teste por acidente enquanto experimentava o primeiro teste. Eu utilizei uma roda de lixa Dremel para arranhadas a superfície de uma tira de níquel puro e uma tira de níquel com aço cromado antes de fazer o teste da água salgada. A tira de níquel puro não obteve qualquer reação, mas quando utilizei a roda de lixa na tira de níquel com aço cromado, faíscas brilhantes saíram a tira assim que a roda começou a corroer a fina camada de níquel e entrou em contato com o aço. Faz sentido que o aço crie faíscas. Aparentemente, o níquel não faz isto, então este é outro ótimo teste. É também superior ao teste da água salgada porque você consegue resultados instantaneamente. Mas se você ainda possui dúvidas, vá em frente e jogue a tira em água salgada após tritura-la, e você verá os resultados.

Além das tiras de níquel, algumas pessoas utilizam chapas de níquel para juntar células, principalmente quando construindo jogos de bateria maiores. A vantagem das chapas de níquel é que você pode cortá-las em qualquer formato que quiser. Tiras de níquel requerem que você faça conexões em linha reta, mas chapas de níquel podem ser cortadas em formas abstratas e alcançar diferentes partes de uma bateria. Elas também facilitam para utilizar uma camada de níquel, já que possuem maior largura e podem carregar maior corrente que tiras individuais. Vamos falar mais sobre utilizar várias tiras de níquel para carregar mais corrente no Capítulo 10.

O níquel é um ótimo material para soldar por pontos entre células cilíndricas, mas outros tipos de células não requerem nenhum material extra, dependendo da configuração de sua bateria. Células em forma de bolsa possuem maiores terminais de bateria que podem ser combinados em diversas formas.

Algumas pessoas utilizam blocos de alumínio para fixar as abas das baterias, e então fios podem ser soldados ou parafusados diretamente aos blocos de alumínio. Outros fizeram furos nas abas e as parafusaram para conectar os fios diretamente nas próprias abas. Tenha cuidado com este método, já que você quer ter certeza de que está parafusando apenas a aba. Fixar a aba a uma mandriladora com furos já feitos pode ser um bom método para assegurar que sua furadeira não vai acidentalmente perfurar a célula.



As abas às vezes podem ser soldadas por pontos, mas geralmente são feitas com um material de resistência baixa o suficiente para dificultar a soldagem. Células em forma de bolsa geralmente utilizam alumínio para uma aba e cobre revestido para a outra. Ambos os materiais podem ser difíceis de soldar.

Você deve ter muito cuidado quando conecta as células em forma de bolsa porque o método de empilhar células em forma de bolsa resulta em diversos terminais de células muito próximos uns dos outros. Se dois terminais de células adjacentes se tocarem quando seus parceiros já estiverem soldados em uma série, um curto circuito irá ocorrer, causando um raio de luz, um estouro alto, e provavelmente a desintegração dos terminais. E este é o melhor caso possível. O pior caso possível seria se as abas se fundisse, e causassem um curto circuito que não pode ser facilmente quebrado, levando as células a superaquecerem rapidamente e explodirem. Então quando você estiver trabalhando com células em forma de bolsa empilhadas, tenha bastante cuidado para evitar curtos circuitos. Isto geralmente significa que após terminar uma soldagem por ponto entre dois terminais de bateria, os terminais devem ser isolados de alguma forma, geralmente com plástico termo retrátil, fita isolante ou fita kapton.

Agora precisamos falar de soldagem como um método para juntar células. Falando de forma geral, células de lítio não devem ser soldadas juntas. Eu odeio continuar repetindo isto, mas como discutimos, o calor é o inimigo das células de bateria de lítio. Ferros de soldagem geralmente operam a cerca de 250°C. Qual foi aquela temperatura do escape térmico de várias células de íon de lítio que aprendemos no Capítulo 7? Ah é, 150°C. Células de lítio estão em risco de entrar em escape térmico a 150°C. Então você pode ver por que colocar um ferro de soldagem de 250°C na extremidade de uma célula de bateria de lítio pode ser um problema, certo?

Para ser realista, a não ser que você estiver soldando por muito tempo, você provavelmente não vai aquecer a célula à sua temperatura de escape térmico, mas você vai danificar a célula, e este dano é permanente. Dano irreparável é causado quando a célula é aquecida a temperaturas muito altas, e quando você solda as células, você causará danos em pequenas áreas que estão próximas ao terminal da célula. Não importa quão rápido você possa soldá-las e quão curto seja o período em que a ponta quente do ferro de soldagem fique em contato com as células, ela vai passar muito do calor para a célula.

Existem basicamente dois problemas aqui: você pode soldar células de lítio, e você deve soldá-las? Tecnicamente, sim, você pode soldar células de lítio. Vai funcionar. Mas você deve?

Não.

Se você passou uma certa quantidade de tempo pesquisando baterias caseiras, então você já viu pessoas soldando células de baterias de lítio. Se você procurar, você também vai encontrar pessoas dizendo que não há problema em soldar células de lítio, que você pode fazer isto de uma certa forma, ou que está tudo bem se fizer rápido, etc. Estas pessoas são simplesmente desinformadas, e estão confundindo o fato de que, embora seja possível soldar células de lítio, não é recomendado fazer isto.

O pior cenário é se você soldar células cilíndricas como as 18650s, especificamente o terminal negativo (ânodo). Como vimos no Capítulo 2, células cilíndricas possuem terminais em ambas as extremidades, e o terminal positivo (cátodo) está separado dos conteúdos da célula pela tampa, ventilador, e outros componentes que ficam embaixo do terminal positivo. No entanto, o terminal negativo é o casco da célula em si, e está pressionado contra o preenchimento de eletrólito no centro da célula. Isto significa que quando você aquece aquela parede extremamente fina da célula na parte inferior, você está diretamente transmitindo aquele calor

imediatamente para o conteúdo da célula. Na extremidade positiva da célula, você pelo menos obteve alguma separação entre o terminal e o material de eletrólito embaixo, mas o terminal negativo não tem pena. Aquecê-lo com um ferro de solda é simplesmente pedir que a célula seja danificada e morra prematuramente.

Células em formato de bolsa, com suas abas mais longas, são um pouco mais resilientes quando se trata de aquecer com um ferro de solda, mas note que eu disse um pouco. Estes terminais estão muito próximos ao eletrólito da célula, e ao aquecê-los, você está arriscando danificar a célula. Além disso, muitas abas das células em forma de bolsa podem ser difíceis de soldar devido ao seu material. Você deve utilizar solda e fluxo especiais dependendo do material utilizado. Poucas vezes você irá encontrar células em formato de bolsa que possuem abas de níquel que foram soldadas por pontos nos terminais principais na fábrica. É muito mais fácil (e seguro) soldar nestas abas de níquel adicionais.

Se soldar células de lítio é tão ruim, por que tantas pessoas fazem isto? Bem, por um lado, é uma forma muito barata de combinar as células. Você não precisa de ferramentas sofisticadas ou soldadores por pontos ou faixas de montagem customizadas. Tudo o que você precisa é de um ferro de soldagem, um pouco de fluxo e uma boa solda.

Além disso, muitas pessoas constroem baterias de lítio a partir de células resgatadas que eles tiraram de uma bateria antiga de laptop e outros dispositivos. A comunidade caseira powerwall é conhecida por isto. Eles estão construindo baterias de armazenamento de energia de casas enormes e procuram minimizar os custos o máximo possível. Utilizar células resgatadas e soldá-las economiza muito dinheiro. Além do mais, como eles estão utilizando células que foram praticamente de graça ou muito baratas, e porque estas células são de qualidade e vida útil desconhecidas, eles provavelmente consideram qualquer dano à célula como inconsequente. Qual o problema de perder 10% da capacidade de sua célula se ela foi de graça?

Eu vejo isto como como artesanato de pobre qualidade e responsabilidade questionável em termos de segurança. No entanto, as pessoas fazem o que querem, e meu trabalho é simplesmente entregar os fatos e informações que você precisa para planejar sua própria construção de bateria caseira que se ajuste às suas necessidades.

## Fusíveis ao nível da célula

Fusíveis individuais em cada célula, também chamado de fusíveis a nível da célula, são comuns em baterias muito grandes e baterias que apresentam riscos para a vida e segurança humana. Baterias de veículos elétricos são um bom exemplo. A imagem abaixo mostra o tipo de fusível utilizado para cada célula em um veículo elétrico da Tesla. Os fusíveis em si são pequenos fios ligados ao terminal da célula da bateria.

A ideia por trás dos fusíveis a nível de célula é que se qualquer célula em um grupo paralelo sofrer um curto circuito, ela iria superaquecer e queimar o fusível, e conseqüentemente, se desconectaria do circuito. Sem um fusível a nível de célula, a célula individual em curto circuito ou levaria a outros curtos circuitos em uma reação em cadeia ao seu redor, ou lentamente drenaria o resto das células para a voltagem zero, arruinando o resto das células do grupo paralelo.

Para a grande maioria das baterias caseiras a nível de hobby, os fusíveis a nível de célula não são necessários. As chances de um curto circuito são muito pequenas quando se utiliza as baterias de forma apropriada, principalmente utilizando células de boa qualidade. No entanto, à medida que o tamanho e, conseqüentemente, o custo da bateria aumenta, e à medida em que as probabilidades de falha (como ferimentos ou morte) aumentam, as conseqüências de uma única célula ruim estragando todo um grupo paralelo ou a bateria também aumentam.

Quanto maior a bateria, e quanto mais pequenas células individuais em cada grupo paralelo, mais úteis os fusíveis a nível de célula individual podem ser. Eles geralmente são utilizados na comunidade caseira powerwall, principalmente quando as baterias são feitas de células resgatadas com histórias e qualidade desconhecidas. Neste caso, fusíveis a nível de célula caseiros são feitos ao cortar os fios de resistores de 1/4 W ou 1/8W e soldando-os entre o terminal da célula e a barra de suporte. Como falamos antes, no entanto, a soldagem não é uma boa forma de conectar as coisas na maioria das células de baterias de lítio.

Fabricantes de veículos elétricos como a Tesla, que utilizam milhares de células por veículo, utilizaram métodos de soldagem sofisticados para criar fusíveis a nível de célula. Estes são geralmente difíceis de reproduzir em baterias a nível de hobby. Um método que foi utilizado foi o de cortar a área da tira de níquel soldada aos terminais da bateria a uma largura muito pequena. Isto é fácil de fazer com técnicas de corte a laser, mas pode ser feito à mão também. Isto cria uma seção curta e fina de níquel que serve como um fusível a nível de célula.

É suficiente dizer que a maioria dos projetos não precisarão de fusíveis a nível de célula a não ser que você esteja planejando dirigi-lo, voar, ou se você acha que pode perder milhares de dólares se uma célula de baixa qualidade entrar em curto circuito.

## Capítulo 10: Layout e design da bateria

Parabéns, já falamos de tudo que precisamos saber para começar a planejar nossa bateria! Aqui é onde a diversão começa, porque agora podemos parar de falar de teoria e começar a trabalhar na realidade para planejar uma bateria.

Existem vários parâmetros para o layout e design de uma bateria. Alguns destes parâmetros estão interconectados e mudar um irá afetar os outros. É importante planejar todos os nossos parâmetros antes que possamos começar a escolher células ou até pensar em começar a montagem. Vamos falar sobre parâmetros de design, um de cada vez.



# Voltagem

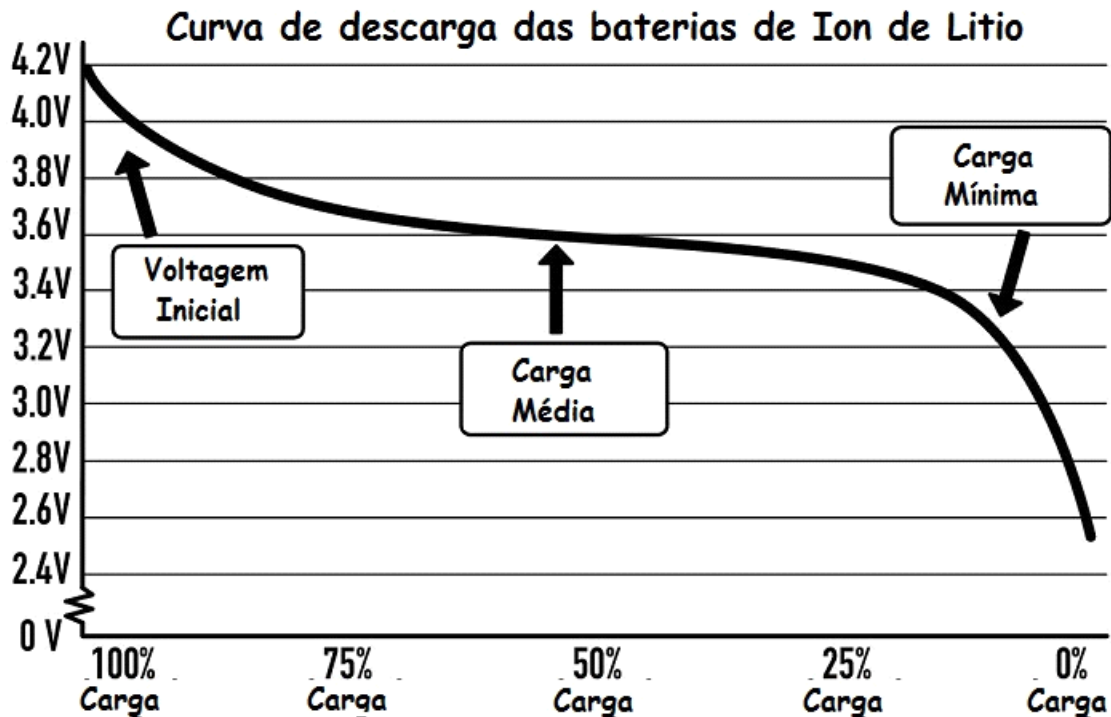
Vamos começar com voltagem, que é um dos aspectos mais importantes de sua bateria. A voltagem é a medida da força elétrica de sua bateria. Uma maior voltagem significa maior força elétrica. Lembra do que aprendemos sobre fiação em série no Capítulo 6? Para aumentar a voltagem de uma bateria, precisamos de mais células em série. Em uma bateria de alta voltagem com muitas células em série, estes elétrons estão sendo criados! Isto se deve a uma maior força de elétrons tentando tirar aqueles elétrons do circuito. Isto também explica por que a bateria AA (que possui 1.5 V) apenas faz uma pequena faísca se você causar um curto circuito, mas uma bateria de 9 V irá produzir uma faísca muito maior!

Em geral, baterias de maior voltagem são mais eficientes, já que uma bateria de maior voltagem pode fornecer a mesma quantidade de energia que uma bateria de baixa voltagem, enquanto fornecendo menos corrente. Menos amperes resultam em menos energia sendo perdida em forma de calor.

No entanto, uma alta voltagem nem sempre é melhor. Você precisa combinar a voltagem para qualquer dispositivo que você estiver alimentando. Como discutimos no Capítulo 3, você também precisa considerar tanto a queda de voltagem quanto o alcance de voltagem em toda a curva de descarga de sua bateria.

A queda de voltagem é a redução instantânea de voltagem quando uma carga é aplicada à bateria. Quanto maior a carga, menor vai ser a queda de voltagem. Isto também é conhecido como afundamento de voltagem. Em adição ao afundamento de voltagem em uma carga instantânea, a voltagem também irá cair lentamente em cima da curva de descarga de uma bateria. Neste caso, a voltagem irá apresentar uma maior queda no começo e fim da descarga, e um nível de voltagem relativamente uniforme no meio da curva de descarga.

Células de íon de lítio variam de 3.0 V a 4.2 V, enquanto células LiFePO<sub>4</sub> variam entre 2.5 V a 3.65 V. Multiplicando estes valores pelo número de células em série em sua bateria dará o alcance de voltagem de sua bateria entre seus estados cheio e vazio.



Título: curva de descarga típica de uma célula de bateria de íon de lítio

Da esquerda para a direita: Grande queda inicial de voltagem; voltagem relativamente estável; grande queda final de voltagem.

Se seu dispositivo requer uma voltagem constante, você pode precisar considerar utilizar um conversor de voltagem ou um regulador de voltagem. Um conversor DC-DC pode pegar a voltagem de sua bateria e diminuí-la ou aumentá-la a qualquer voltagem que você especificar, assumindo que está dentro do alcance daquele conversor específico. Conversores DC-DC também podem ser úteis se você precisar de uma voltagem maior, mas não quiser construir uma bateria maior com tantas células em série.

Por exemplo, se você precisa de 12 V para um dispositivo, mas só tem espaço (ou tolerância de peso) para duas células, você pode construir uma bateria de 2s1p consistindo de duas células em série, e então utilizar um pequeno conversor DC-DC para aumentar a voltagem para 12 V. Tenha em mente que utilizar um conversor de aumento (ou impulso) vai exigir uma retirada maior de corrente da bateria para compensar pelo aumento da voltagem.

Agora vamos tentar um exercício para praticar a projeção da voltagem correta da bateria para um projeto em particular.

Para este exemplo, vamos utilizar uma bicicleta elétrica como nosso projeto. Digamos que a bicicleta elétrica exige uma bateria de 36 V. Se virmos o controle, vamos descobrir que na verdade ele possui um corte de baixa voltagem (LVC) de 29 V. (Isto será diferente para cada bicicleta elétrica e controle; estou apenas utilizando um exemplo comum).

Isto significa que precisamos nos certificar de que estamos utilizando células suficientes em série para alcançar a voltagem apropriada. Neste caso, podemos utilizar 10 células em série. Uma bateria 10s teria uma voltagem nominal de cerca de 37 V (3.7 V por célula  $\times$  10 células em série = nominal de 37 V). Mas também devemos nos certificar de que a bateria pode descarregar a uma voltagem razoável para atender ao corte de baixa voltagem (LVC). O LVC é de 29 V, o que significaria 2.9 V por célula em nossa bateria de 10s. Isto está bem, já que as células de íon de lítio podem descarregar a 2.5 V, embora 2.9 V seja mais saudável, já que evita que as células alcancem seu limite mais baixo. Também é por isso que quase todas as baterias de 36 V para bicicletas elétricas utilizam uma configuração 10s.

O que aconteceria se tentássemos utilizar uma configuração 9s? Isto nos daria uma voltagem nominal de 33.3 V. Uma bateria de 33.3 V ainda funcionaria para esta aplicação por um tempo, mas à medida em que descarrega, a bateria alcançaria o LVC do controle em 29 V. Para uma bateria 9s, 29 V significaria que cada célula está a 3.2 V quando o controle alcançar o LVC. Isto ainda deixa 20% da capacidade em cada célula, fazendo com que haja um pequeno desperdício. Tecnicamente, seria bastante saudável para as células, já que elas não estariam descarregando muito próximas ao seu mínimo, mas ainda parece uma perda de bom potencial, assumindo que queremos utilizar toda a capacidade de nossas células.

E se fizéssemos uma bateria de 11s? Queríamos checar para ter certeza de que não excede a voltagem permitida de nosso dispositivo, que é o controle de ebike neste caso. Digamos que nosso controle de ebike tem algum tipo de segurança embutida conhecida como corte de alta voltagem (HVC). Neste caso, o controle está conectado a uma bateria com uma voltagem acima de seu HVC, e irá se desligar para se proteger. Digamos que nosso controle possua um HVC de 45 V.

Uma bateria 11s teria uma voltagem de carga completa de 46.2 V (11 células em série  $\times$  4.2 V por célula). Estes 46.2 V são maiores que nosso HVC de 45 V. Isto significa que uma bateria de 11s teria uma voltagem alta demais para nossa aplicação neste exemplo. Mas uma bateria de

10s possui uma voltagem de carga completa de apenas 42 V, o que é perfeito para este caso, então novamente nossa bateria 10s possui a configuração correta.

Lembre-se que células de lítio diferente possuem voltagens diferentes. O exemplo acima utilizou células de íon de lítio, que possuem uma voltagem nominal de cerca de 3.7 V e uma voltagem de carga completa de 4.2 V. Células LiFePO4 possuem voltagens menores. Células LiFePO4 possuem nominal de 3.2 V, carga completa de 3.65 V e podem ser drenadas a até 2.5 V. Isto muda nossos cálculos.

Se refizermos nosso exemplo acima com a bicicleta elétrica de 36 V, uma bateria 10s utilizando células LiFePO4 não irá mais funcionar. Completamente carregada, uma bateria 10s utilizando células LiFePO4 chegariam a apenas 32 V. Considerando o afundamento de voltagem, a bateria provavelmente alcançaria o corte de baixa voltagem (LVC) de 29 V neste exemplo quase imediatamente. Não é bom. Precisamos de mais células em série.

Por que você não tenta descobrir qual o número apropriado de células LiFePO4 para este exemplo com uma bateria de 36 V, levando em conta um LVC de 29 V e um HVC de 45 V? Então eu vou resolver isto com você para vermos se conseguimos a mesma resposta.

...

Ok, você já terminou? Vejamos, precisamos ter certeza de que nossa menor voltagem está perto dos 29 V do LVC. Se escolhermos uma configuração 12s, então a 29 V veríamos 2.42 V em cada célula. Isto é mais baixo que os 2.5 V ao qual podemos descarregar cada célula. Mas se tivermos um BMS protegendo nossa bateria, então isto estaria bem, porque o BMS pode cortar a energia da bateria assim que a primeira célula atingisse 2.5 V. Agora, e quanto à voltagem de carga completa? Com carga completa, nossa bateria de 12s nos daria 43.8 V, calculados como:

Voltagem de carga completa = 12 células em série × 3.65 V por célula LiFePO4 = 43.8 V

Isto está abaixo de nosso HVC. Então parece tudo bem, já que nossa bateria 12s fica entre o LVC e o HVC.

E quanto a uma configuração 11s? Isto significaria que alcançaríamos um LVC um pouco cedo a cerca de 2.64 V por célula, e que deixaríamos alguma carga ainda em nossas células. Se nosso objetivo é o alcance máximo nesta ebike, este seria um problema. Mas se você não tem problema em sacrificar algum alcance para dar às suas células um corte de descarga mais alto (e assim, uma expectativa de vida mais alta) então esta seria uma boa escolha. Com a carga completa, nossa bateria 11s teria 40.15V, o que é bem abaixo de nosso HVC de 45 V. Então parece que a 11s também funcionaria.

Neste caso, há duas respostas possíveis. Uma configuração 11s seria um pouco mais conservadora, enquanto uma configuração 12s poderia assegurar que você utiliza a capacidade completa das células. Você com certeza precisaria de um BMS na configuração 12s para ter certeza de que você não descarrega demais as células, ou utilizar outro método como um alarme de voltagem para alertar quando as células estiverem quase vazias.

Este é o método que você irá utilizar para determinar a voltagem de sua bateria em muitos casos em que um alcance fixo de voltagem seja necessário. No entanto, às vezes a voltagem não é muito importante. Nestes casos, você terá mais liberdade.

Por exemplo, digamos que você está trabalhando com uma serpentina de aquecimento, como um pedaço de fio de nicromo. Talvez queremos fazer um casaco aquecido. Nesta aplicação, você pode fornecer a voltagem que quiser, e ele irá apenas mudar a quantidade de calor gerado pelo fio.

Aqui está um exemplo. Digamos que nosso fio possui resistência de 1 ohm por pé, e o comprimento do fio é de 10 pés, nos dando 10 ohms de resistência. Podemos utilizar a lei do ohm de  $I = V \div R$  (ou corrente igual a voltagem dividida pela resistência) para determinar nosso requerimento de corrente e então nossa potência de aquecimento. Se utilizarmos uma única célula de íon de lítio de 3.7 V, teremos uma absorção elétrica de 0.37 A, dada pela lei de ohm:

$$\text{Corrente} = 3.7 \text{ volts} \div 10\text{ohms} = 0.37 \text{ amps}$$

Em seguida, podemos calcular a potência de aquecimento em watts. A equação para a potência é:

Watts = volts × amps

Neste exemplo, nossa potência de aquecimento é igual a:

$$3.7 \text{ V} \times 0.37 \text{ A} = 1.37 \text{ W}$$

Se você não percebeu, 1.37 watts é bastante baixo. Isto não vai aquecer muito nosso casaco. Se queremos aumentar o poder, podemos simplesmente aumentar a voltagem. Digamos que utilizamos uma bateria de íon de lítio 10s em vez daquela bateria 1s (que era uma célula única). A bateria 10s nos dará um nominal de 37 volts. A lei de ohm nos dá uma corrente de 3.7 A, se calcularmos:

$$37 \text{ volts} \div 10 \text{ ohms} = 3.7 \text{ amps}$$

Nossa nova potência é de cerca de 137 W, calculada assim:

$$37 \text{ volts} \times 3.7 \text{ amps} = 137 \text{ watts}$$

Agora sim, estamos esquentando! Isto é provavelmente mais calor do que queremos em nosso casaco, mas você tem uma ideia.

Então como você pode ver, quando o alcance de voltagem é flexível, sua potência pode mudar simplesmente ao mudar sua voltagem.

Vamos fazer um último exemplo rápido e daí eu prometo que paro de falar de voltagem por enquanto. Quando se trata de motores elétricos, uma maior voltagem significa maior velocidade. Motores DC são geralmente classificados em termos de KV, que é o número de revoluções por minuto (RPM) por volt. Então um motor de 100KV pode rodar até 100RPM a 1 volt ou 2,000 RPM a 20 volts.

O mesmo motor também teria muito mais potência a uma voltagem maior, mas você teria que ter cuidado para não sobrecarregar e destruí-lo, seja ao queimar sua bobinagem ou girando tão rápido que ele autodestrói.

Ok, acho que você entendeu. Chega de voltagem. Vamos seguir para o planejamento da capacidade de sua bateria.

## Capacidade

A capacidade de uma bateria é altamente relacionada à descarga de corrente contínua máxima da bateria. Mas vamos começar com a capacidade, já que é mais simples, e depois falamos sobre corrente.

A capacidade de uma bateria de lítio é mais ou menos como o tamanho de um tanque de gasolina de um carro. Quanto maior o tanque de gasolina de um carro, mais ele irá dirigir. E quanto mais capacidade em sua bateria, por mais tempo ela irá funcionar.

A capacidade de uma bateria de lítio é geralmente medida em ampere-hora (Ah) ou watt-hora (Wh). Ampere-hora é uma medida do número de amperes que a bateria pode fornecer por uma hora. Watt-hora é parecido, mas mede o número de watts que a bateria pode fornecer por uma hora.

Entre os dois, ampere-hora é mais comum na indústria. No entanto, watt-hora dá uma melhor indicação da energia total em uma bateria. Isto se deve porque watt-hora é calculado ao multiplicar a voltagem nominal da bateria pela sua avaliação em Ah. Então uma bateria de 36 V e 10 Ah teria aproximadamente 360 Wh.

Embora a classificação em ampere-hora seja uma medida específica para cada bateria, watt-hora também considera a voltagem da bateria, e também é uma medida da energia total da bateria. Isto faz com que watt-hora seja melhor para comparar diferentes baterias de

diferentes voltagens. Uma bateria de 12 V e 10 Ah e uma bateria de 24 V e 10 Ah possuem a mesma classificação em ampere-hora, mas a bateria de 24 V possui o dobro de watt-hora (240 Wh x 120 wh) porque ela armazena o dobro de energia. Para baterias ou células de baterias da mesma voltagem, Ah é utilizado para comparação de capacidade.

Como aprendemos no Capítulo 6, a capacidade de uma bateria de lítio é aumentada ao adicionar mais células em paralelo (ou utilizando células de maior capacidade). Então se precisássemos de uma bateria de 10 Ah e estivéssemos usando células de 2.5 Ah, poderíamos colocar quatro células em paralelo. Isto nos daria uma capacidade total de 10 Ah por:

$$2.5 \text{ Ah} \times 4 \text{ células} = 10 \text{ Ah}$$

Nós também poderíamos ter utilizado uma única célula de 10 Ah, mas estas células maiores possuem menos opções e estão limitadas a células em formato de bolsa ou prismáticas. Utilizar células menores em paralelo nos dá maiores opções.

A capacidade exata de sua bateria irá, claro, depender de suas aplicações específicas. Se você está construindo um pequeno drone, então você estará bem com uma bateria de 4 Ah. Uma bicicleta elétrica geralmente utiliza uma bateria de cerca de 10 Ah – 20 Ah. Uma bateria de um veículo elétrico geralmente possui mais de 100 Ah e às vezes pode ter muitas centenas de ampere-hora!

Para calcular quanta capacidade sua bateria irá precisar, é útil primeiro pensar em termos de watt-hora. Vamos utilizar um exemplo simples primeiro. Digamos que sua carga seja uma lâmpada que utiliza 12 V. Digamos também que nosso exemplo de lâmpada absorva 1 A continuamente durante o uso. Se sua aplicação requer que sua bateria forneça energia a esta lâmpada por 8 horas, então você pode calcular quanta energia você precisaria.

Primeiro, calcule os watts utilizados pela lâmpada. Lembre-se: watts = volts × amps

Isto significa que os watts utilizados pela lâmpada seriam 12 watts, calculados como:



$$12 \text{ volts} \times 1 \text{ amp} = 12 \text{ watts}$$

Isto nos dá 12 watts de potência contínua sendo utilizados pela lâmpada. Lembre-se, watts são uma unidade de potência, não energia.

Agora precisamos determinar a quantidade de energia utilizada pela lâmpada, que é onde os watt-hora são utilizados. Um watt-hora (Wh) é uma medida de energia, não potência. Para determinar a quantidade de energia que nossa lâmpada utiliza, vamos apenas multiplicar sua potência, em watts, pela quantidade de tempo que ela utiliza esta potência, em horas.

$$\text{Watt-hora consumidos} = \text{potência contínua (em watts)} \times \text{tempo (em horas)}$$

Em nosso caso, queremos que a lâmpada funcione continuamente por 8 horas. Para calcular a energia total necessária por 8 horas, multiplicamos 12 watts por 8 horas. Isto nos dá 96 watt-hora.

Ok, agora estamos chegando em algum lugar. Nossa lâmpada precisa de 96 watt-hora para operar por 8 horas. Se estivermos utilizando uma bateria de 12 V, apenas precisamos encontrar o número certo de ampere-hora que nos dará 96 watt-hora de energia na bateria. O watt-hora de uma bateria é calculado ao multiplicar a voltagem da bateria pelo ampere-hora.

$$\text{Watt-hora de uma bateria} = \text{voltagem} \times \text{ampere-hora}$$

Isto significa que para conseguir o ampere-hora de uma bateria, precisamos pegar os watt-hora de uma bateria e dividir pela voltagem.

$$\text{Ampere-hora de uma bateria} = \text{watt-hora} \div \text{voltagem}$$

Em nosso caso, isto significa que dividimos os watt-hora necessários (96 Wh) pela voltagem de nossa bateria (12 V). Isto nos dá 8 Ah.

$$96 \text{ Wh} \div 12\text{V} = 8 \text{ Ah}$$

Isto significa que para nosso exemplo de uma lâmpada de 12 V que requer 1 A de corrente e opera por 8 horas, precisamos de uma bateria de 12 V e 8 Ah. Isto deve fazer sentido, já que já sabíamos que a lâmpada absorve 1 A, o que significa que ela absorve 1 A por hora, ou 1 Ah. Então para 8 horas de uso, precisaríamos de um total de 8 Ah.

Vamos tentar outro exemplo. Digamos que temos um aquecedor de 100 W que opera a 24 V. E digamos que queremos utilizar este aquecedor por 20 horas. Nós vamos precisar de uma bateria de 24 V que pode fornecer 2,000 watt-hora de energia, calculando desta maneira:

$$100 \text{ W} \times 20 \text{ horas} = 2,000 \text{ watt-hora}$$

Para determinar o Ah da bateria que precisamos, simplesmente dividimos 2,000 Wh por 24 V.

$$2,000 \text{ Wh} \div 24\text{V} = 83.33 \text{ Ah.}$$

Isto significa que precisaríamos de uma bateria de aproximadamente 24V e 83 Ah para fazer o aquecedor de 100 W funcionar por 20 horas.

Agora eu quero que você tente alguns exemplos, só para ter certeza de que você aprendeu o processo. Tente estes três problemas:

- 1) Temos uma carga que requer 36 V e absorve 5.5 A. Precisamos que ela funcione continuamente por 5 horas. Que tamanho de bateria precisamos?
- 2) Temos uma bateria de 48 V e 10 Ah. Se a conectarmos a uma carga que absorve 25 A continuamente, quanto tempo a bateria vai durar?

3) Certo, esta é um pouco mais complicada, mas acho que você consegue. Pegue aquela mesma bateria de 48 V e 10 Ah da questão 2 acima. Vamos primeiro conectá-la a uma carga de 50 W por 2 horas. Então vamos desconectá-la da carga de 50 W e conectá-la à carga de 20 W. Quanto tempo ela irá durar na carga de 20 W até que a bateria esteja descarregada?

Resposta:

1) Esta carga é de  $36 \text{ V} \times 5.5 \text{ A} = 198 \text{ watts}$ .

Em 5 horas, ela utiliza  $198 \text{ W} \times 5 \text{ horas} = 990 \text{ Wh}$ .

$990 \text{ Wh} \div 36\text{V} = 27.5 \text{ Ah}$

Então precisamos de uma bateria de 36V 27.5Ah.

Você também pode ter chegado a esta resposta com um atalho. Apenas multiplique os 5.5 A que ele utiliza por 5 horas, dando um total de 27.5 Ah.

2) Sabemos que nossa carga é maior que nossa capacidade (25 A é maior que a capacidade de 10 Ah) então já sabemos que esta bateria irá durar menos de 1 hora. Dividindo a capacidade de 10 Ah pela carga de 25 A, ela nos dá  $10 \text{ Ah} \div 25 \text{ A} = 0.4 \text{ horas}$ , ou 24 minutos.

3) Primeiro, vamos calcular a energia total da bateria em watt-hora.  $48 \text{ V} \times 10 \text{ Ah} = 480 \text{ Wh}$ . Se conectarmos uma carga de 50 W por 2 horas, temos um total de 100 Wh que vamos tirar da bateria ( $50 \text{ W} \times 2 \text{ horas} = 100 \text{ Wh}$ ). Então após 2 horas de fornecimento de 50 W continuamente, nossa bateria de 48 V cai para 380 Wh ( $480 \text{ Wh} - 100 \text{ Wh} = 380 \text{ Wh}$ ). Agora conectamos uma carga de 20 W. Dividindo os 380 Wh restantes por 20 W, temos 19 horas ( $380 \text{ Wh} \div 20 \text{ W} = 19 \text{ horas}$ ).

Se você acertou todas as questões, ótimo! Se você errou uma ou mais, revise as soluções até entender onde você errou. A matemática não é muito difícil, mas é muito importante ir devagar para ter certeza que você entendeu. Se você fizer um erro ao planejar sua bateria, você pode acabar não tendo capacidade suficiente para atender às suas necessidades, ou capacidade demais. (E isto lhe daria uma bateria que é maior e mais cara do que você precisa!)

Uma última observação: lembre-se que as células geralmente não fornecem sua capacidade completa mesmo quando novas, e que sua capacidade cai à medida em que envelhecem. Se seu projeto requer uma capacidade de 10 Ah e você utiliza células que chegam a exatamente 10 Ah, não me surpreenderia se sua bateria fornecesse apenas 9.7 Ah quando nova, e aproximadamente 9.0 Ah após algumas centenas de ciclos de carga. Então se seu projeto permitir, considere construir uma bateria que possui um pouco mais de capacidade do que você precisa.

## Corrente máxima contínua

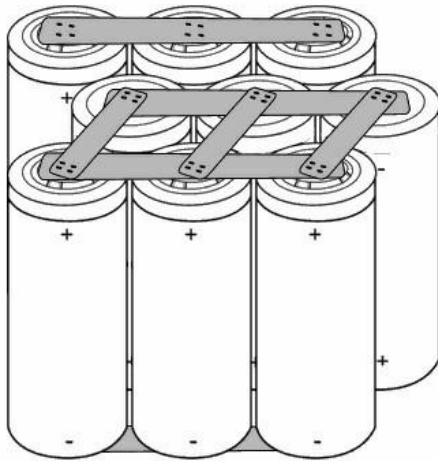
Quando introduzi a capacidade na subseção anterior, eu mencionei que a capacidade é altamente relacionada à corrente máxima contínua de descarga. Isto é porque quanto maior a capacidade da bateria montada, maior a corrente máxima contínua da descarga da bateria será. É por isso que passei muito tempo no Capítulo 5 discutindo como calcular a taxa C (e é por isso que forcei você a fazer um mini teste sobre taxas C também!).

Mesmo se você utilizar exatamente as mesmas células de bateria para construir duas baterias de capacidades Ah diferentes, a bateria de maior capacidade será capaz de uma maior descarga máxima. Uma descarga máxima é a mesma coisa que uma corrente máxima contínua.

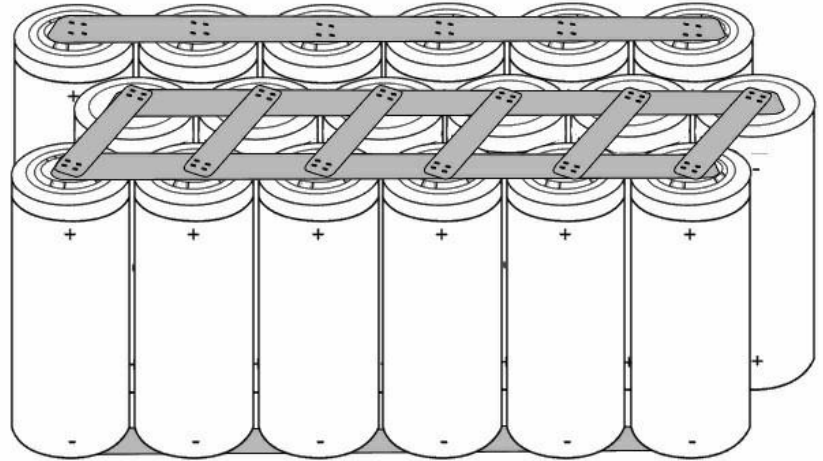
E é aqui que as taxas C entram em jogo. Vamos pegar uma célula 18650 comum, por exemplo: a Panasonic/Sanyo NCR18650GA. Esta célula possui capacidade de 3.5 Ah e está classificada para uma taxa contínua máxima de descarga de 10 A. Para determinar a taxa C para esta célula, dividimos a corrente máxima contínua que ela pode fornecer pela capacidade ampere-hora, o que nos dá:

$$10 \text{ A} \div 3.5 \text{ Ah} = 2.86 \text{ C}$$

Isto significa não só que a célula possui uma descarga máxima contínua de 2.86 C, mas qualquer jogo de bateria construído destas células também terá uma descarga máxima contínua de 2.86 C, não importa quão grande seja o jogo de bateria. No entanto, um jogo de bateria maior pode conseguir fornecer uma corrente maior.



**3s3p**



**3s6p**

Vamos dar uma olhada em dois jogos de bateria em potencial construídos com estas células. Vamos fazer um jogo hipotético 3s3p e outro 3s6p. Agora vamos compará-los. A primeira bateria terá um nominal de 11.1 V (3 células em série × nominal de 3.7 V por célula) e 10.5 Ah (3 células em paralelo × 3.5 Ah por célula). A segunda bateria também terá nominal de 11.1 V, mas terá 21 Ah, ou o dobro da capacidade da primeira bateria. Ambas as baterias serão capazes de uma taxa de descarga de 2.86 C. No entanto, esta taxa de descarga de 2.86 C possui correntes absolutas diferentes para as duas baterias. A primeira bateria pode fornecer 30 A continuamente, enquanto a segunda bateria pode fornecer 60 A continuamente.

Como determinar a corrente máxima contínua de descarga que a bateria pode fornecer? Existem dois métodos. O primeiro método é multiplicar a corrente máxima contínua de descarga das células pelo número de células em paralelo. Para a primeira bateria, isto nos daria:

Descarga máxima contínua de 10 A × 3 células em paralelo = taxa de descarga de 30 A

O Segundo método seria multiplicar a taxa C da bateria (ou das células, já que é a mesma coisa para ambas) pela capacidade da bateria em ampere-hora. Para a primeira bateria, isto nos daria:

$2.86 \text{ C} \times 10.5 \text{ Ah} = \text{taxa de descarga de } 30 \text{ A}$

É importante projetar sua bateria para que ela possa fornecer corrente suficiente para sua aplicação. Idealmente, você quer que ela forneça mais corrente do que sua aplicação requer. Em termos de engenharia, isto é conhecido como fator de segurança.

Fator de segurança = carga máxima permitida ÷ carga real

Se eu estou tentando acender uma lâmpada que absorve 5 A continuamente, a descarga máxima contínua mais baixa que minha bateria pode ter é 5 A. Isto me daria corrente suficiente para alimentar a lâmpada de 5 A. Se minha bateria está classificada para uma descarga máxima contínua de 10 A em vez de 5 A, então eu terei o fator de segurança 2, porque minha bateria pode fornecer o dobro de corrente que a lâmpada requer. Se minha bateria está classificada com uma descarga máxima contínua de 20 A, então eu terei um fator de segurança de 4, porque minha bateria pode fornecer 4 vezes a corrente necessária para a carga.

De forma geral, você quer ter algum nível de fator de segurança. Não precisa ser tão alto quanto 2 ou 4, mas ele com certeza precisa ser maior que 1. Um fator de segurança de 1 significa que sua bateria está trabalhando no limite, fornecendo a quantidade exata de energia para a qual ela foi classificada. Um fator de segurança menor que 1 significa que sua bateria não é forte o suficiente para a carga que ela está alimentando. Isto é obviamente inaceitável.

A razão pela qual o fator de segurança é uma boa ideia é porque a maioria das células de bateria de lítio sofrem uma queda em sua performance à medida em que se aproximam de seus valores máximos. As células 18650GA que utilizamos no exemplo acima estão classificadas como 10 A, mas elas ficam muito quentes em uma descarga constante de 10 A e não irão fornecer seus 3.5 Ah completos neste nível de descarga. Em vez disso, elas dão cerca de 3.2 Ah quando forçadas ao seu máximo. Eu gosto de manter a corrente nas células 18650GA abaixo de 7 A. O fator de segurança para uma célula 10 A operando a apenas 7 A pode ser calculado como:

Fator de segurança = 10 A ÷ 7 A = 1.4

A maioria dos projetos de potência média a baixa podem ser lidados por células LiFePO4 e de íon de lítio. Se seu projeto requer uma corrente de descarga máxima muito alta, você irá

precisar colocar muitas células em paralelo para fornecer corrente suficiente, ou você precisará utilizar células RC lipo. Lembre-se, células RC lipo são as perigosas com as quais você precisa ter extremo cuidado. No entanto, algumas vezes elas são a única opção. Um bom exemplo é quando os maiores níveis de potência são necessários e o peso e espaço são um problema.

Se você possui um projeto que precisa de 100 A e você só tem espaço para algumas células de 3 Ah, você não vai conseguir encontrar uma célula padrão de íon de lítio ou LiFePO4 que funcione. Você vai precisar utilizar células de alta potência RC lipo. No entanto, se você tem as capacidades de espaço e peso, você pode deixar várias células de íon de lítio ou LiFePO4 em paralelo e alcançar a capacidade de descarga de 100 A. Assumindo que estas células foram classificadas para uma descarga máxima contínua de 5 A, você precisaria de 20 células em paralelo. Para células com uma taxa de descarga máxima contínua de 10 A, você só precisaria de 10 células em paralelo.

Como você pode ver, existe uma infinidade de maneiras de projetar jogos de bateria para necessidades diferentes. Voltagem, capacidade e corrente afetam umas às outras tanto quanto as especificações finais de uma bateria. Ao fazer concessões ou mudar o equilíbrio entre estes três parâmetros, várias opções são possíveis.

## Escolhendo as células apropriadas

É quase impossível escolher as células corretas para seu projeto sem saber suas necessidades de voltagem final, capacidade e corrente. Uma vez que você sabe quais são, você pode continuar e encontrar as células corretas para suas necessidades.

## Potência da corrente

O primeiro aspecto para escolher a célula certa para a maioria dos projetos provavelmente será a corrente máxima contínua. Se você possui uma carga de 40 A, então você irá precisar de células suficientes em paralelo para fornecer 40 A. Se você sabe que você só tem espaço (ou

verba) para 4 células em paralelo, então você deve ter certeza de que cada uma destas células pode fornecer pelo menos 10 A continuamente.

Utilizando o mesmo exemplo com uma carga de 40 A, se seus requerimentos de espaço e peso permitirem, você pode utilizar uma bateria 8p em vez de uma bateria 4p. Neste caso, suas células precisariam ser capazes de fornecer ao menos 5 A cada uma.

Agora, e se você precisar de uma carga de 40 A por 30 minutos? É bem simples calcular a capacidade que você precisa. Apenas lembre-se de converter seus minutos em horas, ou você estará calculando o número de amperes por minutos que você vai precisar.

Capacidade necessária =  $40 \text{ A} \times 0.5 \text{ horas} = 20 \text{ Ah}$

Sua bateria deve ter uma capacidade de ao menos 20 Ah para executar esta carga de 40 A por meia hora. Isto significa que não importa quantas células você utilize em paralelo, elas precisam somar 20 Ah.

Digamos que estamos utilizando células de 3.5 Ah que podem fornecer 10 A continuamente. Uma bateria 4p nos dará a taxa de descarga contínua de 40 A que precisamos, mas apenas nos dará 14 Ah de capacidade. Isto não é suficiente para alimentar nossa carga pela meia hora que utilizamos no exemplo anterior. De fato, ela só nos daria aproximadamente 21 minutos de duração.

Duração =  $14 \text{ Ah} \div 40 \text{ A} = 0.35 \text{ horas}$  ou 21 minutos

Já que nossa capacidade não nos dá duração suficiente, precisamos de mais células em paralelo. Uma configuração 6p nos dará 21 Ah se estamos utilizando as mesmas células de 3.5 Ah. Isto está acima de nossa necessidade de 20 Ah, perfeito! Ela também nos dará uma corrente máxima de descarga de 60 A, quando precisamos de pelo menos 40 A de corrente contínua. Isto nos dará um fator de segurança de 1.5 para a absorção máxima de corrente, o que é ótimo!



Agora que resolvemos vários exemplos, eu espero que você veja como a capacidade e absorção máxima de corrente estão totalmente relacionadas quando se trata de construir um jogo de baterias e escolher células. Capacidade e corrente máxima de descarga são dois dos fatores mais importantes, mas há alguns outros fatores que podem ser relevantes para seu projeto. Estes também podem afetar sua escolha de célula.

## **Ciclo de vida**

O ciclo de vida varia de um tipo de célula para outro. Algumas células podem realizar apenas 200 ciclos. Outras podem durar mais de 2,000 ciclos. Dependendo das necessidades de seu projeto, o ciclo de vida pode ser um fator limitante.

Se você precisa do ciclo de vida mais alto para seu projeto, você provavelmente não tem outra escolha a não ser as células LiFePO<sub>4</sub>. Elas são as células mais facilmente disponíveis que podem ter mais de 1,000 ciclos de carga.

Se você pode substituir a bateria sempre que precisar, então o ciclo de vida pode não ser muito importante para você.

## **Peso**

Peso é outro problema. No Capítulo 3 falamos sobre como as células LiFePO<sub>4</sub> são as mais pesadas, e as células de íon de lítio são as mais leves. Mantenha isto em mente se o peso é importante.

## **Tamanho**

Assim como o peso, o tamanho físico pode ser um fator limitante para vários projetos. Para apertar a maior quantidade de energia possível em um espaço menor, a química NCA das células de íon de lítio é o que você precisa. No entanto, lembre-se de que elas possuem uma potência menor, o que é uma troca por sua densidade de energia.

Células LiFePO4 são as maiores que você pode usar. Se você possui espaço limitado, então você provavelmente não irá utilizá-las a não ser que seus benefícios como segurança e ciclo de vida longo sejam importantes para seu projeto.

## Segurança

Falando dos benefícios do LiFePO4, se seu projeto requer o maior nível de segurança, a LiFePO4 é uma ótima opção. Como aprendemos, as LiFePO4 possuem a química mais segura devido à incrivelmente alta temperatura necessária para causar escapes térmicos, assim como sua combustão lenta e difícil.

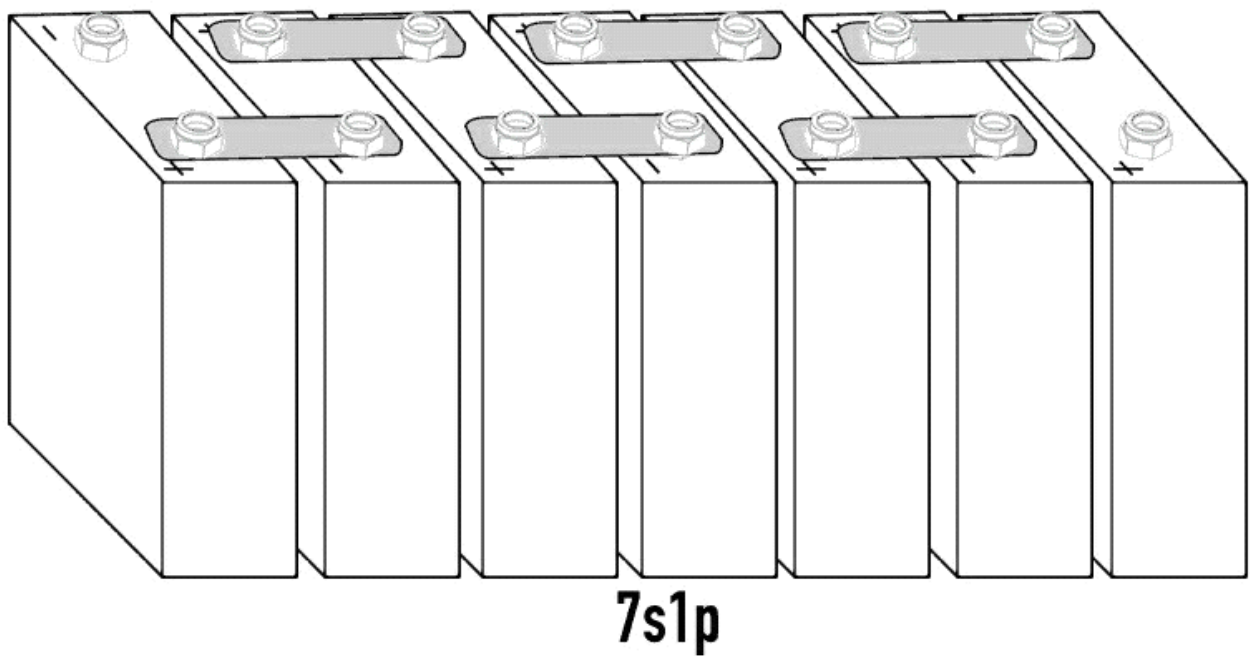
Cobalto de lítio e RC lipo, por outro lado, são as químicas de lítio mais perigosas disponíveis. Se segurança é uma preocupação, estas provavelmente são as células que você não quer utilizar. Se você está preso a elas devido a outras limitações, certifique-se de utilizar um BMS para proteger as células tanto durante o carregamento quanto o descarregamento. Um BMS pode tornar estas células muito mais seguras. Se utilizadas apropriadamente, o cobalto de lítio e RC lipo podem ser bem seguras. Mas em comparação, elas ainda são mais perigosas que outras químicas das baterias de lítio, e acidentes com estas células são geralmente mais catastróficos.

## Agrupando células em uma bateria

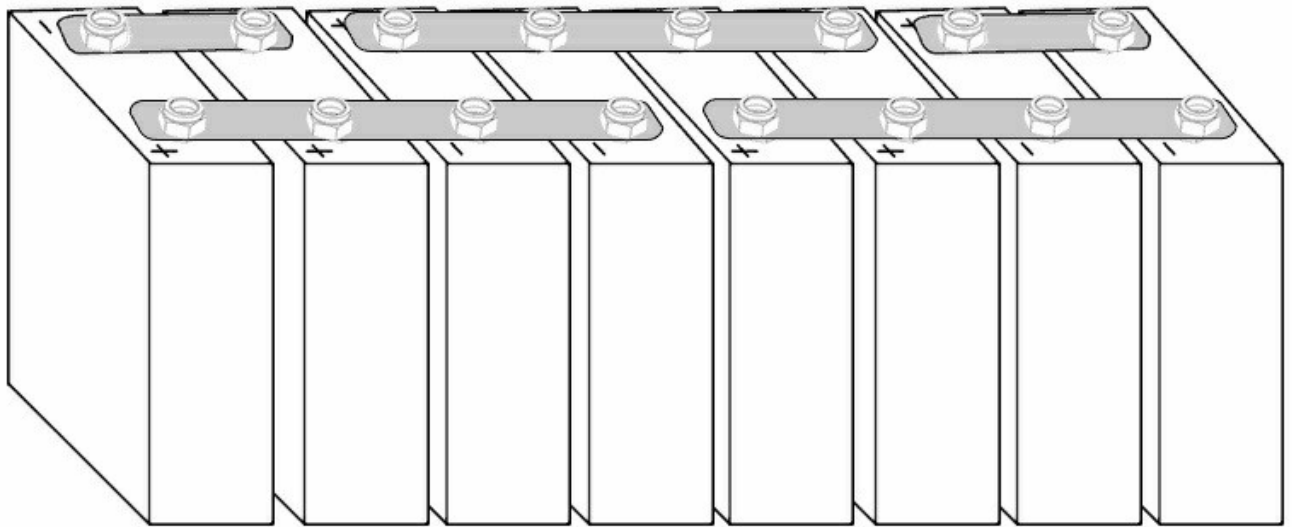
Uma vez que você sabe a voltagem, capacidade e corrente máxima de descarga necessárias para sua bateria, e você escolheu suas células, você pode começar a projetar o layout de sua bateria. O método que você vai utilizar depende bastante do tipo de células que você escolher.

Se você estiver utilizando células prismáticas ou em forma de bolsa, você provavelmente vai precisar de uma montagem em forma de pilhas. Isto significa que você irá colocar as células em filas ou pilhas com direções alternativas para alinhar os terminais positivos de cada grupo com os terminais negativos do próximo grupo.

Se você estiver utilizando grupos paralelos 1p, ou seja, apenas uma célula, isto é muito simples. Apenas empilhe ou alinhe suas células alternando os cátodos e ânodos, e então conecte cada um no próximo em série.



Se você estiver utilizando múltiplas células em paralelo, você deve querer primeiro conectar os grupos paralelos. Após você ter empilhado e conectado os grupos paralelos, você pode empilhar os grupos paralelos combinados e fazer sua conexão em série. A ordem (grupos paralelos primeiros x todas as conexões de uma vez) irá depender bastante do tipo de conexões que você está fazendo e o formato da bateria. Às vezes é mais fácil trabalhar com conexões paralelas primeiro, mas outras vezes não faz diferença. Com barras de suporte em células de bateria lineares, pode ser mais fácil colocar todas as barras de uma vez, assumindo que elas são longas o suficiente para fazer as conexões em paralelo e em série de uma vez.

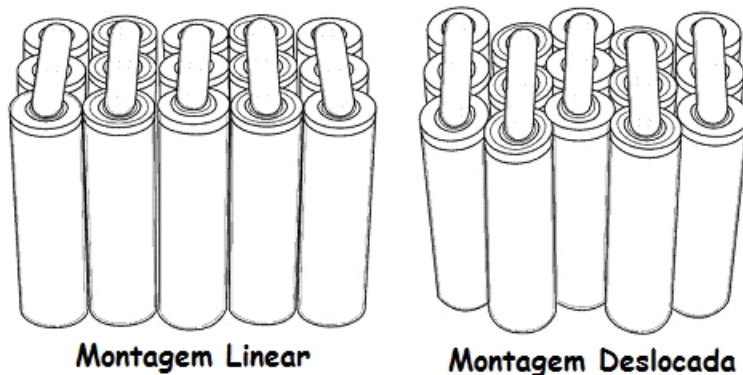


**4s2p**

É difícil ser criativo com células prismáticas ou em formato de bolsa. Seus formatos simplesmente não permitem muitas variações na embalagem. Por isso métodos típicos de pilhas ou fileiras é quase sempre utilizado com estas células.

Células cilíndricas dão muito mais liberdade e criatividade no formato e layout da bateria. Com células cilíndricas, quase não há limites nas formas em que você pode construir uma bateria. Contanto que você possa manter as células juntas utilizando qualquer um dos métodos que discutimos no Capítulo 9, você pode construir uma bateria de qualquer formato.

Com células cilíndricas, há duas orientações principais de empilhamento que podem ser utilizadas, embalagem linear e deslocada. A embalagem linear é menos eficiente porque gera maiores espaços no centro da bateria. A embalagem deslocada é a mais eficiente.



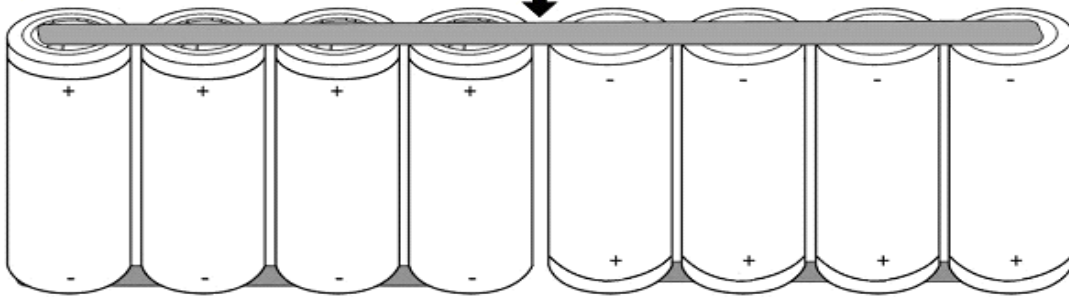
A embalagem linear é comum quando utilizando blocos de suportes de bateria que se encaixam. A maioria destes blocos foi feita para se encaixarem utilizando embalagem linear. Alguns suportes de baterias de plástico foram moldados para embalagem deslocada, mas são geralmente menos modular e vêm em tamanhos pré-estabelecidos. Isto lhe dá menos liberdade que os blocos de encaixe individuais.

A embalagem deslocada é mais comum quando utilizando o método de cola quente para segurar as células. Não só ele se aproveita da economia do espaço da cola quente, ao contrário dos suportes de célula rígidos, como também proporciona dois pontos de contato em todas as células em que a cola pode se fixar.

Não importa o método de alinhamento que você utilize em sua célula de bateria cilíndrica, você vai querer prestar bastante atenção aonde você faz suas conexões em série e paralelas. Lembre-se que no Capítulo 9 discutimos quanta corrente cada tira de níquel pode carregar. Qualquer que seja o condutor que você estiver utilizando para fazer sua conexão em série, se ele não pode carregar toda a corrente que a bateria pode fornecer, então você precisa utilizar várias conexões em série.

Por exemplo, veja este diagrama para juntar dois grupos paralelos 4p que estão conectados em série.

Uma peça única de níquel limita a capacidade de condução de corrente

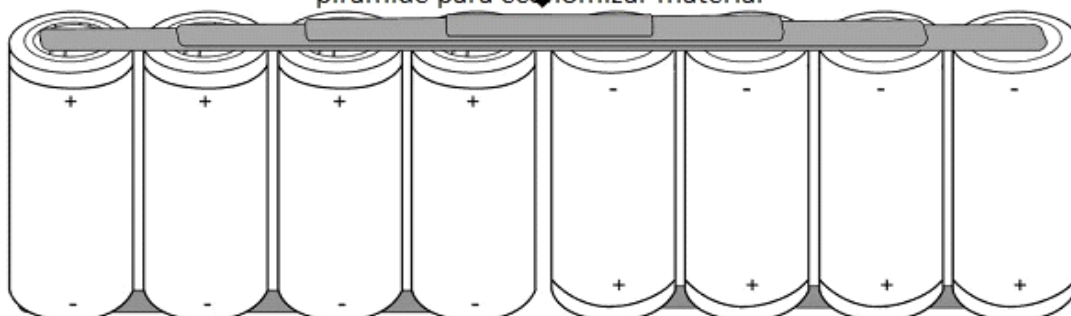


Um único pedaço de níquel na conexão em série limita a habilidade de condução de corrente

Se utilizarmos um único pedaço de tira de níquel com 0.15 de espessura e 8mm de largura para juntá-las em série em um ponto, podemos absorver aproximadamente 5 A desta bateria. No entanto, se utilizarmos quatro tiras de níquel, podemos absorver 20 A da bateria (assumindo que as células foram feitas para 5 A cada).

Se juntarmos todas estas oito células em uma linha reta, precisaríamos empilhar nossas tiras de níquel uma em cima da outra. Podemos utilizar quatro tiras de níquel longas o suficiente para estender todas as oito células, mas isto seria um pouco de desperdício. A corrente fluindo pelo níquel entre a primeira e última célula na linha de oito células não vê tanta corrente quanto o níquel no meio das oito células, que carregam todos os 20 A. Isto significa que você pode economizar no material ao construir uma pirâmide de quatro tiras de níquel, sendo cada uma progressivamente mais curta por uma largura de célula em cada lado.

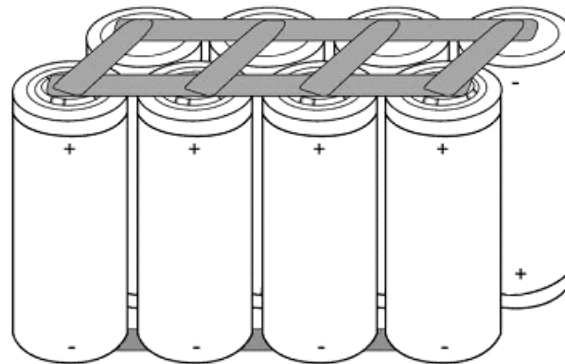
Camadas de níquel em uma conexão em série podem ser empilhadas em uma pirâmide para economizar material



Camadas de níquel em uma conexão em série podem ser empilhadas em uma pirâmide para economizar material

Esta estrutura de pirâmide é a forma apropriada para juntar células em uma série com tiras de níquel quando as células devem estar em uma linha reta. Mas e se as células em série não precisam estar em uma linha reta? Neste caso, podemos ser ainda mais eficientes. Se alinharmos as mesmas células em duas linhas retas paralelas de quatro células cada, podemos utilizar uma única camada de níquel conectada entre cada grupo paralelo de células em grupos 4p.

Layout ideal maximiza conexões de célula a célula



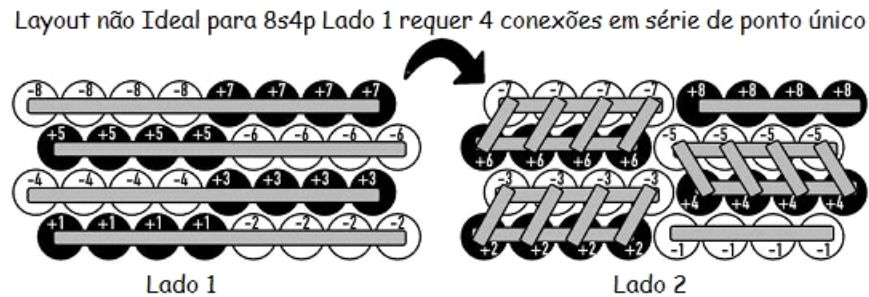
Layout ideal maximiza conexões de célula a célula

Agora, estamos criando quatro conexões em série individuais em vez de quatro conexões em série que estão todas empilhadas uma em cima da outra. Isto ainda nos dá uma capacidade de descarga de 20 A porque a corrente possui quatro pedaços de tira de níquel para fluir, com cada pedaço de níquel capaz de suportar 5 A. Este método utiliza menos níquel e também requer menos soldas a cada locação do que o método de empilhamento de pirâmide.

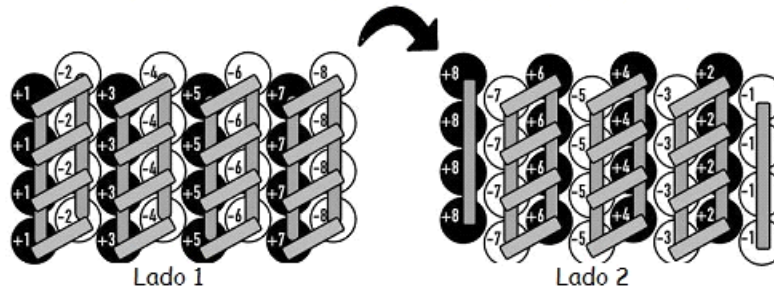
Quando possível, é sempre melhor alinhar conexões em série, para que possa haver o máximo de conexões individuais célula-a-célula possível. Esta forma é melhor que empilhar diversas tiras de níquel uma em cima da outra para reforçar a conexão. Ambos os métodos são válidos e irão produzir o mesmo circuito elétrico equivalente, mas aumentar as conexões célula-a-célula é a melhor forma.

Vejamos um exemplo de uma bateria 8s4p. Poderíamos construir um simples retângulo de células que possui oito células de comprimento e quatro células de largura. Isto nos daria duas opções para projetar nossas conexões. A primeira opção seria com dois grupos paralelos por fileira. A segunda opção seria com um grupo paralelo por coluna. Ambos nos dariam o mesmo circuito, mas a segunda opção nos permitiria fazer mais conexões em série eficientes.

Layout não recomendado para uma bateria 8s4p (lado 1 requer quatro conexões em série de pontos únicos)



Layout Ideal, os dois lados tem boas conexões em série



Layout ideal de uma bateria 8s4p (ambos os lados possuem o máximo de conexões em série célula-a-célula)

Este mesmo conceito também se aplica quando produzindo outras formas geográficas ou abstratas. Você sempre quer maximizar o número de conexões em série célula-a-célula quando possível.

Quanto mais células você possui em sua bateria, mais complicado será para planejar as conexões. Uma das partes mais confusas de planejar as conexões intercelulares quando utilizando células cilíndricas é que as conexões são diferentes em cada lado da bateria. E é



importante que elas sejam diferentes – se você fizer a mesma conexão entre duas células nos dois lados de uma bateria, então você causará um curto circuito entre elas!

Um truque que eu faço é colocar minhas células da bateria em um pedaço fino de papel utilizando um lápis ou marcador. Isto facilita na hora de ver marcas feitas no outro lado do papel, principalmente quando você segura contra a luz. Se eu desenhar os dois lados da minha bateria em lados opostos do papel de forma que eles se alinhem, eu posso virar o papel para frente e para trás como se estivesse virando minha bateria. Então eu posso segurar o papel e “ver” as conexões do outro lado da bateria. Se eu tiver conexões entre as mesmas duas células em dois lados do papel, eu sei que eu fiz besteira. Isto seria um desastroso curto circuito.

Utilizar papel para projetar sua bateria ajuda a evitar estes erros de conexão. Você também pode fazer o layout de sua bateria com um programa de computador. Eu geralmente utilizo uma versão falsificada do Photoshop, mas até mesmo os programas de desenho mais simples podem funcionar. Você pode desenhar apenas um lado de sua bateria e utilizar duas cores diferentes para representar as conexões em lados opostos da bateria. Pode me chamar de antiquado, mas eu ainda prefiro virar meu papel para desenhar em cada lado.

Se você realmente quer utilizar um computador para desenhar seu layout de célula mas ainda gosta da ideia do diagrama no papel (ele realmente ajuda durante a fase de soldagem/conexão!) então você pode sempre desenhar os dois lados no computador, imprimi-los e colá-los. Então, quando você estiver fazendo suas conexões, você pode facilmente virar o papel para o lado oposto e ver a representação de como sua bateria deve ficar. É um pouco mais artístico e artesanal, mas funciona.

## Fazendo baterias de diferentes formatos

Não importa que tipo de célula você estiver usando, o formato mais fácil de bateria para construir é o retângulo. O mais fácil com certeza. Isto não significa que os retângulos são o único formato com o qual você pode trabalhar, mas vamos pelo menos começar por aí.

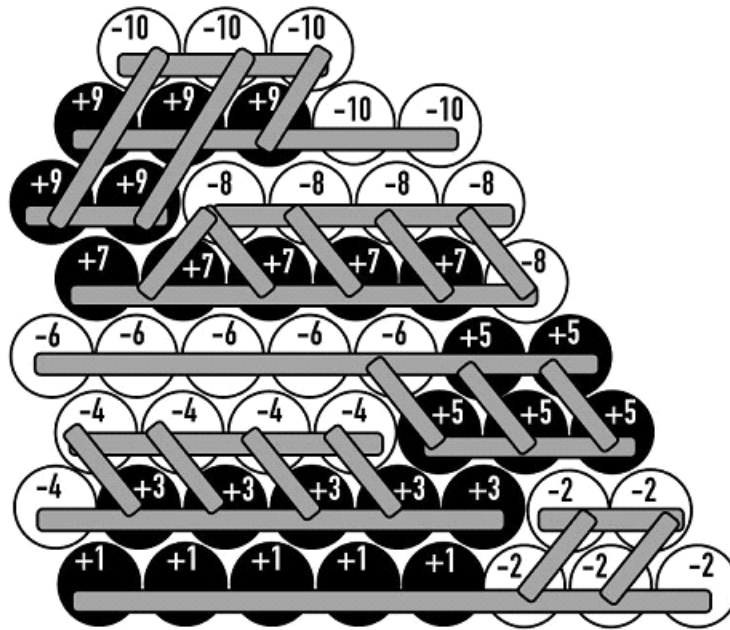
Como eu mencionei anteriormente, células em formato de bolsa e prismáticas são bem difíceis para construir formatos abstratos, mas elas são muito úteis para construir formatos retangulares. E felizmente para nós, formatos retangulares funcionam bem em diversas aplicações. Tudo desde skates elétricos a baterias de energia de casas e baterias de veículos elétricos geralmente vêm em prismas retangulares.

Por quê? Principalmente, porque é fácil. Por que se incomodar em projetar uma bateria para casas sofisticada quando um quadrado cabe facilmente em um guarda-roupa ou parede? Casas são construídas com ângulos de 90 graus, e também são as caixas que vamos utilizar para guardar nossas baterias.

Mesma coisa com carros. As coisas são realmente relativamente planas e angulares na maioria das áreas do porta-malas e chassi. Por quê? Porque é mais barato e mais simples. Curvas chiques pertencem ao exterior, onde pessoas podem ver. Lugares de armazenamento – exatamente os lugares onde você vai colocar suas baterias – são geralmente planos e com cantos. Mesma coisa com skates elétricos. Eles possuem uma prancha plana, então não seria melhor uma bateria plana?

As formas sofisticadas geralmente são úteis quando você está tentando colocar baterias em algum lugar aonde elas não deveriam ir, ou se estiver tentando maximizar o espaço disponível. Ou ambos.

Bicicletas elétricas são um ótimo exemplo. Formas triangulares são geralmente utilizadas em ebikes porque elas cabem na forma triangular da frente de uma moldura padrão de bicicleta. Bicicletas com suspensão possuem molduras ainda mais estranhas, e geralmente requerem baterias de formatos ainda mais estranhos.



10s5p baterias triangulares para e-bikes

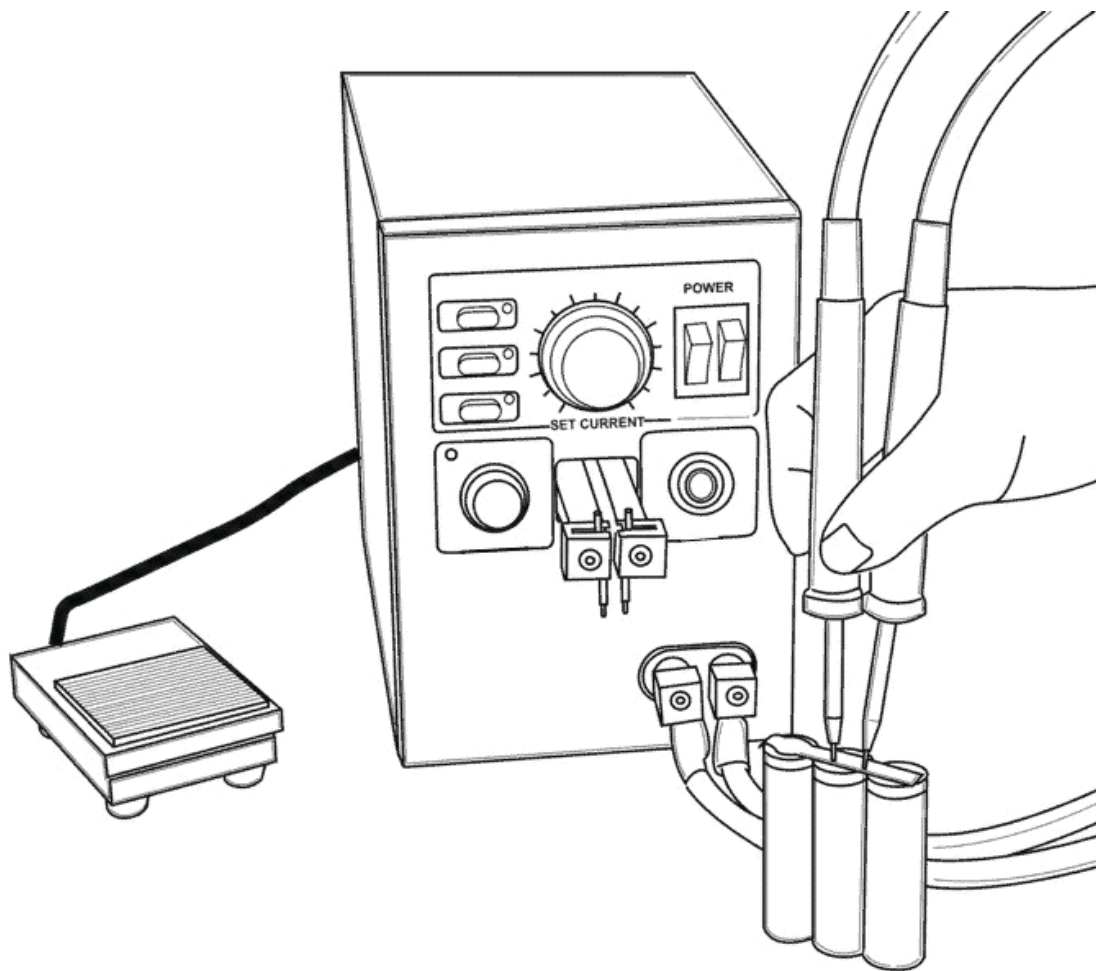
Se você está tentando encobrir as baterias dentro de invólucros com formatos estranhos, então você também vai ver formatos que podem ser um pouco mais difíceis de construir.

Nestes casos, se você já tem a coisa física que irá conter sua bateria (como uma moldura de bicicleta ou um invólucro de eletrônicos), então o melhor plano é fazer um modelo. Meça sua forma e então desenhe em escala em um programa 2D de computador como Paint ou Photoshop. Agora você pode brincar com todos os tipos de formatos de células interessantes. Quando você quer testar seu design, simplesmente imprima seu desenho, corte-o com tesouras e teste se cabe em seu dispositivo.

Uma vez eu construí uma bateria de bicicleta elétrica para uma bicicleta de formato estranho de um cliente utilizando este mesmo método. Do outro lado do mundo, ele me enviou um e-mail com as medidas de sua moldura. Então eu desenhei um modelo para as células e enviei de volta para ele. Ele testou o modelo de papel em sua moldura para se certificar de que caberia. Então eu construí uma bateria que coubesse naquele modelo e enviei por mais de 11 mil quilômetros a ele. E coube na moldura da bicicleta como uma luva.

Uma vez que seu formato estiver planejado, a parte difícil ainda não acabou. Baterias de formatos estranhos podem ser difíceis de conectar, principalmente se existem espaços vazios muito grandes na bateria. Se você estiver utilizando células em forma de bolsa ou prismáticas, você pode utilizar fios flexíveis para atravessar os grandes espaços entre as células. Apenas tenha certeza de que você está utilizando um calibre de fio que suporte a quantidade de corrente que irá fluir pela distância. Se você estiver utilizando células soldadas por pontos, lacunas intervaladas podem ser mais complicadas, mas ainda é possível.

Para formas muito abstratas, um soldador por pontos com sondas de solda portáteis fará a construção da bateria muito mais fácil. Os eletrodos atarracados na maioria das soldas a nível de hobby podem ser muito limitantes. A maioria alcança apenas a profundidade de duas células cilíndricas. Ao torcer os eletrodos de cobre para fora e inclinar a bateria durante a solda, você pode conseguir alcançar uma profundidade de até quatro células. Mas se você utilizar uma solda com sondas portáteis, você pode alcançar qualquer lugar da bateria e não ficar limitado ao alcance dos braços na frente da solda.



Você lembra sobre o que conversamos na última seção sobre ter certeza de que corrente suficiente pode fluir entre células conectadas em série? Em baterias de formas abstratas, você vai precisar ter bastante cuidado para ter certeza de que está utilizando camadas de tiras de níquel suficientes para carregar correntes suficientes entre grupos soldados em série. Isto é mais fácil em baterias retangulares porque conexões em série podem ser feitas entre todas as células de um grupo. Se você só tem espaço suficiente para caber uma única conexão entre duas células em dois grupos paralelos adjacentes, você terá que empilhar níquel suficiente para ter uma corrente de capacidade suficiente para aquela conexão.

# Capítulo 11: Fazendo conexões de baterias

Aqui vamos nós, a hora chegou e estamos prontos para construir uma bateria de verdade! Mas antes de ficarmos animados demais, precisamos preparar algumas coisas. Primeiramente, precisamos assegurar que preparamos um ambiente de trabalho seguro.

## Considerações de segurança

Discutimos a importância da segurança em geral quando trabalhando com baterias de lítio no Capítulo 7, então não vou insistir muito aqui. Mas isto é importante o suficiente para uma rápida revisão. Estas são as principais dicas de segurança para lembrar quando você está pronto para realmente começar a construir uma bateria.

Sempre remova as joias e use luvas. Uma aliança de casamento causa um enorme curto circuito, assim como mãos suadas.

Limpe bem a área de trabalho antes de colocar sua bateria nela. Se possível, coloque alguns pedaços grandes de papel em sua superfície de trabalho. Eles irão cobrir qualquer resíduo de metal que você não viu e facilitar para encontrar novos pedaços perdidos por aí. Evite jornais, já que a impressão preta e branca pode dificultar para ver pequenos objetos. Eu gosto de papel gigante branco. Até mesmo algumas folhas de papel de computador podem funcionar – apenas junte-as com fita adesiva para que você não perca coisas embaixo delas.

Coloque óculos de segurança se você for soldar. Soldadores de aço podem soltar faíscas. Soldar em qualquer coisa elástica, como um fio ou tiras de níquel pode acidentalmente fazer com que solda derretida voe por aí se ela saltar enquanto soldando. Em uma competição entre seus olhos e faíscas ou metal derretido, seus olhos perdem todas as vezes. Você só tem dois. E se você valoriza sua percepção de profundidade, ter dois olhos é importante.

Certifique-se de você não tem nenhum tipo de corrente de ar atingindo sua bateria diretamente. Se você estiver soldando, você provavelmente quer um ventilador para ajudar a retirar a fumaça, mas aponte ele para cima, em cima de onde você estiver trabalhando. A última coisa que você quer é que algo vá para a corrente de ar e bata em algum metal de seus contatos expostos da bateria. Parece exagerado, mas você provavelmente terá uma pilha de fios ou tiras de níquel expostas no grande pedaço de papel que eu pedi para você usar.

Por último, use seu senso comum com tudo que você faz. Cheque duas vezes antes de fazer uma conexão para ter certeza de que é a conexão correta. Não manipule ferramentas de metal em cima de sua bateria exposta. Não deixe sua bateria exposta por aí em uma área de muito tráfego. Neste mesmo tema, se você parar no dia antes de terminar a construir a bateria, cubra-a com uma sacola de plástico ou pedaços de papel para ter certeza de que nada cairá nela e causará um curto circuito. Quando eu preciso deixar uma bateria parcialmente completa desacompanhada, eu coloco uma grande placa de “perigo” nela para ter certeza de que ninguém vai mexer com ela.

Basicamente, use sua cabeça quando tratando de segurança durante suas preparações e você deve ficar bem.

Uma nota sobre segurança especificamente em relação às células cilíndricas – a maioria das células cilíndricas como as 18650 foram construídas com toda a parte inferior e lateral das células conectadas ao terminal negativo da bateria. Os lados do casco até se enrolam no topo, o que significa que os terminais positivos e negativos da célula estão separados por apenas alguns milímetros na parte superior da célula.

As células possuem plástico termo retrátil em seu invólucro exterior para proteger as células de entrarem em curto circuito. Se este plástico termo retrátil for danificado, devido a vibração ou fricção constantes, pode haver um potencial para um curto circuito. Isto é ainda mais plausível na parte superior da célula, onde as conexões entre a célula podem roçar contra o plástico termo retrátil. Isto não é particularmente comum, mas já foram observados casos em que a tira de níquel soldada à parte superior da célula vibrou e conseqüentemente danificou o plástico termo retrátil. Estes casos podem levar a uma falha catastrófica ao causar um curto circuito em uma célula, levando ao escape térmico da bateria inteira.

A maioria dos fabricantes de células de renome incluem um papel isolante ou disco ou anel de plástico embaixo do plástico termo retrátil em cima da célula para adicionar uma camada extra de proteção contra curtos circuitos que possam ocorrer na parte superior da célula. Este é geralmente um círculo branco que pode ser visto na parte de cima da célula, logo embaixo do plástico termo retrátil. No entanto, células baratas geralmente não possuem esta segunda camada de proteção.

Anéis isolantes de papel feitos de papel autocolante estão disponíveis comercialmente e podem resolver este problema. Os anéis de papel podem ser colocados na parte superior de uma célula cilíndrica para fornecer uma camada extra de proteção contra curto circuito e não irá interferir com as conexões. Para células de boa qualidade que já vêm com um anel isolante extra, adicionar este adesivo isolante pode ser uma medida contra curtos circuitos redundante, mas não uma má ideia. Para células sem um anel isolante já incluso pelo fabricante, este adesivo seria uma boa segunda linha de defesa.

Uma última coisa para mencionar. Você provavelmente já fez isto quando checou suas células, mas você quer ter certeza de que todas as células possuem a mesma voltagem antes de começar suas conexões. É mais importante para as células em paralelo, já que no instante em que você faz uma conexão paralela, as células de voltagens diferentes tentarão se equilibrar. Mas se a diferença de voltagem é grande, uma grande quantidade de corrente irá fluir muito rapidamente pelas conexões em paralelo.



Isto também é importante para células conectadas em série, porque qualquer desequilíbrio de voltagem grande terá que ser equilibrado eventualmente por um BMS ou carregador equilibrador. Quanto maior o desequilíbrio de voltagem inicial, mais tempo vai demorar para que suas células se equilibrem durante sua primeira carga.

## Combinando as células

Como mencionei anteriormente, quando você combina suas células em jogos de bateria maiores, você quer ter certeza de que todas as suas células possuem a mesma voltagem e a mesma capacidade. Se você estiver utilizando novas células, isto é fácil ao testar com um voltímetro para assegurar de que todas possuem a mesma voltagem. Se você estiver utilizando células recicladas ou resgatadas, este é um processo muito mais complicado.

Células resgatadas não só estarão em níveis de carga diferentes, mas também terão capacidades diferentes. Só porque duas células possuem 3.5 V não significa que possuem a mesma capacidade. Uma delas pode ser uma célula de 2.5 Ah e a outra, de 3.5 Ah. Ou talvez as duas eram originalmente células de 3.0 Ah, mas uma delas foi utilizada por muito mais ciclos e agora caiu para 2.8 Ah.

Quando você está utilizando células de baterias resgatadas, você quer testar cada célula individualmente para determinar sua capacidade. Existem muitos testadores de células de bateria de lítio por aí. A maioria é para células 18650, mas há alguns testadores que podem ser utilizados na maioria das células de lítio.

Depois de testar cada célula, é útil escrever a capacidade em cada uma com um marcador, para você não as misturar. Você quer ter certeza de agrupar as células de capacidade parecida quando criar grupos paralelos.

Por exemplo, digamos que você está fazendo uma bateria de 7.4 V e 20 Ah. Você pode ter um total de 18 células resgatadas, com oito células que possuem cerca de 2.5 Ah e dez células com cerca de 2 Ah. Neste caso, em vez de colocar uma célula boa em cada grupo paralelo, seria

melhor agrupar as oito células de 2.5 Ah em um grupo, e as dez células de 2 Ah em outro grupo. Desta forma, cada grupo paralelo possui aproximadamente 20 Ah. Apenas lembre-se que seu menor grupo (por número de células) irá determinar quanta corrente você pode absorver da bateria. Se você quer limitar suas células para 2 Ah cada, então você pode absorver um máximo de 16 A desta bateria, porque seu menor grupo paralelo possui apenas 8 células.

Você pode perceber como isto fica complicado à medida em que aumenta o número de baterias. Esta é outra ótima razão pela qual é melhor começar com células novas em vez de utilizar células misteriosas ou resgatadas. Com células novas você nunca terá que jogar este jogo de combinação. Tudo o que você precisa fazer é checar duas vezes que todas as voltagens são iguais para depois começar a construir os grupos com o mesmo número de células em cada um.

## Alinhamento e contenção da célula

Antes de você começar a conectar suas células, você precisa tê-las já alinhadas e contidas em qualquer método que seja melhor para seu projeto. Nós discutimos muitos tipos diferentes de suportes de célula e invólucros no Capítulo 9.

Uma vez que você começa a conectar suas células de bateria, a quantidade de energia potencial cresce rapidamente. A última coisa que você quer fazer é mover grandes grupos de células conectadas sem necessidade. Sempre organize e faça o layout de suas células na orientação correta antes de começar a fazer as conexões elétricas.

Uma vez que você começar suas conexões, você vai querer minimizar a quantidade de movimento da bateria. Isto é tanto para motivos de segurança quanto de qualidade. Quanto mais você move sua bateria, mais chances de acidente você tem. Além do mais, quanto mais rígidas suas conexões são, mais prováveis elas são de fatigar ou afrouxar quando você mover a bateria e estressar estas conexões.

Poucas vezes você não conseguirá estruturar sua bateria completamente antes de iniciar o processo de montagem. Isto é geralmente verdade para baterias muito grandes que primeiro precisam ser construídas em sub módulos e depois módulos que finalmente são combinados em uma grande bateria única. Outras vezes a bateria não terá um invólucro de autocontenção, como baterias de drones que são apenas fechadas em uma camada de plástico termo retrátil após as conexões serem feitas. Nestes casos, você decide o que é melhor para assegurar que sua bateria está sendo manuseada com segurança durante o processo de construção.

## Conexões parafusadas

Conexões parafusadas são geralmente o método mais fácil de juntar suas células, mas você está limitado a células prismáticas ou às células cilíndricas únicas da Headway.

Para conexões parafusadas, você pode utilizar uma variedade de materiais condutivos para ligar os terminais da bateria e fazer suas conexões. As duas opções mais comuns são barras de suporte e fio flexível.

Barras de suporte geralmente são feitas de alumínio ou cobre. Ambos os materiais possuem resistências similares e funcionam bem para conexões elétricas. Cobre é um condutor um pouco melhor, mas também é mais caro e corrói mais facilmente.

É melhor tentar combinar a expansão térmica do material que você está utilizando o máximo possível. À medida em que as conexões esquentam, metais diferentes irão expandir em ritmos diferentes, o que pode afrouxar as conexões após muitos ciclos de aquecimento e resfriamento. Arruelas de pressão, principalmente arruelas de mola, podem ajudar a prevenir este fenômeno de afrouxamento.

Para conexões com fios, você provavelmente acabará encrespando ou soldando um conector de anel na extremidade de seus fios. Você pode simplesmente embrulhar o fio no parafuso ou no eixo rosqueado e fixa-lo entre as arruelas também, mas este método possui algumas desvantagens. Ele provavelmente resultará em apenas uma parte do fio fazendo contato com o terminal da célula e reduzirá a quantidade de corrente que você pode carregar pela conexão. Se sua bateria passar por vibrações ou movimento, este método também pode levar o fio a lentamente se libertar.

Conectores de anéis são a melhor maneira de fixar os fios aos eixos rosqueados ou parafusos. É melhor encrespa-los em vez de soldar, já que a solda pode enfraquecer o fio. Isto é mais importante para baterias que irão passar por movimento ou vibração. Se sua bateria vai ser estacionária, soldar seus conectores é uma boa opção.

Se você está utilizando fios para fazer as conexões entre as células, tenha certeza de que ter um calibre de fio suficientemente grande para carregar a corrente necessária. O calibre de fio apropriado é diferente para cada projeto, e você precisará determinar suas exigências específicas. Materiais de fios diferentes, sejam cobre ou alumínio, são feitos para diferentes níveis de corrente em espessuras diferentes e sob condições atmosféricas diferentes (ex: no vácuo, no ar ambiente ou no ar corrente). Consulte as tabelas apropriadas para seu tipo específico de fio para calcular o tamanho apropriado do fio para seu projeto. Uma tabela útil para ajudar a escolher estes tamanhos pode ser encontrada no link: [http://www.engineeringtoolbox.com/wire-gauges-d\\_419.html](http://www.engineeringtoolbox.com/wire-gauges-d_419.html).

Obviamente, isto também é certo para os fios que irão lidar com a carga e descarga de sua bateria. Qualquer fio que irá carregar a corrente completa de sua bateria deve ter o tamanho apropriado baseado nas condições nas quais será utilizado. Quando em dúvida (e quando sua restrição de orçamento e peso permitirem), utilize um fio de calibre maior. Sua resistência irá cair, e sua eficiência irá aumentar.

Tenha cuidado quando apertar parafusos ou porcas nos terminais de suas células de bateria. Muita força pode facilmente dismantelar as porcas. Veja com o fabricante ou vendedor das células para ver quanto torque pode ser aplicado aos terminais. Se for uma bateria pequena, uma chave de torque pode ser exagero. Se for uma bateria muito maior, uma chave de torque é uma boa ideia para assegurar que você colocou força suficiente nas conexões dos terminais sem aplicar torque demais. Não preciso nem dizer que se a bateria for de veículo, como carro ou aeronave, este passo deve ser crucial. Uma perda de energia por uma conexão frouxa pode ter consequências fatais nestas circunstâncias.

Uma chave de torque é uma ferramenta muito precisa. Se você estiver montando motores de jatos, eu recomendaria utilizar uma chave muito boa. Para apertar conexões no terminal de parafuso de uma bateria uma “especial do eBay” barata, enviada direto da China funciona bem para a maioria dos projetos. Uma chave de torque de \$20 pode evitar que você estrague o terminal de uma célula de bateria de veículo de \$500. Pense nisso.

A vantagem das conexões com fios em vez de barras de suporte ou conexões com soldagem por pontos é que você retém alguma flexibilidade e resistência contra vibração em suas conexões. Se sua bateria terá algum nível de vibração, você deve sempre utilizar um fio entrançado. Quanto mais fios, melhor. Maior contagem de fios leva a fios mais flexíveis que aguentam um maior movimento e vibração sem falhar.

Quando possível, geralmente é útil começar com conexões paralelas antes de realizar conexões em série. Isto ajuda a simplificar o processo de construção da bateria e reduz as chances de erros por falta de atenção que podem levar a grandes consequências. Se possível, evite ir e voltar entre conexões em paralelo e em série. Em vez disso, tente conectar todos os seus grupos paralelos primeiros. Então quando você tiver todos os seus módulos paralelos montados e conectados, você pode seguir para conectar estes grupos em série.

Dependendo do design de sua bateria e o formato de seu invólucro, nem sempre pode ser possível construir todos os grupos paralelos primeiros. “Grupos paralelos primeiro” não é uma regra fixa. É apenas uma sugestão que muitas vezes pode simplificar o processo de construção e ajudar a evitar erros.

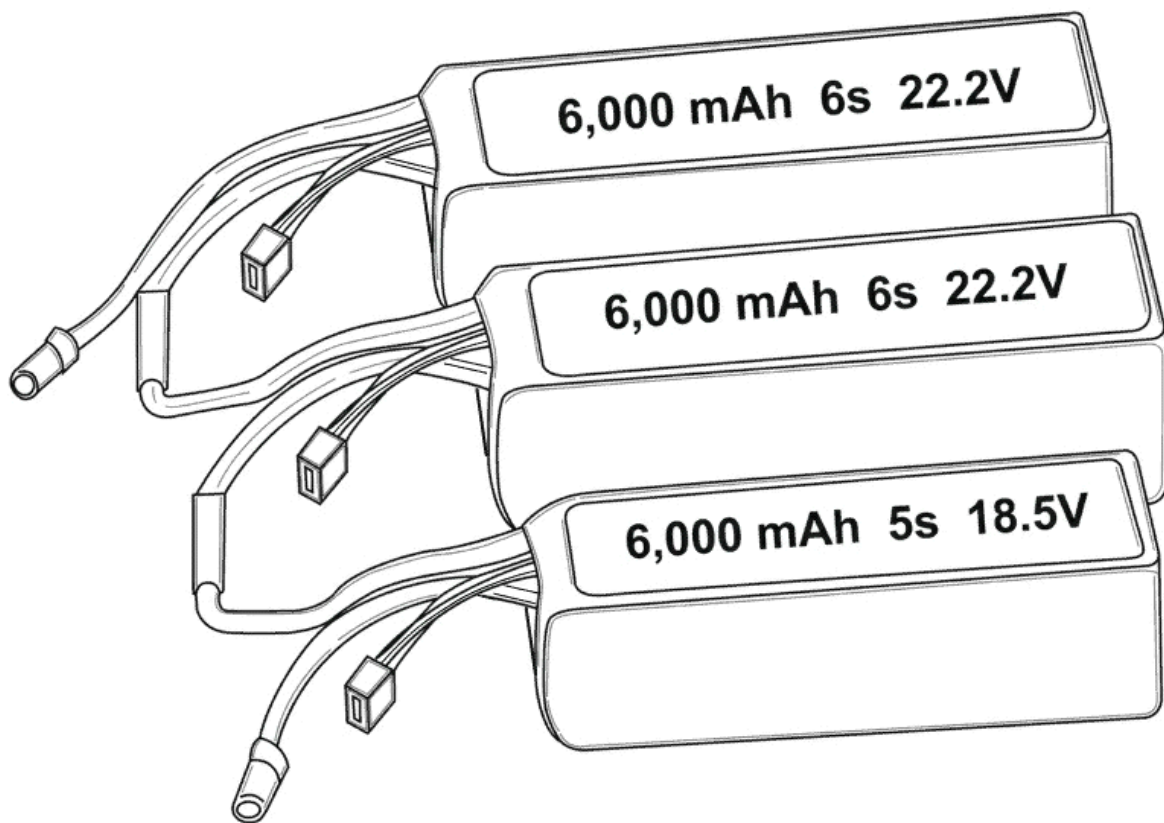
## Conexões com conector de fios

Algumas baterias, principalmente baterias RC lipo, já vêm pré-embaladas com fios de carga/descarga e com os conectores já instalados. Isto faz a construção da bateria muito mais fácil.

Em vez de precisar conectar diretamente as células individuais de cada bateria, você simplesmente precisa utilizar fios e conectores correspondentes para juntar conjuntos individuais. O número de baterias conectadas em série e em paralelo, claro, dependerá das exigências de seu projeto. Baterias RC lipo estão disponíveis em conjuntos de bateria de aproximadamente até 30 V e 8 Ah. Conjuntos de maior voltagem ou capacidade também existem, mas não são tão comuns. Uma marca RC lipo conhecida como Multistar produz conjuntos de baterias de maior capacidade de até 20 Ah.

Para a maioria das baterias pequenas com menos de aproximadamente 8 Ah, você não precisará fazer qualquer conexão paralela. Uma simples cadeia de conexões em série será suficiente para construir uma bateria para seu sistema. Por exemplo, se você precisa de uma bateria de 63 V e 6 Ah, você poderia conectar dois conjuntos RC lipo 6s e um 5s, cada um de 6 Ah, juntos em série. Isto criaria uma única bateria de 6 Ah com 17 células em série para uma voltagem nominal de 62.9 V.

Para criar esta bateria, você precisaria apenas adicionar conexões em fio entre os fios de descarga de cada conjunto. Eles podem tanto ser conectados diretamente uns aos outros, ou você pode fazer uma nova modalidade de fiação para parecer mais limpo.



Lembre-se, claro, que baterias RC lipo devem ser carregadas em equilíbrio pelo menos semi-regularmente se você não estiver incluindo um BMS. Elas também precisam de alarmes de voltagem ou outros dispositivos de medição de voltagem para assegurar que elas não descarreguem abaixo de uma voltagem segura. Se você não precisa das super correntes fornecidas pelas bateria RC lipo, você deve considerar instalar um BMS para aproveitar de sua

proteção de carga e descarga. Os fios de equilíbrio nos conjuntos de RC lipo podem ser conectados diretamente a um BMS, que eu vou descrever no fim deste capítulo.

## Conexões com solda por pontos

Dependendo das suas células, soldagem por pontos pode ser a única opção disponível. Isto inclui muitas células cilíndricas como as 18650. Soldagem por pontos possui muitas vantagens em comparação a outros métodos de conexão, incluindo sua permanência e conexões elétricas robustas. Boas soldagens por pontos nunca afrouxam, ao contrário dos fios e barras de suporte que podem afrouxar com o tempo sob certas circunstâncias.

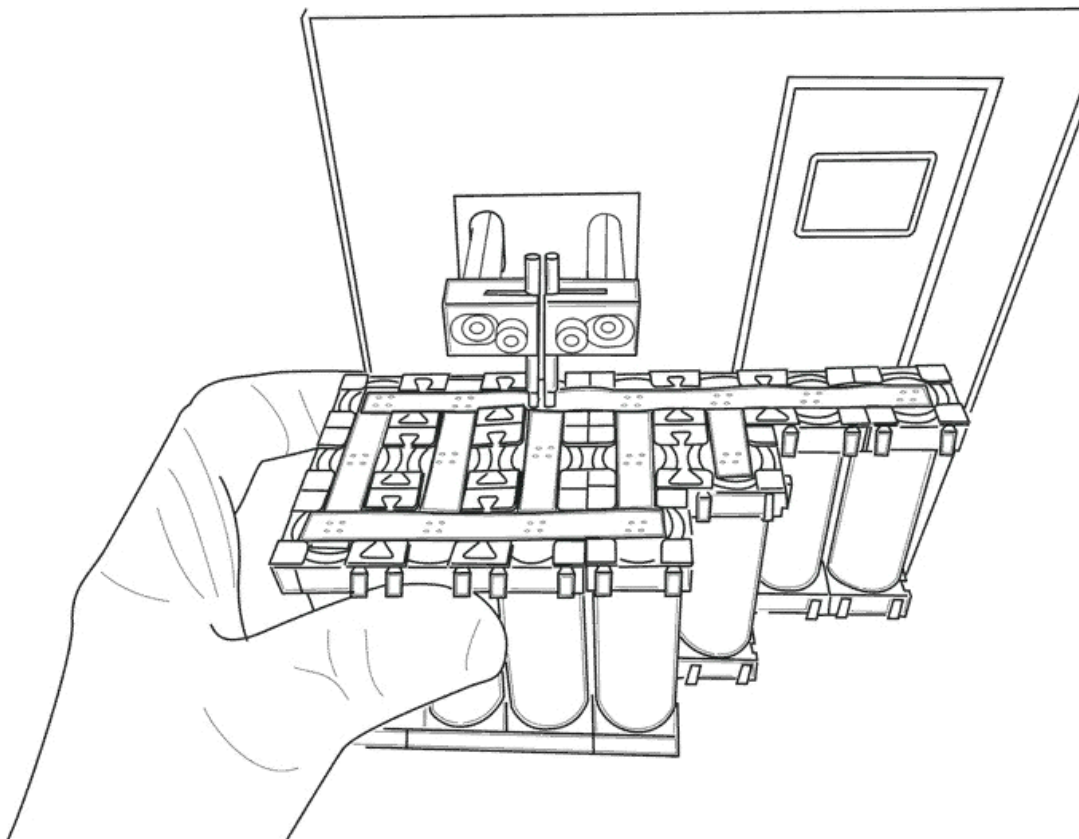
Como discutido anteriormente, existem dois tipos de eletrodos para soldagem por pontos: eletrodos portáteis flexíveis e eletrodos fixos rígidos. O primeiro tipo trará maior liberdade no processo de construção, enquanto o segundo tipo pode gerar soldagens mais uniformes à medida em que eles aplicam a mesma pressão para cada solda. Ambos funcionam bem, e a escolha geralmente será feita de acordo com o tamanho ou formato da bateria que você estiver construindo. Baterias quadradas funcionam bem com braços de eletrodos fixos rígidos, enquanto baterias de outros formatos geralmente requerem eletrodos portáteis flexíveis.

A maior diferença no processo entre utilizar dois tipos de eletrodos de soldagem por pontos é a ordem das operações. Dependendo do formato da bateria, fazer todas as soldas dos grupos paralelos primeiro é às vezes mais difícil ou impossível quando utilizando soldadores por pontos com braços de eletrodos atarracados. Isto se deve porque eles limitam o alcance dos eletrodos e os grupos paralelos podem ser muito espessos para permitir que as conexões em série sejam feitas. Neste caso, a bateria pode ser construída de fileira em fileira, fazendo ambas as conexões em série e paralelas juntas. Isto é completamente aceitável, mas deve ser tomado mais cuidado para não se confundir e fazer uma conexão errada.

Outra grande vantagem das sondas de soldagem portáteis é que elas permitem que você não só cole ou arrume sua bateria completamente antes de começar a soldar, mas também permitem que você a deixe em sua superfície de trabalho. O braço atarracado do eletrólito do soldador requer que você levante sua bateria em direção ao soldador, e então levante os braços ao levantar toda a bateria para levar o soldador. Os braços possuem um botão que atira pulsos de corrente quando os braços são levantados à altura correta.

Se você está construindo uma bateria pequena, você até consegue levantá-la o tempo todo. Quando você está trabalhando com centenas de células em uma única bateria, pode se tornar pesado. A um certo ponto, você acaba manipulando a bateria que é maior e mais pesada que o próprio soldador, o que pode ser quase cômico se não fosse tão cansativo e frustrante.

Em alguns soldadores mais baratos, pode ser útil adicionar algo pesado em cima do soldador. A tensão das molas dos braços é geralmente ajustável, mas pode às vezes ser próxima ao peso do soldador em si. Isto significa que todo um soldador pode levantar quando você utiliza a bateria para levantar os braços do soldador. Alguns quilos a maior em cima do soldados ajudam a estabilizá-lo.



A maioria dos soldadores com braços atarracados de eletrodos podem funcionar tanto com um pedal ou ao levantar o braço do eletrodo. Pessoalmente, eu prefiro levantar os braços do eletrodo. Eu já estou levantando a bateria para os braços para começo de conversa, então eu gosto de utilizar o mesmo movimento para controlar o timing dos pulsos de soldagem. Utilizar os braços para interagir com os pulsos de soldagem também assegura uma pressão igual a cada solda. Outras pessoas preferem utilizar o pedal para ativar os pulsos. É mais uma questão de conforto, e você deveria experimentar as duas opções para ver qual é melhor para você.



Para sondas de solda portáteis, o pedal é geralmente a única opção, apesar de que algumas sondas venham com um botão nelas mesmas. O botão geralmente é mais conveniente. Não somos macacos, você não tem as mesmas habilidades motoras com os pés que tem com as mãos.

Se você possui muitas células que estão sendo soldadas em grupos paralelos em linhas retas, algo que segure a célula pode ser útil, principalmente se você não estiver utilizando os suportes de plástico das células. Esta é uma ótima maneira de segurar suas células enquanto solda grupos paralelos, e então você pode utilizar cola quente para juntar os grupos paralelos para soldá-los em série.

Um suporte para a célula geralmente possui uma série de cortes meio cilíndricos e um espaço para colocar uma tira de níquel em cima das células. A minha veio com ímãs que ajudam a manter as células no lugar certo enquanto as soldo. Eles estão disponíveis online em sites como eBay e AliExpress, e muitos soldadores vêm com acessórios, incluindo um suporte.

Se você não consegue encontrar um suporte, você sempre pode fazer um para você mesmo com um pouco de ingenuidade. Faça alguns furos de tamanho apropriado em um pedaço de madeira ou bloco de plástico, e então corte-o pela metade. Você pode até furar e rebaixar alguns ímãs de neodímio para um suporte mais eficaz.

Quando estiver soldando por pontos células de lítio, existe um número ideal de soldas. Muito pouco irá levar a uma maior resistência, enquanto muitos podem introduzir calor desnecessário às células. Para células cilíndricas como as 18650, eu geralmente utilizo 6 a 8 pontos de solda, o que são 3 a 4 soldas quando utilizando duas sondas de solda lado a lado. Este é um número aceitável de soldas.

Alguns dispositivos como computadores e outros eletrônicos geralmente irão precisar de apenas um conjunto de soldas em suas baterias. No entanto, estes dispositivos geralmente utilizam muito pouca energia. Se seu dispositivo foi feito para pouca energia, como menos de 1 A por célula, então uma única solda pode ser suficiente. Para dispositivos que precisam de mais energia, uma ou duas soldas adicionais podem dar a você duas ou três vezes mais capacidade de corrente. Isto é importante para dispositivos de alta potência.

Quando você faz diversas soldas em uma única célula, é melhor esperar alguns segundos para a célula descansar entre cada solda. Uma única solda cria muito pouco calor na célula. Você pode geralmente tocar no ponto imediatamente após a solda, e ele estará um pouco quente. Se você fizer três ou quatro soldas em poucos segundos, você notará que o ponto fica muito mais quente. Isto é por causa do calor que se acumula mais rápido do que consegue se dissipar no ar.

Quando possível, espere pelo menos alguns segundos antes de repetir a solda na mesma célula. Isto pode ser tão fácil quando seguir para a próxima célula da fila antes de voltar, e dando a qualquer célula alguns segundos para se recuperar. Desta forma, cada célula obtém apenas uma solda por vez e esfriam mais rapidamente enquanto você segue para a próxima célula da fila.

Nós discutimos a importância de projetar o layout de sua tira de níquel para que haja capacidade de carregamento de corrente suficiente em cada conexão em série. É aqui que a teoria vai para a realidade. Idealmente, você terá múltiplas conexões entre cada célula. Se não, e você precisar recorrer ao método de empilhamento em pirâmide, certifique-se de que você está fazendo estas pilhas uma de cada vez.

Comece com o pedaço mais longo, que irá formar a base da pirâmide. Faça todas as soldas naquele pedaço da base, e então adicione o próximo pedaço mais curto. Solde este pedaço completamente e continue adicionando progressivamente pedaços mais curtos desta forma até ter completado sua pirâmide de soldagem.

Uma última dica rápida para soldagem por pontos em tiras de níquel. Você já sabe que deve estar usando luvas. Considere com bastante cuidado o tipo de luvas que você utiliza. Luvas de fábrica como luvas de mecânicos podem capturar o lado afiado de um pedaço de níquel, principalmente quando o níquel é cortado com tesouras que podem enrolar a ponta um pouco. Quando você colocar um pedaço de níquel em sua bateria, pode ser fácil que a ponta prenda em sua luva e que você acidentalmente arraste ele em sua bateria. Esta é uma ótima forma para criar um curto circuito. Eu prefiro utilizar luvas de látex ou nitrila quando trabalho na bateria. Elas são menos propensas a grudar no níquel e me proporcionam melhor destreza. No entanto, elas podem fazer suas mãos suarem, então considerem todas as opções.

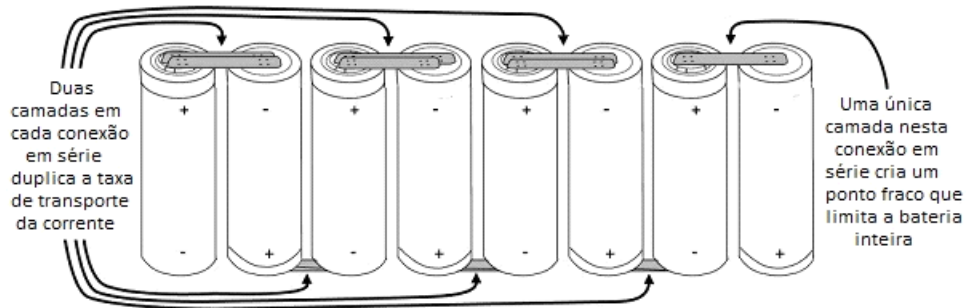
## Conexões em série x paralelas

Ambas as conexões em série e paralelas são importantes, mas elas não necessariamente precisam ser tratadas da mesma forma. Na verdade, elas não precisam do mesmo estilo de conexão.

Conexões em série são onde a corrente flui, então elas são de certa forma “mais importantes” que conexões paralelas. Ambos os tipos de conexão são importantes, mas conexões em série devem ser feitas para carregar uma maior quantidade de corrente do que a bateria verá. Toda conexão em série deve ser tão forte quanto (ou mais forte, de preferência) do que o requerimento mínimo para carregar a corrente que a bateria irá fornecer. Assim como o elo mais fraco de uma cadeia determina a força desta cadeia, a conexão em série com menor capacidade de transporte de corrente decide quanta corrente pode fluir pela bateria sem superaquecer.

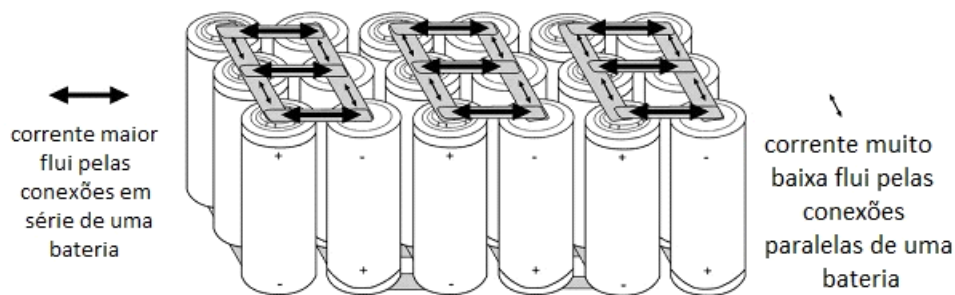
Em circuitos, a lei da corrente de Kirchhoff afirma que a corrente em cada ponto de um ciclo elétrico é igual. Isto significa que a corrente em toda conexão em série é igual. Se uma conexão em série é mais estreita, mais fraca, ou utiliza menos material condutivo, ela terá uma maior resistência que o resto das conexões. Este é o momento em que ela irá aquecer primeiro na bateria e começar a limitar seu potencial.

Por exemplo, imagine uma bateria 8s1p (como mostra o diagrama) feita de células cilíndricas, que poderiam ser oito células conectadas em série. Se cada solda por ponto foi feita com duas camadas de níquel com 8mm de largura e 0.15mm de espessura, a conexão em série suportaria cerca de 10 A de corrente contínua. Mas e se uma conexão utilizasse apenas uma única camada de níquel, enquanto todas as outras utilizassem duas camadas? Aquela conexão em série poderia suportar apenas cerca de 5 A de corrente. Se uma carga de 10 A estivesse conectada à bateria, todas as conexões em série teriam a mesma corrente de 10 A, mas aquela única camada de conexão esquentaria rapidamente devido à sua maior resistência.



Este foi um exemplo um pouco extremo, em que uma conexão em série possui metade da força das outras. Contudo que todas as suas conexões em série sejam fortes o suficiente, não importa se uma possui uma resistência ou pouco maior que as outras. Mas se todas elas possuem quatro camadas de níquel, exceto uma única conexão que você esqueceu, e deu apenas uma camada de níquel, seria melhor que sua bateria tivesse sido construída com uma camada de níquel em todas as conexões.

Por outro lado, as conexões paralelas verão uma conexão muito menor. Provavelmente uma corrente centenas de vezes menor. Por quê? Porque toda a corrente está fluindo “corrente abaixo”, por assim dizer, pelas conexões em série. A única forma que elas irão fluir “com a corrente”, o que seria entre as células individuais em um mesmo grupo paralelo, será se uma célula se tornar um pouco desequilibrada.

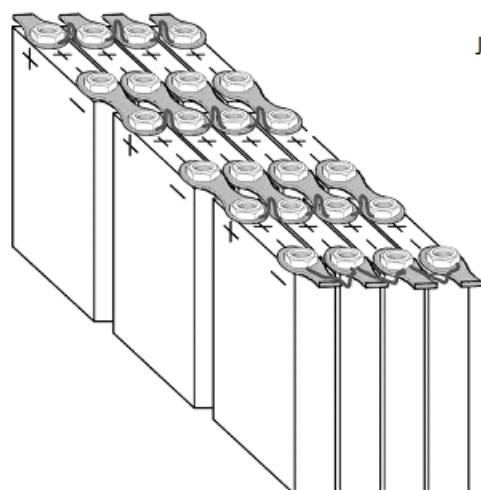


Durante o descarregamento, as células em um grupo paralelo estarão trabalhando mais ou menos com a mesma intensidade. Ou seja, elas estarão fornecendo a mesma corrente. Mas pequenas diferenças em suas resistências internas podem significar que uma célula fornece um pouco mais de corrente que outras. Durante a descarga, uma pequena quantidade de corrente irá automaticamente fluir das células mais fortes para as mais fracas dentro de um único grupo paralelo. Isto acontece na ordem de miliamperes.

Pense nisto como três homens muito fortes e um homem de força média, todos carregando um refrigerador. Todos eles estarão segurando sua ponta, mas os homens fortes podem precisar levantar só mais um pouco no lado do homem mais fraco para ajudá-lo a levantar a mesma quantidade.

Então, porque existe uma quantidade muito pequena de corrente fluindo pelas conexões paralelas (ex: entre as células em um grupo paralelo), conexões paralelas podem ter conexões de transporte de corrente muito baixas. Células cilíndricas são geralmente soldadas por pontos com a mesma tira de níquel em paralelo às que estão em série. No entanto, um único pequeno pedaço de níquel seria mais que suficiente para as conexões em paralelo, levando em conta que as células no grupo paralelo estão conectadas uma a uma em série com as células do próximo grupo paralelo. Toda a corrente pesada passaria pela conexão em série forte, e um pequeno fio soldado à tira de níquel seria o suficiente para criar grupos paralelos que podem equilibrar uns aos outros.

Existem duas razões principais pelas quais células cilíndricas são soldadas em grupos paralelos com o mesmo níquel pesado que foi utilizado nas conexões em série. Quando os grupos paralelos são criados pela primeira vez, fortes conexões com soldas ajudam a manter as células juntas. Segundo, estocar e trocar materiais de conexão diferentes adiciona maior complexidade à operação de construção da bateria. A diferença de custo geralmente é irrelevante para baterias pequenas, o que significa que é mais fácil utilizar o mesmo material para todas as conexões.



Jogo de bateria 3s4p  
construído com  
células prismáticas.  
Conexões em série  
feitas utilizando  
barras de suporte  
pesadas. Conexões  
paralelas feitas  
utilizando pequenos  
fios.

Quando você está trabalhando com células maiores, e principalmente células que possuem maior espaço entre si, a economia pode começar a fazer sentido. Para baterias com muitas centenas de quilowatt-hora feitas utilizando células prismáticas para veículos elétricos, conexões paralelas menores podem economizar muita fiação resistente. Você pode utilizar um fio de grande calibre para fazer conexões em série fortes, e economizar aquele fio de menor calibre para conexões paralelas.

Para fazer a mesma coisa com células cilíndricas soldadas por pontos, você vai querer soldar as conexões em série primeiro, e então voltar e ou soldar por pontos ou soldar nas conexões menores utilizando uma tira de níquel fina ou um fio. Lembre-se de checar que todas as suas células possuem voltagens iguais antes de conectá-las em paralelo, mas você deve estar checando isto de todas as maneiras, não importa a ordem das conexões.

## Conectando o BMS

A maioria das baterias de lítio utilizam algum tipo de Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS) para proteger a bateria durante a descarga, e para equilibrar as células durante o carregamento. Se você não está utilizando um BMS, você vai precisar de um carregador equilibrador, do qual vamos falar com mais detalhes no Capítulo 13.

Existem milhares de designs por aí para unidades BMS comercialmente disponíveis. Muitas delas são bastante únicas, o que dificulta na hora de escrever um guia absoluto para a conexão correta de todos os BMS que existem. No entanto, a maioria dos BMSs são parecidos e seguem a mesma estrutura geral de fiação, então estas instruções devem guiá-lo bem para a maioria dos BMSs. Se por alguma razão você encontrar um BMS que possui marcações estranhas ou que não combinem com o que você aprendeu aqui, apenas contate o vendedor ou fabricante. Os BMSs geralmente vêm com diagramas de fiação exatamente por este motivo.

Seu BMS terá alguns fios mais grossos (ou almofadas para você soldar nos fios). Estes são os fios de descarga e carga. Eles são mais grossos porque são os fios que carregam uma maior corrente de descarga, e a corrente de carga, um pouco menor, mas ainda assim não é insignificante. Seu BMS também terá uma variedade de fios finos. Estes são fios de equilíbrio. Eu gosto de começar ao conectar a carga principal e os fios de descarga.

## Conectando os fios de carga e descarga

A maioria das unidades BMS geralmente possuem fios B-, P- e C- (ou almofadas para soldar estes fios). Geralmente, haverá um fio B+ também, mas este é mais raro. Eu digo “geralmente”, porque novamente, todo BMS pode ser diferente, e os padrões geralmente não são respeitados na indústria do BMS. É importante checar duas vezes o diagrama de fiação para seu BMS específico para confirmar que tudo neste capítulo se aplica ao seu BMS.

O fio B- é geralmente para o terminal negativo de toda a bateria. Também há o terminal negativo de seu primeiro grupo de células paralelas. O fio B- deve ser conectado diretamente ao terminal negativo daquele primeiro grupo de células. É importante conectar o fio B- de forma que todas as células no primeiro grupo paralelo possam fornecer corrente da mesma forma. Conectar apenas uma extremidade do grupo paralelo forçaria as conexões paralelas que estiverem mais perto do fio a carregar mais corrente. É melhor conectar o fio a todas as células, se possível.

Isto pode ser feito ao soldá-lo entre a tira de níquel de cada célula ou baterias soldadas por pontos, ou conectá-lo a cada terminal em conexões por parafuso em baterias com células

prismáticas. A única exceção para isto seria se a taxa de descarga da bateria fosse baixa o suficiente para que as conexões paralelas possam carregar corrente o suficiente. Geralmente, no entanto, esta seria uma bateria de muito baixa potência, mas vida longa.

O fio P- é geralmente o fio da descarga negativa para a bateria. Isto significa que ele será conectado a qualquer dispositivo que a bateria esteja alimentando, como suas luzes, controle de velocidade do motor, conversor de voltagem, etc. Este fio não é conectado às suas células da bateria. Ele vai direto do BMS ao terminal negativo de qualquer dispositivo que você esteja alimentando.

O fio de descarga negativa no BMS é quase sempre marcado por um P-. No entanto, eu já vi fios de descarga negativa no BMS marcados como PD- em algumas unidades BMS. No entanto, isto é muito raro. A maioria das unidades BMS está marcada com um P-.

O fio C- é geralmente o fio de carga negativa. Ele não será conectado à sua bateria, mas em vez disso, irá direto de seu BMS para o lado negativo da saída de seu carregador. Nas poucas unidades BMS que eu vi com um fio PD- para a descarga negativa, o fio de carga positiva foi marcado como P-. Eu sei que isto é confuso, já que o P- é geralmente o fio de descarga negativa. O que eu posso dizer? Vá reclamar com os designers chineses e diga para eles seguirem as convenções padrão.

Se o BMS possui um fio B+, ele geralmente é o fio de descarga positiva. Ele seria conectado diretamente ao terminal positivo principal de toda a bateria, que seria o terminal positivo de seu último grupo paralelo em série. Se sua bateria é 13s, este seria seu 13º grupo paralelo.

Quando eu conecto fios às almofadas do BMS ou aumento os fios já existentes ao soldá-los em fios maiores, eu sempre gosto de colocar conectores nas extremidades destes fios primeiro. Isto serve para que não haja extremidades expostas de fios sambando por aí enquanto estou trabalhando em minha bateria. Isto se aplicaria aos seus fios P- e C-. Seu fio B- (e B+ se seu BMS tem um) será conectado diretamente à bateria e não precisará de um conector. Claro que você pode adicionar um conector se você quer poder desconectar o BMS de sua bateria, mas isto é opcional.



Um caso em que você pode querer que seu BMS seja desconectado seria se você quer utilizar a bateria a uma taxa de descarga mais alta do que o BMS pode lidar. Removê-lo permitiria que você descarregasse diretamente por meio dos terminais positivos e negativos principais da bateria. No entanto, existem duas coisas para se ter cuidado nesta situação. Primeiro, certifique-se de que suas células de bateria podem lidar com qualquer corrente alta que você está tentando absorver delas. E segundo, certifique-se de que você utilizou algum tipo de medidor ou alarme para assegurar que você não irá descarregar demais as células, já que o BMS não poderá interromper a descarga quando as células estiverem vazias.

Após seus fios principais de carga e descarga do BMS serem conectados, você ainda precisa conectar fios de carga e descarga positivas adicionais diretamente à sua bateria, assim como conectar os fios de equilíbrio. Vamos começar com os fios de carga e descarga positivas.

O BMS geralmente apenas conecta à bateria utilizando fios de maior calibre no terminal negativo. O fio de descarga negativo principal de sua bateria virá de seu BMS, mas você ainda precisa adicionar o fio positivo de descarga principal da bateria. Certifique-se de adicionar um conector à extremidade deste fio também, antes de conectá-lo à sua bateria. Seria uma pena criar um curto circuito quando você estiver tão perto de terminar de construir sua bateria.

O fio de descarga positiva principal deve se conectar a cada célula com uma capacidade de transporte de corrente suficiente, assim como o fio B-. Novamente, em uma bateria soldada por pontos isto pode ser feito ao soldar o fio de descarga positiva principal à tira de níquel entre cada célula do último grupo paralelo. Em uma bateria conectada por parafusos, o fio pode ser conectado a cada terminal parafusado do último grupo paralelo.

A única vez em que seria aceitável conectar o fio de descarga positiva principal para apenas uma célula em um grupo paralelo seria se a corrente de descarga fosse baixa o suficiente para as conexões paralelas lidarem com ela. No caso de uma conexão paralela feita com um único pedaço de tira de níquel de 5 A, você poderia conectar os fios de descarga positivos e negativos em apenas um lugar no primeiro e último grupo paralelo, contanto que você não absorva mais que 5 A da bateria.

O fio de carga positiva principal irá ser conectado ao mesmo lugar na bateria do que o fio de descarga positiva principal. A bateria é carregada e descarregada por meio do terminal positivo do último grupo paralelo. Os fios de carga e descarga positivos teoricamente poderiam estar em um único fio compartilhado. Mas para propósitos práticos, um segundo fio é geralmente

utilizado para evitar desconectar o fio de descarga positiva do dispositivo que ele alimenta. Com fios separados, você pode carregar a bateria enquanto ela ainda estiver conectada a outro dispositivo. Isto seria obviamente útil para baterias grandes, como aquelas de carros ou de um sistema de energia elétrica para casas. Seria bastante irritante desconectar estas baterias todas as vezes que precisasse carregá-las.

O fio de carga positiva pode também ser dividido entre o fio principal de descarga positiva para evitar a conexão direta às células, se é o que você quer. Se você está soldando seus fios em uma tira de níquel, este método pode ajudar a evitar a adição de calor desnecessário às células. Você deve, claro, tentar soldar o níquel entre as células e não diretamente em cima delas para manter o ponto de calor ainda mais longe das células. Ainda assim, reduzir o número de fios soldados ao níquel perto dos terminais da bateria é preferível.

Porque a corrente de carga é geralmente muito mais baixa que a corrente de descarga, às vezes pode ser aceitável conectar o fio de carga positiva a apenas uma célula no último grupo paralelo. Por exemplo, baterias de bicicletas elétricas geralmente carregam a níveis cerca de 2-4 A, mas a tira de níquel juntando os grupos paralelos foi feita apenas para 5 A. Neste caso, não haveria problema ao conectar o fio de carga positiva em apenas um lugar do grupo paralelo. No entanto, se estivéssemos carregando a mesma bateria a 10 A, o fio de carga deveria ser conectado em ao menos dois lugares para evitar a necessidade de qualquer segmento de níquel carregar mais que 5 A.

## Conectando os fios de equilíbrio

Isto conclui os fios grossos do seu BMS. Agora devemos conectar os fios de equilíbrio do BMS. Os fios de equilíbrio conectam cada grupo paralelo e são utilizados pelo BMS para monitorar as voltagens de cada grupo paralelo durante a descarga e para equilibrar cada grupo paralelo durante a descarga.

Em quase todos os BMS, haverá o mesmo número de fios de equilíbrio que grupos paralelos, ou um fio a mais que o número de grupos paralelos. Ambos são comuns, então esteja preparado para qualquer um.

Se existe um número igual de fios de equilíbrio e grupos paralelos, a fiação é bastante simples. Apenas conecte cada fio à extremidade positiva de cada grupo paralelo. Veja a prancha do BMS para ver que fios pertencem a qual grupo paralelo. Eles devem estar em ordem, mas às vezes pode ser confuso para entender com que extremidade começar. Se eles não estiverem marcados no BMS em si (devem estar como B1, B2, B3... perto dos fios), então veja o diagrama de fiação do BMS.

Às vezes eles não estarão marcados, mas todos os fios de equilíbrio estarão em branco ou preto, com um único fio de equilíbrio vermelho em uma extremidade do grupo de fios de equilíbrio. De forma geral, este fio vermelho será o grupo paralelo de maior número da bateria e cada fio sucessivo irá pertencer ao grupo paralelo de menor número. Sempre cheque no diagrama de fiação.

Se há um fio a mais do que o número de grupos paralelos na bateria, as mesmas regras se aplicam, exceto que o primeiro fio na verdade irá começar no terminal negativo do primeiro grupo paralelo. Então, o restante dos fios irá continuar normalmente nos terminais positivos de cada grupo paralelo sucessivo até que você alcance o grupo paralelo de maior número. Em um BMS 5s com seis fios de equilíbrio, os fios de equilíbrio devem estar marcados como B1-, B1+, B2+, B3+, B4+ e B5+ com o sexto fio sendo conectado ao terminal positivo do quinto grupo de células.

Você deve utilizar o BMS correto para sua bateria baseado no número de grupos paralelos em série. Se você possui uma bateria 10s, você não pode utilizar um BMS 13s e apenas deixar os três últimos fios de equilíbrio desconectados. O BMS estará esperando para ver a voltagem destas células que faltam. Quando ele não as detecta, ele não deixará a bateria fornecer corrente.

Você também não pode utilizar um BMS para um grupo paralelo em série a menos, mesmo se ele possui um fio de equilíbrio extra. Por exemplo, você não pode utilizar um BMS 5s com seis fios de equilíbrio em uma bateria 6s. Ele simplesmente não irá funcionar.

Seu BMS precisará ser montado de forma segura à sua bateria ou ao invólucro de sua bateria para evitar que ele se mova e de desconecte de algum dos vários fios. Unidades BMS menores são geralmente uma placa exposta, e devem ser isolados ou cobertos se forem montados diretamente à bateria. Um curto acidental pode acontecer se o BMS conectar os terminais de dois grupos paralelos adjacentes.

Eu geralmente utilize fita kapton para montar unidades BMS menores às baterias. Fita kapton é não estática, não condutiva e é bem pegajosa sem ser gomosa como muitas fitas elétricas.

Para baterias que vão passar por vibrações, assim como um skate elétrico ou uma bicicleta elétrica, eu gosto de colocar um pequeno pedaço de espuma entre a bateria e a placa BMS para reduzir o impacto no BMS. As células de bateria geralmente podem lidar com a vibração, mas a placa de circuito do BMS é frágil e pode ser danificada sob impactos extremos ou carga de choque.

Unidades BMS maiores que foram feitas para maior potência geralmente estão protegidas por suas próprias capas de alumínio para proteger o BMS e ajudar na dissipação do calor. Este caso geralmente possui furos para parafusos, para montar o BMS. Certifique-se de manter a capa de alumínio longe dos terminais de sua bateria para não acontecer um curto circuito.

Se você escolher pular o uso do BMS, seus fios principais de carga e descarga serão muito mais simples. Você obviamente não terá nenhum BMS para ficar no meio do circuito, então você irá apenas conectar os fios de carga e descarga ao seu primeiro e último grupo paralelo. Os fios de carga e descarga negativas se conectam ao terminal negativo de seu primeiro grupo paralelo. Os fios de carga e descarga positivas se conectam ao terminal positivo de seu último grupo paralelo.

Você não precisa de dois conjuntos de fios – o mesmo par de fios positivos e negativos pode ser utilizado para carregar e descarregar. Mas dependendo do tipo de conectores que você quer usar, e se você quiser deixar sua bateria conectada ao dispositivo que está alimentando, pode ser útil ter um porto de carga e descarga separado.

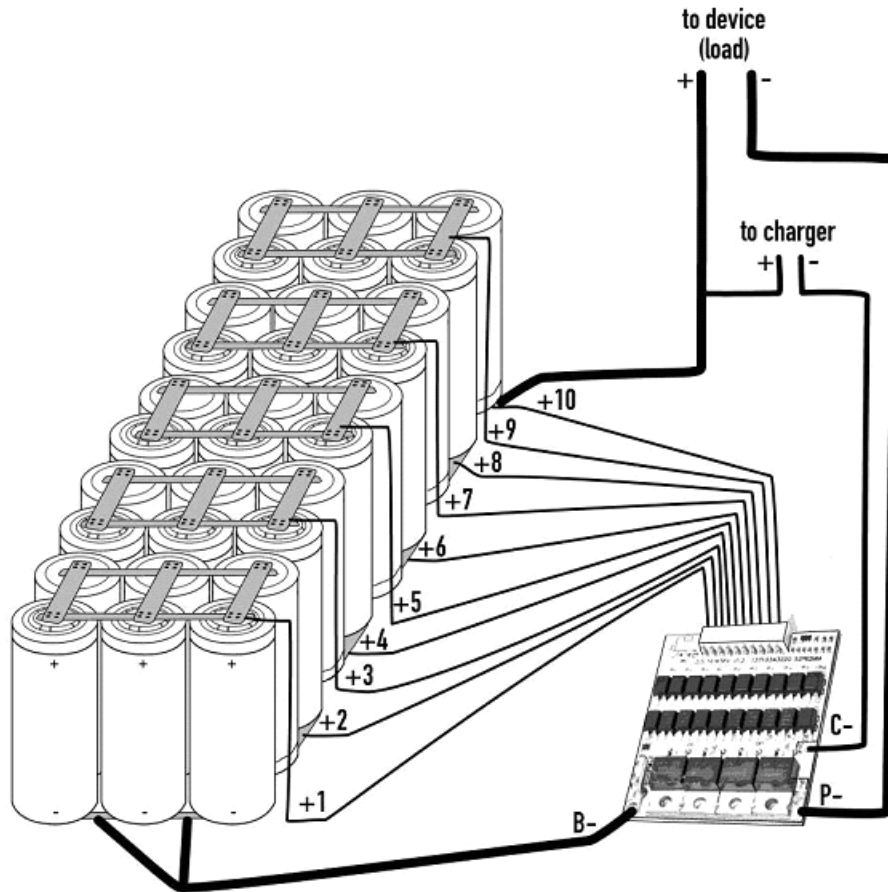
## Adicionando um conector de equilíbrio

Se você não incluir um BMS em sua bateria, então você deve incluir um conector de equilíbrio. O conector de equilíbrio é conectado assim como o conector de equilíbrio no BMS. Um único

pequeno fio é conectado a cada grupo paralelo da bateria. Isto permite que a bateria seja equilibrada durante o carregamento, o que discutiremos um pouco mais no Capítulo 13.

Mesmo se você escolher utilizar um BMS em sua bateria, adicionar um conector de equilíbrio extra pode ser uma boa ideia. Ao ter este conector de equilíbrio externo à bateria, você pode monitorar as voltagens dos grupos paralelos sem precisar abrir sua bateria. Isto pode ser útil quando você quiser ter certeza de que sua bateria ainda está saudável após muitos ciclos. Também pode ser bom para confirmar que seu BMS ainda está funcionando. Se seu BMS morrer ou a função de equilíbrio falhar, você pode não perceber até que sua bateria se torne muito desequilibrada e passe a ter problemas. Um conector de equilíbrio externo pode ajudar você a verificar se o BMS ainda está funcionando.

## Guia de fiação para um BMS 10s com 10 fios de equilíbrio



## Realizando checagens finais de qualidade e performance

A esta altura seu BMS está conectado e sua bateria está pronta! Bem, eletricamente falando, pelo menos. Ainda precisamos vedá-la e deixá-la bonita, mas este é o próximo capítulo. Agora, é a hora de verificar que tudo foi conectado corretamente.

Utilize um multímetro digital ou um voltímetro para ver a voltagem de sua bateria tanto nos fios de carga quanto nos de descarga. Você deve ver algo razoável no alcance de sua bateria finalizada. Uma bateria de 36 V pode não ler exatamente 36 V se as células não estiverem

completamente carregadas. Muitas células de íon de lítio são enviadas da fábrica com 3.3 V por célula, então uma bateria 10s de 36 V construída com estas células deve ler 33 V tanto nos conectores de carga quanto nos de descarga. Se por algum motivo você conseguir um número estranho, principalmente um que seja muito baixo, é provavelmente devido a uma conexão incorreta em algum lugar no BMS. Cheque duas vezes todas as duas conexões principais e conexões de equilíbrio.

Se você obtiver uma leitura de 0 V ou uma leitura de circuito aberto, pode ser um problema com o BMS, mas também pode ser um problema na conexão da célula. Para determinar qual é, meça a voltagem do terminal negativo de seu primeiro grupo de células com o terminal positivo de seu último grupo de células. Se você ainda obtiver 0 V ou circuito aberto, isto significa que você provavelmente esqueceu de fazer uma conexão em série em algum lugar. Se você conseguir a voltagem apropriada, então o problema é com seu BMS, como uma conexão errada em algum lugar.

Se você checou tudo e ainda assim recebe uma leitura de voltagem incorreta que não está dentro do alcance de sua voltagem de carga ou descarga completa, você deve ter uma unidade BMS defeituosa. Isto acontece raramente, principalmente com os “especiais chineses” mais baratos. Se você for comprar um BMS barato, você pode querer comprar dois para garantir um substituto. Mas se você vai comprar dois, melhor gastar o dobro em um BMS melhor.

Checar a voltagem é uma boa maneira de assegurar de que tudo está conectado corretamente, mas não irá dizer como tudo está conectado. Para isto, é melhor testar sua bateria com uma carga de verdade. Se possível, testar com a carga para a qual ela foi projetada é o ideal. No entanto, para algumas aplicações, não é possível colocar a bateria aberta no dispositivo, ou o dispositivo ainda não está pronto.

Se seu dispositivo está disponível e você pode testar a bateria nele, tente colocar a bateria sob a carga por alguns minutos para ter certeza de que você não sente as conexões da bateria aquecendo. Um pouco de calor está bem. Sob cargas diferentes, muitas células irão aquecer a cerca de 35-50°C. A não ser que você esteja construindo uma bateria para operar sob uma potência muito alta, você não quer que ela esquente mais que isso.

Um termômetro infravermelho ou laser é ótimo para ver a temperatura de partes diferentes de sua bateria. Eles podem ser comprados por menos de \$5 em sites como AliExpress. Tenha muito cuidado com suas conexões em série para ter certeza de que elas também não estão

esquentando demais. Um pedaço de tira de níquel vermelho e brilhante pode ser um sinal de que você fez besteira, mas mesmo uma conexão em série única que está muito mais quente que as outras pode ser um sinal de que a conexão não é forte o suficiente (ex: ela precisa de maior capacidade de transporte de corrente).

Se você não pode utilizar seu dispositivo, existem outras maneiras de testar uma bateria. Baterias de 12 V podem ser conectadas a uma grande variedade de dispositivos DC de 12 V, como luzes ou aquecedores. Outras voltagens não são tão fáceis para alimentar os dispositivos que você possui em casa, mas elas podem ser conectadas a um conversor de voltagens para fornecer um DC de 12 V para um efeito parecido.

Você pode criar uma “carga fictícia” ao utilizar uma serpentina de aquecimento, resistores de potência ou uma cadeia de lâmpadas para criar uma carga resistente para a bateria. Lâmpadas de halogênio e resistores de potência são geralmente utilizadas para construir dispositivos de descarregamento de baterias caseiros. Uma rápida busca no Google para qualquer uma destas irá mostrar diferentes instruções para construir um descarregador de bateria. Eu até postei um vídeo no canal do YouTube [EbikeSchool.com](https://www.youtube.com/channel/UCBikeSchool), mostrando como fazer um descarregador de lâmpada de halogênio de voltagem ajustável.

Testar sua bateria sob uma carga não é crucial, mas é um bom passo extra para garantir a qualidade. Mas contanto que sua bateria esteja fornecendo a voltagem correta de seus conectores de carga e descarga, então você está pronto para ir ao próximo passo.



## Capítulo 12: Vedando a bateria

Uma vez que você terminar suas conexões e confirmar que sua bateria está funcionando bem, você pode vedá-la. Na minha opinião, todas as baterias de lítio devem ser vedadas de alguma forma. Uma bateria de lítio sem vedação com terminais expostos é simplesmente um curto circuito acidental apenas esperando para acontecer.

O único caso em que eu vejo baterias de lítio sem vedação é na comunidade powerwall. Eles geralmente juntam suportes de células de plástico, que criam uma capa para a bateria, e deixam os terminais levantados na superfície em que se encontram, mas eles não chegam a cobrir estes terminais expostos.

Eu não sei por que estas pessoas não vedam suas baterias. Talvez eles querem acessar facilmente para substituir células ruins, já que eles geralmente constroem suas baterias com células resgatadas. Talvez eles queiram os benefícios do resfriamento de ar passivo, e não querem projetar um sistema de ventilação ativo. Talvez eles simplesmente pensaram que como as baterias estão em uma prateleira ou escondidas em um guarda-roupa, elas provavelmente estão seguras.

De todas as formas, estas baterias com terminais expostos representam um risco de incêndio se alguma coisa gerar um curto circuito nelas. Um rato no guarda-roupa ficaria bastante crocante se pisasse no lugar errado e gerasse um curto circuito em uma bateria de armazenamento de energia de uma casa.

O método de vedação de sua bateria vai depender em um número de fatores, incluindo o tipo de células que você utilizou, o tamanho e formato de sua bateria, e o ambiente no qual a bateria será utilizada.

## Caixas rígidas

Células prismáticas são geralmente muito fáceis de selar. Seus únicos terminais expostos são pequenas hastes rosqueadas ou porcas, e geralmente vêm com capas de borracha especiais para isolá-las. Se barras de suporte foram utilizadas para conectar células prismáticas, as barras expostas devem estar cobertas de alguma maneira. Geralmente, uma caixa rígida é construída ao redor das células prismáticas para cobrir as células e as barras de suporte. Uma porta com dobradiças permite fácil acesso enquanto mantém tudo protegido e seguro.

Células em formato de bolsa também são boas candidatas para caixas rígidas. As células delicadas podem ser facilmente perfuradas. Caixas rígidas como as Pelican fornecem proteção contra

dano acidental. No entanto, estas caixas são caras, e caixas de plástico mais baratas ou até mesmo lancheiras de plástico funcionam bem para caixas de baterias.

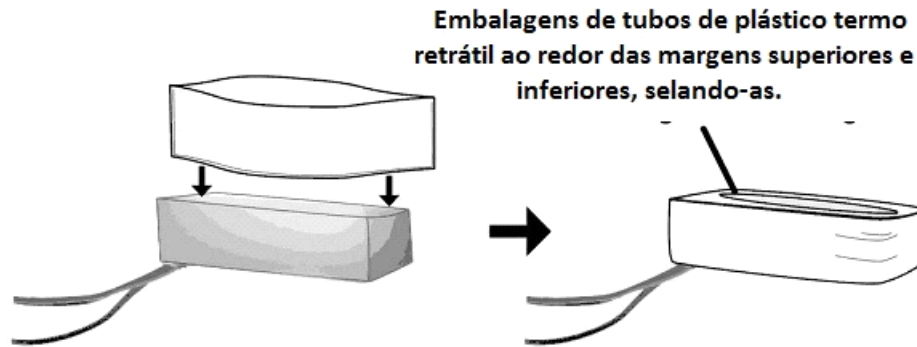
Embora as caixas rígidas sejam recomendadas para células em formato de bolsa, devido à sua leveza e natureza densa, elas geralmente são utilizadas em situações em que peso e volume são minimizados. No caso de drones e aeronaves leves, caixas rígidas adicionam volume indesejado. Quando utilizando células em forma de bolsa sem uma caixa rígida, você deve ter bastante cuidado para proteger estas células de danos acidentais.

## Plástico termo retrátil

O plástico termo retrátil é um bom método para selar diferentes tipos de baterias. Ele geralmente é utilizado como um primeiro passo no processo de vedação, e então seguido por uma caixa rígida para adicionar proteção extra.

Baterias feitas de células cilíndricas requerem uma vedação para manter a bateria segura de curtos circuitos. As extremidades das células estão quase cobertas com conexões de tiras de níquel, fazendo com que curtos circuitos sejam muito mais fáceis, dependendo do layout e orientação da bateria.

Células de baterias cilíndricas funcionam bem com embalagem de plástico termo retrátil, dependendo do formato da bateria. Embalagens de maior diâmetro de plástico termo retrátil estão comumente disponíveis online, em tamanhos grandes o suficiente para embalar uma criança. Não que você deva fazer isto.

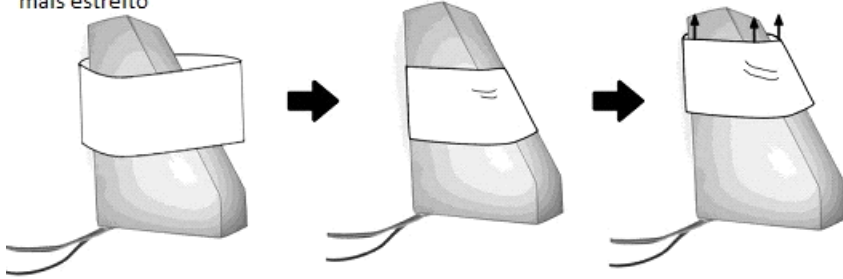


Para baterias que serão utilizadas em um ambiente de alta vibração como skates elétricos e baterias de bicicletas, é uma boa ideia embalar uma camada de espuma ao redor da bateria antes de embalar com o plástico termo retrátil. Isto dará um amortecimento extra e proteção contra pancadas e choques. Folhas de espuma de 1-3mm funcionam bem para este propósito e são bem baratas. Algumas pessoas utilizam tapetes de yoga baratos, embora esta espuma seja um pouco mais grossa do que necessário, e irá acumular mais calor do que uma espuma mais fina. No entanto, dependendo de sua aplicação, uma espuma mais grossa pode ser uma vantagem.

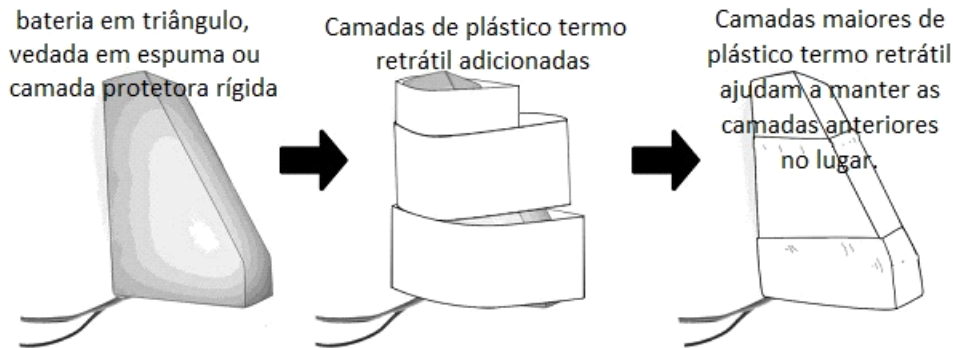
Placas de fibra de vidro finas também são utilizadas para cercar a bateria e fornecer proteção rígida. Fibra de vidro não absorve o impacto tão bem quanto a espuma, mas ajuda a espalhar o impacto por uma grande área da bateria.

Embalagem com plástico termo retrátil é mais fácil para formatos quadrados, em que ele pode embalar em duas margens opostas, se mantendo no lugar. Para baterias triangulares ou qualquer formato com grandes inclinações, o plástico pode ser um pouco mais difícil de utilizar. O problema é que um único pedaço de plástico termo retrátil geralmente não consegue se retrair o suficiente para se segurar nos lados opostos, e ele irá deslizar na inclinação. Existem plásticos termo retráteis de alta proporção que podem ajudar neste problema, mas é difícil encontrar em diâmetros tão grandes.

Plástico termo retrátil em superfícies inclinadas pode afrouxar e deslizar para o lado mais estreito

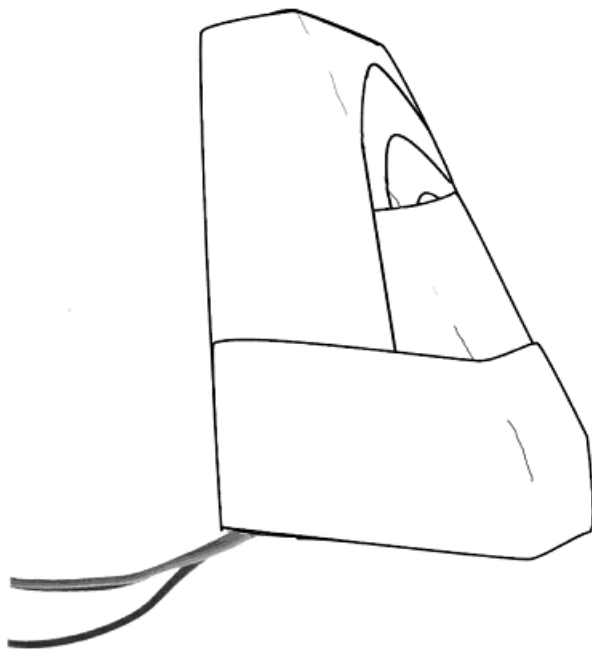


Um truque para embalagem com plástico termo retrátil em formatos triangulares é utilizar tamanhos progressivamente maiores do plástico à medida em que você vai chegando nos pontos mais largos da bateria. Fitas mais largas irão encolher em cima das fitas mais curtas que já foram colocadas, e ajudar a mantê-las no lugar.



Utilizar ciclos de embalagem com plástico termo retrátil a 90º uns dos outros podem ajudar a manter o plástico firme em formas com planos inclinados.

Camadas de plástico termo retrátil colocadas  
a 90º umas das outras



Muitas pessoas têm dificuldade em determinar o tamanho correto do plástico termo retrátil para suas baterias. Plástico termo retrátil de maior diâmetro é medido por sua meia circunferência em vez do diâmetro. Ele geralmente também é listado em tamanhos métricos. Então um pedaço de plástico termo retrátil de 150mm não é um círculo com 150 mm (6 polegadas) em diâmetro. Em vez disso, quando colocado em uma superfície plana, ele mede 150 mm de largura. Esta largura plana é igual a metade da circunferência do plástico quando aberto em um círculo.

Calcular o tamanho é bastante fácil uma vez que você entende isto. Tudo o que você precisa fazer é medir sua bateria para encontrar metade de seu perímetro. Se a bateria é um quadrado regular ou um triângulo, meça a parte superior e um dos lados, e então some estes números. Isto lhe dará metade do perímetro de sua bateria. Obviamente não queremos cortar o plástico do mesmo tamanho – queremos que o plástico se retraia a um tamanho menor que sua bateria, para apertá-la bem. Então nosso tamanho ideal seria entre um pouco menos do dobro de nosso meio perímetro e um pouco mais que nosso meio perímetro (para que ele ainda possa caber na bateria).

Tamanho máximo do plástico termo retrátil =  $2 \times (\text{comprimento} + \text{largura da bateria}) - \text{“um pouco”}$

Tamanho mínimo do plástico termo retrátil =  $\text{comprimento} + \text{largura da bateria} + \text{“um pouco”}$

Basicamente o que estas duas equações estão dizendo é que o tamanho de nosso plástico termo retrátil deve ser algo entre nosso perímetro e metade de nosso perímetro.

Vamos fazer um exemplo. Digamos que nossa bateria é a retangular do diagrama de duas páginas atrás. Digamos que ela mede 70mm x 75mm x 150mm. Para calcular o tamanho do plástico termo retrátil precisaríamos que ele cobrisse a dimensão maior, como mostrado no diagrama, e adicionaríamos o comprimento e largura, o que nos daria:

Tamanho mínimo do plástico termo retrátil =  $15\text{mm} + 150\text{mm} + \text{“um pouco”} = 225\text{mm} + \text{“um pouco”}$

Então sabemos que nosso plástico termo retrátil precisa ser um pouco maior que 225mm para caber na bateria. Para calcular o tamanho máximo, simplesmente multiplicamos este número por 2, o que nos dá 450mm. Então nosso plástico termo retrátil pode ter entre 225mm a 450mm. De preferência, queremos algo mais para baixo desta escala, para ter certeza de que estará bem apertado. Um tamanho de 250mm – 300mm seria ideal. E isto é tudo para calcular diâmetros de plásticos termo retráteis.

Quando aquecendo a embalagem de plástico termo retrátil, tenha cuidado para não aquecer demais. Muitas pistolas de calor são feitas para serviços mais pesados, como remover tinta. Estas configurações de alto calor podem derreter seu plástico em menos de um segundo. Comece com uma configuração mais baixa, e aumente lentamente o calor até encontrar o nível apropriado. Secadores de cabelo de maior potência também podem ser utilizados. Eu utilizei o secador de 2,000 W da minha esposa por anos até comprar uma pistola de calor.

## Problemas de resfriamento

Dependendo de sua aplicação, sua bateria de lítio pode não precisar de nenhuma forma de resfriamento. A maioria das baterias de lítio comerciais com alcance de alguns kWh não possuem nenhuma forma de resfriamento. As baterias de lítio utilizadas para dispositivos como drones, ferramentas elétricas, skates elétricos e bicicletas elétricas estão vedadas ou em plástico termo retrátil ou em caixas rígidas, e são utilizadas em níveis de energia que não precisam de resfriamento ativo. O resfriamento passivo que ocorre quando a caixa da bateria dissipa o calor acumulado ao ar ambiente é suficiente na maioria dos casos.

Algumas baterias possuem BMSs para cortar sua energia quando uma certa temperatura é alcançada. Isto é comum em baterias de ferramentas elétricas que são geralmente usadas (ou abusadas) em níveis de energia muito altos.

O resfriamento se torna mais importante com alta potência, quando vidas humanas estão em risco. Isto é mais comumente encontrado nas indústrias automotivas e aeronáuticas. Veículos elétricos geralmente possuem sistemas de resfriamento ativos utilizando ar, água, óleo ou outros fluidos para absorver o calor da bateria.

A grande maioria das pessoas lendo este livro nunca precisarão considerar adicionar resfriamento ativo às suas baterias. Contanto que a bateria não seja abusada e seja utilizada em um ambiente com ao menos alguma forma de resfriamento passivo, onde o ar pode passar pela caixa da bateria, já é suficiente. Escape térmico em células de lítio se torna um problema a cerca de 150°C, mas ainda assim baterias de lítio em uso normal não devem exceder os 60°C.

De forma geral, contanto que a caixa esteja exposta ao ar de alguma forma, as baterias podem resfriar sozinhas. Baterias para ferramentas elétricas podem precisar ficar na prateleira por alguns minutos quando atingem seu limite de corte térmico. Baterias de bicicleta elétrica e skates geralmente utilizam resfriamento passivo apenas do ar que passa por eles quando os utilizando. Baterias de drones são geralmente resfriadas pelo ar das hélices, que fornecem um tipo de resfriamento passivo/ativo.

Se você requer resfriamento ativo em sua bateria para aplicações de alta potência, o ar é geralmente o melhor método. Uma bateria selada pode ter um ventilador como o de um computador encaixado em uma caixa com uma porta de exaustão do outro lado da bateria. Deve haver cuidado para assegurar que objetos estranhos não entrem na bateria, mas este método irá fornecer resfriamento suficiente para a maioria dos cenários de alta potência.



Se você precisa de resfriamento com água ou óleo, suas necessidades provavelmente estão fora do alcance deste livro. Você precisa de um time de engenheiros projetando sua bateria porque vidas provavelmente estão em jogo. Aplicações como carros elétricos e aeronaves possuem sistemas de resfriamento muito sofisticados. A construção de baterias para estas aplicações não deve ser subestimada.

Lembre-se, adicionar mais células em paralelo para criar uma bateria de maior capacidade irá ajudar a reduzir a potência relativa exigida pela bateria. Baterias de maior capacidade possuem uma menor descarga de taxa C. Isto resulta em uma menor geração de calor. Se sua bateria está chegando perto do limite térmico, existe uma boa chance de que ela não foi feita com capacidade suficiente ou não foi projetada com células com uma taxa C alta o suficiente.

## Capítulo 13: Carregando baterias de lítio

Não é difícil carregar baterias de lítio. No entanto, se o carregamento não for feito corretamente, ele pode ser perigoso. Muitos incêndios em casas devido a baterias de lítio que você vê nas notícias ocorrem durante a fase de carregamento. Isto não significa que você deve se preocupar. Isto só significa que você deve prestar atenção aos métodos de carregamento corretos e executá-los quando apropriado para sua bateria.

O tipo de carregador utilizado para baterias de lítio irá depender se a bateria possui um BMS ou não. No entanto, o mecanismo de carregamento de células de bateria de lítio é o mesmo, não importa a construção da bateria.

## Carregamento com Corrente Constante, Voltagem Constante

Células de baterias de lítio carregam ao utilizar o que é conhecido como um esquema de carregamento de corrente constante, voltagem constante (CC-CV).

Um esquema de carregamento CC-CV significa que a primeira parte do período de carregamento é uma fase de corrente constante, enquanto a segunda parte do período de carregamento é uma fase de voltagem constante.

Durante a fase de corrente constante, a eletricidade é fornecida às células de bateria de lítio com uma corrente constante. Isto significa que a corrente não muda, embora a voltagem mude durante este período. Uma célula de íon de lítio descarregada por ter cerca de 2.7 V quando conectada a um carregador. Um carregador CC-CV avaliado para 1 A irá fornecer 1 A de corrente à célula da bateria, começando em uma voltagem de 2.7 V para combinar com a voltagem da célula.

Quando a célula de lítio obtém o fluxo de corrente do carregador, a voltagem vai aumentar instantaneamente, provavelmente a cerca de 5%. Isto é essencialmente o oposto do afundamento de voltagem durante a descarga. Quando a célula de lítio fica conectada ao carregador, sua voltagem irá aumentar lentamente, enquanto o seu estado de carga também aumenta.

Aqui é onde a mágica do CC-CV acontece. Quando a voltagem aumenta para um limite pré-estabelecido no carregador (geralmente 4.2 V para uma célula de íon de lítio), o carregador vai automaticamente mudar da fase de corrente constante para a fase de voltagem constante. Na fase de voltagem constante, a voltagem irá ficar constante na voltagem da célula completamente carregada (4.2 V neste exemplo) mas a corrente irá cair lentamente. A corrente irá continuar a diminuir à medida em que o último pedaço de capacidade seja descarregado da célula. O carregador irá cortar a corrente quando ela chegar a uma certa quantidade mínima, geralmente a cerca de 100 a 200 mA. Neste ponto, a célula de lítio está completamente carregada.

O mesmo processo ocorre em diversas células quando elas estão conectadas em paralelo e em série. Como as células em paralelo se equilibram automaticamente, as células conectadas em paralelo irão carregar juntas no mesmo ritmo. E da mesma forma em que grupos paralelos conectados em série também irão carregar aproximadamente no mesmo ritmo quando conectados a uma fonte de energia, o que é o oposto de uma carga. Ou seja, à medida em que a bateria carrega, todos os grupos paralelos irão carregar aproximadamente da mesma forma.

A voltagem de carregamento correta é importante para assegurar que as células carreguem completamente, sem exceder seu limite. Como aprendemos no Capítulo 3, a maioria das células LiFePO<sub>4</sub> carregam até cerca de 3.65 V, enquanto a maioria das células de íon de lítio carregam até cerca de 4.2 V, embora algumas outras células específicas possam ser carregadas a 4.3 V ou 4.4 V. Para encontrar a voltagem correta de um carregador para uma bateria feita de muitas células conectadas em série, você simplesmente multiplica o número de células em série pela voltagem de carga completa das células.

Uma bateria 14s com células de íon de lítio irá precisar de um carregador com uma voltagem de 58.8V.

Voltagem de carga total = 14 células em série × 4.2 V = 58.8 V

Uma bateria 10s com células LiFePO<sub>4</sub> precisarão de um carregador com uma voltagem de 36.5 V.

Voltagem de carga total = 10 células em série  $\times$  3.65 V = 36.5 V

O número de células em paralelo não irá afetar a voltagem de carga necessária. Uma bateria 14s de íon de lítio irá precisar de uma voltagem de carga de 58.8 V não importa se sua capacidade é de 10Ah ou 50 Ah. O que o número de células em paralelo irá afetar é a corrente com a qual a bateria pode ser carregada. Mais células em paralelo significam que a bateria pode aguentar uma maior corrente de carga, assim como também significa que a bateria pode lidar com uma maior corrente de descarga. Claro que com células suficientes em paralelo, você deve alcançar o limite de corrente de carga de um BMS antes do limite de corrente de carga das células das baterias em si.

## Carregando com um BMS

Utilizar um BMS faz com que o processo de carregamento seja muito mais simples. Para carregar uma bateria com um BMS, você simplesmente liga o carregador na entrada de carregador da bateria.

É isso.

Pronto.

O BMS toma conta de tudo. Ele começa ao permitir que a bateria carregue do carregador utilizando o método de carregamento em massa. Você vai lembrar do Capítulo 9 que o carregamento em massa é onde toda a bateria é carregada como uma única unidade por corrente fluindo por todos os grupos paralelos de células conectados em série. Cada grupo paralelo recebe uma quantidade igual de corrente. Uma vez que o processo de carregamento em massa leve as primeiras células à carga total, o BMS então começa a equilibrar a bateria ao tirar energia do primeiro grupo de células paralelas que alcançou a carga completa (se você estiver utilizando o método de balanceamento superior, o que é mais comum). O BMS para de drenar quando todas as células chegam à capacidade total.

Mas tudo isto é feito automaticamente. Da perspectiva do usuário, o carregador simplesmente é ligado à bateria e é isso. Nada mais a fazer, a não ser esperar que o carregamento esteja completo.

Existem poucos tipos de carregadores disponíveis para baterias com um BMS. Todos funcionam de forma parecida. A principal diferença é a qualidade.

No último lugar da lista, estão os carregadores de plástico. Eles são muito baratos, geralmente custam cerca de \$20-\$40. Eles geralmente não possuem sistema de ventilação, o que os limita a uma corrente muito baixa. Geralmente em cerca de alguns amps.

Carregadores de plástico são feitos para serem baratos. Existem alguns bons por aí, mas também há alguns que faltam algumas coisas para cortar os custos. Isto geralmente é feito para fornecer um carregador incluso com uma bateria ou dispositivo eletrônico sem precisar gastar muito dinheiro na produção do carregador em si.

Carregadores de plástico podem funcionar bem, mas os mais baratos devem ser monitorados para você ter certeza de que não estão superaquecendo. Infelizmente, isto ocorre rapidamente e sem qualquer aviso de quando algo entra em curto circuito dentro do carregador. Não só isto pode destruir sua bateria, mas também pode fazer com que a bateria ou o carregador – ou ambos – peguem fogo.

Se isto parece ruim, então você deve querer comprar a próxima classe de carregadores. Estes são carregadores de alumínio com ventiladores. Como você deve ter percebido, estes carregadores possuem uma caixa de alumínio e incluem ventiladores. Estes são geralmente mais caros, mas também podem lidar com maior corrente e energia que os carregadores de plástico baratos.

O custo mais alto e habilidade de carregar uma corrente maior geralmente é produto de uma melhor qualidade de construção, apesar de que isto não seja sempre verdade. De forma geral, no entanto, carregadores com uma capa de alumínio e um ventilador são mais seguros e de maior qualidade.

A próxima classe seria um carregador ajustável de alumínio com um ventilador. Estes carregadores são geralmente baseados na mesma estrutura dos carregadores que eu descrevi anteriormente, mas incluem a opção de ajustar a voltagem de carga, corrente ou ambos. A vantagem disto é que você pode escolher uma corrente menor para um carregamento mais saudável, ou uma corrente maior para um carregamento mais rápido quando você estiver com pressa. Você também pode ajustar a voltagem a um nível menor para ajudar a aumentar a vida útil da bateria. Vamos falar sobre como isto funciona no próximo capítulo.

Neste nível, há múltiplas versões de carregadores de boa qualidade. Um que eu particularmente gosto e que pode lidar com qualquer coisa entre 12-72 V é o Cycle Satiator feito pela Grin Technologies no Canadá. Este carregador não só é ajustável, mas também programável com uma tela digital para permitir que você adicione múltiplos perfis de carregamento para baterias diferentes. Ele é até mesmo à prova d'água. Ele não tem um ventilador, mas neste caso não é um sinal de má qualidade. Ele simplesmente foi feito para ser extremamente eficiente, sem precisar de um ventilador. No entanto, ele esquenta um pouco quando utilizado nos níveis mais altos de energia, então tenha cuidado e certifique-se de dar um pouco de espaço para o carregador respirar.

O carregador que você escolher vai ser decidido por seus requerimentos específicos. Baterias de baixa potência geralmente estão bem com carregadores baratos de plástico. Praticamente todos os laptops e celulares utilizam carregadores baratos de plástico para suas baterias de lítio, então você não deve temê-los. O maior problema de qualidade acontece quando os níveis de energia aumentam, o que significam maiores voltagens e maiores correntes. Para baterias de maior potência, um carregador melhor é uma forma de se proteger contra danos. Por mais ou menos \$20 a mais, um carregador com uma caixa de alumínio e um ventilador é um bom investimento.

## Carregando sem um BMS

As coisas ficam mais complicadas quando se carrega sem um BMS. As baterias sem um BMS podem ser carregadas em massa utilizando os mesmos carregadores citados acima, que foram feitos para baterias com BMSs. No entanto, utilizar apenas um carregador em massa em vários ciclos de carga e descarga pode levar a um desequilíbrio nos grupos de células paralelas em uma bateria.

Células de lítio de boa qualidade podem lidar com muitos mais ciclos de carga e descarga antes de se tornarem desequilibrados, mas geralmente todos os grupos paralelos irão se desequilibrar após uma quantidade de ciclos sem um BMS para corrigir este problema. Um método utilizado para evitar carregamento equilibrado pelo máximo de tempo possível é configurar a voltagem da carga para um pouco menos que a voltagem de carga máxima. Para células de íon de lítio, isto significaria carregar até cerca de 4.17 V por célula em vez de 4.2 V por célula. Ao carregar um pouco menos que o total, as células que começarem a carregar demais demorarão mais tempo para alcançar uma voltagem acima de sua voltagem máxima. No entanto, eventualmente, apenas carregar em massa sem equilíbrio irá fazer com que algumas células carreguem mais do que sua voltagem máxima.

Para evitar este caso, um carregador equilibrador é utilizado para carregar a bateria enquanto também equilibra os grupos de células. Baterias sem um BMS precisam ter um conector de equilíbrio ligado a cada célula da bateria. Um carregador equilibrador exige que a bateria esteja conectada tanto pelos fios de equilíbrio quanto com os fios de carregamento (ou de descarregamento, já que eles são conectados no mesmo lugar da bateria quando não há um BMS envolvido).

O carregador inicia ao carregar a bateria em massa por meio dos fios de carga (ou de descarga) até que a bateria chegue perto de sua capacidade total. Até este ponto, o carregador equilibrador funciona de forma bastante parecida com um BMS. O carregador equilibrador monitora a voltagem dos grupos paralelos individuais e drena um pouco da capacidade das células que alcançaram sua total capacidade primeiro, enquanto continua a carregar o resto das células.

Lembre-se baterias sem um BMS nem sempre podem ser carregadas com equilíbrio. Como eu mencionei, células de boa qualidade podem durar por muitos ciclos enquanto se mantêm balanceadas. Cargas e descargas de maior corrente farão com que as células percam seu equilíbrio mais rapidamente. Células de baixa qualidade também perderão o equilíbrio mais rapidamente. Quanto maior a corrente ou menor a qualidade das células utilizadas em uma bateria sem BMS, mais vezes ela deve ser carregada com equilíbrio.

O melhor método, se você escolher não usar um BMS, é testar sua própria bateria para ver quão rápido ela se torna desequilibrada. Você pode sempre utilizar um multímetro digital ou um voltímetro para medir a voltagem de cada grupo paralelo pelo conector de equilíbrio em sua bateria.



## Temperatura de carregamento

É muito importante respeitar os limites do fabricante para a temperatura de carregamento. Carregar células de lítio acima ou abaixo de suas temperaturas pode danificar as células e se tornar extremamente perigoso.

Células de baterias de lítio quando carregadas a temperaturas baixas, abaixo de 0°C, serão danificadas ou destruídas. Nestas baixas temperaturas, o metal do lítio irá permanentemente coletar no ânodo, reduzindo a capacidade da célula. Não só isto tira a capacidade da célula de lítio, mas também pode aumentar o risco de que a célula pegue fogo se sofrer um impacto. Temperaturas congelantes geralmente não são alcançadas pela maioria dos projetos alimentados por íon de lítio, mas baterias que são deixadas em um ambiente aberto durante a noite, ou até mesmo durante o dia em climas muito frios, podem passar por esta situação.

Veículos elétricos geralmente incluem mecanismos de segurança para prevenir o carregamento a temperaturas muito baixas. Alguns veículos elétricos até mesmo possuem aquecedores embutidos para aquecer a bateria a uma temperatura suficiente antes que o carregamento possa ocorrer.

Para baterias menores, trazer baterias frias para dentro e permitir que elas aqueçam a ao menos 10°C por algumas horas irá ajudar a evitar este dano durante o carregamento. É sempre melhor utilizar uma corrente de carga menor quando estiver carregando baterias frias.

Carregar células de baterias de lítio a altas temperaturas pode reduzir sua capacidade e levar a escapes térmicos. Carregar uma célula de bateria de lítio produz calor devido à resistência interna da célula. Se a célula já está chegando a um nível de calor perigoso, calor adicional do carregamento irá fazê-la se aproximar ainda mais do escape térmico.

Lembre-se que baterias de lítio terão um alcance de temperatura maior e mais seguro para descargas por que para cargas. Sempre obedeça aos limites de temperaturas de carregamento dos fabricantes.



## Capítulo 14: Aumentando o ciclo de vida

Baterias de lítio são caras. Felizmente para nós, elas geralmente duram muito tempo, mas qualquer coisa que possa ser feita para aumentar sua expectativa de vida adiam uma substituição muito cara. Existe uma variedade de truques que podem manter suas células de bateria mais saudáveis por mais tempo e aumentar o número de ciclos que sua bateria pode fornecer.

## Carregue a uma voltagem máxima menor

A maioria das células de baterias de lítio não gostam de passar muito tempo em altas voltagens. Na verdade, é recomendável armazenar as células de baterias de lítio a níveis baixos de carga. Uma única exceção seria a LiFePO<sub>4</sub>, que pode tolerar ficar em carga máxima por maiores períodos de tempo sem degradação da célula.

Para a maioria das químicas de íon de lítio, manter uma célula a uma alta voltagem causa reações químicas danosas no eletrólito da célula. Com o passar do tempo, estas reações químicas lentamente diminuem a capacidade da célula. Isto pode levar à sua morte prematura.

Isto não significa que você não terá o número de ciclos de cargas estabelecidos pelo fabricante da célula. O que significa é que há um potencial de conseguir ainda mais ciclos do que estabelecido, se você fizer as coisas certas.

Testes mostraram que ao carregar células de íon de lítio de a 4.1 V em vez de 4.2 V, as células terão muito mais ciclos de carga e descarga. Em alguns casos, as células que não são carregadas a mais de 4.1 V duram até o dobro de ciclos.

Para carregar uma bateria a uma voltagem menor, você vai precisar modificar seu carregador, ou utilizar um carregador ajustável especial. Até mesmo carregadores não-ajustáveis geralmente possuem potenciômetros dentro deles para o ajuste da voltagem. Você não deve mexer com estes se não sabe o que está fazendo. No entanto, se você pode pegar as informações do vendedor sobre onde fazer o ajuste, você pode baixar a voltagem um pouco. Mantenha em mente que isto pode violar a garantia de seu carregador.

Carregadores ajustáveis facilitam este processo, já que foram feitos justamente para esta função. O único problema com este método de subcarregamento é que o BMS que equilibra as células à sua capacidade total provavelmente não entrará no modo de equilíbrio, já que as células nunca alcançarão sua voltagem completa. Por isto, é bom carregar a bateria à sua voltagem completa de vez em quando para permitir que o BMS equilibre as células. Você pode

encontrar alguns BMSs que foram feitos para equilibrar em menor voltagem, mas eles são raros.

A maior desvantagem deste método de subcarregamento é que você não terá a capacidade total de suas células. Por exemplo, carregar uma célula de íon de lítio a 4.1 V em vez de 4.2 V, quer dizer que você só consegue cerca de 90% de sua capacidade de carga total. Se vale a pena dobrar a vida de sua bateria com uma perda de 10% de sua capacidade em cada descarga, então esta é uma boa opção. Você também pode brincar com a quantidade de subcarga para encontrar o equilíbrio para suas necessidades.

Curiosamente, o oposto deste método também funciona. Ao carregar células de íon de lítio a mais de 4.2 V, como a 4.3 V, você pode conseguir mais capacidade do que as células foram classificadas. Uma célula de 3 Ah pode entregar 3.2 Ah. No entanto, isto não só reduz drasticamente a vida útil da célula, como também pode ser muito perigoso. Você nunca deve carregar as células a mais que sua voltagem máxima.

## Descarga a uma voltagem mínima maior

De forma parecida, você também pode utilizar um corte de baixa voltagem. Baterias de lítio duram mais quando não são descarregadas a níveis de voltagem baixos sob cargas pesadas. Células de íon de lítio geralmente são feitas para descarregar a 2.5 V, mas parar a uma maior voltagem proporcionará um maior número de ciclos das células.

No entanto, isto cria um problema parecido ao da subcarga, em que você não consegue a capacidade completa das células para cada ciclo de carga.

Muitos fabricantes de carros elétricos utilizam este método. Já se perguntou como eles podem dar uma garantia de 10 anos em suas baterias quando a maioria das células foram feitas para, no máximo, 1,000 ciclos? Eles geralmente estão utilizando apenas a parte do meio do alcance de voltagem para suas células. Neste caso, eles carregam a um nível um pouco menor que a voltagem máxima, e param de descarregar um pouco acima da voltagem mínima. Nem todos os fabricantes de veículos elétricos fazem isto, mas alguns obtiveram sucesso com esta técnica.

## Carga e descarga a baixas correntes

Quanto menor a corrente de carga e descarga de uma célula de bateria de lítio, mais saudável ela será. Até mesmo células que estão classificadas para correntes de descarga muito altas ainda estão mais felizes a níveis menores de corrente.

Um carregamento rápido é conveniente, mas diminui o número de ciclos úteis que você terá em sua bateria. Quando o tempo não é um problema, você deve carregar a taxas menores para aumentar a vida de sua bateria.

Pode ser difícil descarregar a taxas menores se uma aplicação ou dispositivo específico requer uma corrente fixa. Nestes casos, aumentar a capacidade da bateria levará a taxas de descarga relativamente mais baixas. Por exemplo, uma carga de 2 A em uma célula de bateria 2 Ah é uma taxa de descarga de 1 C. Mas se você pode utilizar uma bateria de 4 Ah, aquela mesma carga de 2 A resulta em uma taxa de descarga de apenas 0.5 C. A bateria de 4 Ah irá durar por mais ciclos de carga/descarga completos neste exemplo.

## Mantenha as células resfriadas

Já discutimos isto várias vezes, então não vou demorar muito. Como já sabemos, o calor é o inimigo das células de baterias de lítio. Testes mostraram que quanto mais alta a temperatura na qual as células de bateria de lítio são armazenadas e utilizadas, menos ciclos ela fornece.

O ponto ideal parece ser em temperatura ambiente de 25°C. As baterias irão aquecer naturalmente durante a carga e descarga, mas você deve fazer seu melhor para armazená-las em temperatura ambiente quando não as estiver utilizando. Fazer isto irá ajudar a prolongar suas vidas.

Enquanto as baterias de lítio geralmente podem fornecer boa capacidade a temperaturas mais altas em comparação a outros tipos de baterias recarregáveis, o estado de carga pode ter um grande efeito na redução de sua capacidade. Realizar ciclos de carga e descarga completos em temperaturas elevadas pode rapidamente destruir a célula em apenas alguns ciclos. Conduzir apenas 50% de descarga antes de recarregar pode aumentar bastante o número de ciclos que a bateria pode realizar em altas temperaturas.

## Capítulo 15: Descartando baterias de lítio antigas

Quando baterias de lítio se esgotam e terminam seu tempo de vida útil, elas geralmente não devem ser jogadas fora como lixo caseiro normal. Leis que tratam do descarte de baterias de lítio variam no mundo, e até mesmo entre estados nos EUA. Em muitos lugares, as baterias de lítio são consideradas resíduos perigosos.



Em alguns lugares é possível descartar pequenas quantidades de baterias de lítio nos lixos municipais normais. Em outros, qualquer quantidade de bateria de lítio deve ser descartada separadamente, ou enviada a centros de reciclagem. E ainda, outros lugares não possuem quaisquer regras sobre o descarte destas baterias.

Em algumas áreas, baterias de lítio são coletadas para o descarte por incineração sob condições controladas. Isto previne casos potencialmente perigosos de aterros se encherem com células de lítio e entrarem em combustão, mas é um infeliz desperdício de um recurso tão valioso.

Mesmo se sua área permitir o descarte de baterias de lítio, reciclagem é uma opção muito mais sustentável. O lítio é um recurso limitado. Sua mineração é suja e cara. Ao reciclar baterias de lítio antigas, você está ajudando a salvar este recurso e prevenindo danos ambientais causados por sua mineração.

A maioria das áreas possuem áreas de reciclagem gratuitas. Estas são geralmente encontradas em escolas, universidades, shoppings, correios e outros espaços públicos. Não custa nada, e beneficia a todos. Se você não sabe onde reciclar as baterias de lítio em sua área, contate a empresa de lixo de sua cidade.

Se você está enviando as baterias para a reciclagem ou apenas jogando-as fora em seu lixo caseiro, sempre prepare as células primeiro. Células de baterias de lítio devem ser descarregadas completamente abaixo de sua voltagem mínima. Os terminais da célula também devem estar embalados em plástico ou cobertos com fita para prevenir um curto circuito.

## Capítulo 16: Exemplos de projetos de construção de baterias

Existe uma infinidade de projetos por aí que podem utilizar baterias de lítio caseiras. Para ajudar a reforçar alguns dos conceitos que aprendemos neste livro, e preparar você para seu próprio projeto, eu vou revisar alguns exemplos de baterias para projetos comuns.

Uma observação: estas serão revisões muito amplas. Não entrarei nos detalhes que são únicos para a construção de cada projeto. Cada projeto pode ser um livro em si. Eu vou focar apenas

na construção da bateria e manter a revisão a um nível bastante superficial. Se você quer mergulhar mais fundo nestes tipos de projetos, então você deve pesquisar mais especificamente sobre todo o projeto e a seleção de peças.

Ok, agora vamos começar.

## Bateria reserva de 5V e carregador de dispositivos USB

Existem milhares de baterias reserva diferentes por aí. Algumas inclusive estão disponíveis por um preço menor do que custaria para construir uma você mesmo. Mas apenas por diversão, vamos ver como podemos fazer uma nós mesmos.

Primeiro eu vou escolher um tipo de célula. Eu poderia fazer um carregador muito pequeno com uma única célula 18650. Este é o formato de célula utilizada nos carregadores de baterias de celulares em “formato de batom”. Mas vamos fazer algo com um pouco mais de capacidade. Eu vou escolher uma célula de íon de lítio em formato de bolsa. Em uma busca rápida, aparece uma célula em forma de bolsa de 4 Ah no AliExpress por \$7. Ela até vem com os fios já conectados às abas, perfeito.

Minha célula de bateria possui nominal de 3.7 V, mas eu preciso fornecer uma constante de 5 V para a porta USB para carregar dispositivos USB como um celular. Isto significa que eu preciso de um pequeno conversor de impulso DC-DC de 5 V. Em outra rápida busca no AliExpress eu encontrei um pequeno conversor de impulso DC-DC com uma descarga de 1 A. Ele até vem com a porta USB já acoplada. Ele possui um corte de voltagem (LVC) baixo de 2.5 V, o que convenientemente também é a voltagem mínima permitida para minha célula de íon de lítio. Eu provavelmente vou querer testar para ver se o LVC funciona, mas parece bom por enquanto!

Por último, eu preciso de uma placa de carregamento. De volta ao AliExpress, eu encontrei um módulo de carga TP por \$0.37. No entanto, só o frete custa \$0.35. Ai.

O módulo TP4056 possui uma porta micro-USB para aceitar uma entrada de 5 V e irá carregar minha célula de íon de lítio para até 4.2 V. Exatamente o que eu preciso!

Como estou utilizando uma célula em forma de bolsa, eu preciso de algum tipo de capa para protegê-la. Uma última pesquisa por “invólucros de plástico para eletrônicos” traz um monte de opções. Eu vou escolher uma que caiba em minha célula e ainda deixe um pouco de espaço para as duas placas eletrônicas.

Agora que eu encontrei todas as minhas peças, apenas preciso juntar tudo. Eu vou começar a soldar os fios de minha célula em forma de bolsa em minha placa de carregamento TP4056. O fio vermelho do terminal positivo da célula é soldado à aba B+ da placa de carregamento, e o fio preto do terminal negativo é soldado à placa B-.

Agora eu devo testar o circuito de carregamento. Eu vou ligar um cabo micro-USB à placa de carregamento TP4056, conectar a outra extremidade a qualquer carregador de celular de 5 V ou até mesmo meu laptop, e então esperar. E ver. Eu não vejo chamas, então é um bom sinal. Algumas horas depois e a luz de LED vermelha se torna verde. Meu voltímetro me mostra que a célula está a 4.20 V. Excelente, por enquanto está funcionando.

Agora eu vou adicionar a placa de descarregamento, que é meu conversor DC-DC. Eu simplesmente soldo o fio vermelho positivo da bateria na aba “In+” na placa de descarregamento, seguido pelo fio preto negativo da bateria na aba “In-” na placa de descarregamento. Eu também posso apenas adicionar um fio das abas na placa de carregamento TP4056, já que os conectei no passo anterior.

Um rápido teste com um multímetro me mostra que a porta USB está produzindo 5 V, o que significa que está funcionando. Agora para o teste final. Eu vou ligar o cabo USB de meu celular na porta USB de meu Franken-carregador e a outra extremidade em meu celular. Meu celular acende e começa a carregar. **ESTÁ VIVO!**

Agora eu posso vedar tudo. Eu provavelmente deveria embalar a célula em forma de bolsa em um pequeno pedaço de espuma para protegê-la do invólucro rígido caso eu a derrube, e então eu posso apenas colá-la com cola quente. As duas placas de circuito podem ficar em cima da célula ou no final da caixa de plástico, e eu vou cortar um pouco de espaço para suas portas USB também. Eu provavelmente deveria fazer um buraco para que eu possa ver o LED de carregamento na placa de carregamento também.

E é isso. Pronto. Finito. Terminado. Gamur.

## Bateria RC lipo de 12s para skate elétrico

Skates elétricos podem funcionar em diversas voltagens. Eles geralmente utilizam motores e controles de avião RC, então vamos trabalhar com isto. E como já estamos utilizando partes RC, melhor escolher uma bateria RC lipo para simplicidade. Isto vai facilitar a construção da bateria sem ferramentas especiais como um soldador por pontos. No entanto, lembre-se que estas baterias podem ser perigosas, então vamos tomar as precauções devidas para termos certeza de que estamos construindo uma bateria segura.

12s é uma configuração comum para um skate elétrico. A 3.7 V por célula, isto resulta em uma voltagem nominal de 44.4 V.

Vamos construir uma bateria relativamente leve, porque não vamos tão longe em nosso skate. Digamos que queremos 8 quilômetros (5 milhas) de distância. Ao fazer um pouco de pesquisa, eu vi que 12.5 Wh/km (20 Wh/milha) é uma eficiência comum para os skates elétricos. Isto significa que precisaremos de 100 Wh para viajar 5 milhas. A 44.4 V, isto significa que precisamos de uma bateria de 2.25 Ah.

A capacidade exigida pela bateria em ampere-hora =  $100 \text{ Wh} \div 44.4 \text{ V} = 2.25 \text{ Ah}$

Vendo a loja online de RC HobbyKing, eu posso encontrar baterias RC lipo de 6s com 2,200 mAh (2.2 Ah). Isto é perto o suficiente das minhas necessidades. Se eu quisesse maior segurança, eu poderia sempre escolher um jogo de bateria com uma capacidade um pouco mais alta.

Eu vou precisar de duas baterias RC lipo de 6s para fazer uma bateria 12s. As baterias 6s já vêm com conectores de projétil, então eu vou pegar mais alguns desses junto com fios de silicone de 12 awg para minhas conexões.

Eu vou juntar as duas baterias RC lipo com fita e fazer um pequeno fio macho de duas extremidades com meus conectores de projétil ao soldar um conector de projétil macho em cada extremidade do fio curto. Então eu irei utilizá-lo para conectar o terminal positivo da primeira bateria 6s ao terminal negativo da segunda bateria 6s. Agora eu tenho uma bateria 12s. Tecnicamente, é um jogo de bateria 12s1p, embora ele também possa ser descrito como um jogo de 2s1p de baterias RC 6s. Mesma coisa.

Os dois fios de descarga do jogo de RC lipo que eu não utilizei irão se tornar os principais fios de descarga para minha bateria 12s. Estes serão conectados ao controle do meu skate elétrico.

Para carregar, eu vou precisar de um carregador equilibrador. Um iMAX B6 é um carregador equilibrador barato que pode aguentar até baterias 6s. Eu poderia carregar cada bateria de uma vez, mas isto seria irritante. Em vez disso, vou comprar uma “placa de equilíbrio” de RC lipo, o que me permite carregar as duas baterias de uma vez. Eu apenas desconecto as duas baterias 6s do controle de velocidade do meu skate elétrico e conecto os dois fios de descarga e seus fios de equilíbrio na placa de equilíbrio. Então, eu conecto aquela placa de equilíbrio no carregador equilibrador iMAX B6, e ele irá carregar minhas duas baterias de uma vez. Uma vez que terminar de carregar, eu posso recolocar minhas baterias em série (com cuidado para eu não cometer um erro de fiação) e então conectá-las de volta ao controle de meu skate elétrico.

Uma observação rápida: eu nunca devo deixar estas baterias sem supervisão. Se eu sair de minha casa ou escritório antes que elas terminem de carregar, eu vou desconectá-las e esperar até que eu volte para terminar de carregar. Segurança em primeiro lugar.

Um último passo de segurança. É extremamente importante que eu não descarregue demais minhas baterias RC lipo. Fazer isto pode ser perigoso e danificar as baterias. Para prevenir que isto aconteça, eu vou comprar dois alarmes de baixa voltagem de RC lipo. Quando eu andar em meu skate elétrico, eu vou conectar um em cada conector de equilíbrio de minhas baterias RC lipo. Cada um possui uma pequena tela que me informa a voltagem das células, e eu posso configurar a voltagem para que o alarme soe e eu saiba quando alcancei meu corte de voltagem.

Tecnicamente, eu posso deixar ela cair para cerca de 3.0 V, mas isto seria perigoso. Não há razão para correr este risco. Eu vou configurar meu corte para 3.3 V para ter certeza. Agora, quando eu andar em meu skate elétrico e ouvir o alarme, eu sei que é hora de parar de andar.

Eu também posso utilizá-lo como um simples “ aferidor de combustível ” ao checar a voltagem das minhas baterias para saber quanto falta para que estejam vazias.

E é isso. Eu construí uma simples bateria RC lipo de 12s e tomei alguns passos extras para fazê-la o mais segura possível. E uma coisa a ser observada: eu provavelmente não terei os 2.2 Ah completos de minhas baterias, já que não as estou descarregando para um estado de carga de 0% (já que seria perigoso). Então pode ser uma boa ideia começar com baterias que possuem uma capacidade um pouco mais alta do que eu acho que preciso para que eu ainda possa percorrer a mesma distância sem descarregar minhas baterias.

## Bateria triangular para bicicleta elétrica de 10s (36 V)

A maioria das bicicletas elétricas utilizam baterias no alcance de 24 – 48 V. Eu vou construir uma bateria de 36 V e vou tentar chegar a uma capacidade de 10 Ah, já que é comum na indústria de ebikes.

Eu quero colocar minha bateria em uma bolsa triangular no centro da moldura de minha bicicleta, mas quero utilizar uma bolsa triangular pequena, que não ocupe muito espaço. Então vou construir uma bateria em forma de triângulo para utilizar o espaço de forma mais eficiente. Eu poderia construir uma bateria retangular, que seria muito mais simples, mas daí eu precisaria de uma bolsa triangular maior e desperdiçaria muito espaço nos cantos da bolsa.

Eu vou utilizar células de bateria de íon de lítio 18650. Eu sei que possuo um controle 15 A, então preciso que minha bateria tenha uma corrente de descarga contínua de ao menos 15 A. Para alcançar as exigências de corrente e capacidade, eu vou escolher a célula NCR18650GA feita pela Sayo/Panasonic. Ela possui uma capacidade de 3,500 mAh e uma corrente de descarta contínua máxima de 10 A. Eu posso utilizar três células em paralelo para fazer 10.5 ah, e três células em paralelo também me darão até 30 A de corrente de descarta contínua. Isto é o dobro do que eu preciso, o que é ótimo. Isto significa que estarei utilizando as células bem dentro de seus limites, o que é bastante saudável.

Isto resulta em uma bateria 10s3p, o que significa que vou utilizar 30 células. Hora de abrir meu Photoshop pirata favorito e desenhar um layout de bateria.

Eu também preciso de um BMS. Desta vez irei à minha fonte de BMS favorita no AliExpress, que é um vendedor conhecido como “Greentime”. Eles possuem um BMS de íon de lítio 10s avaliado para uma descarga contínua de 30 A. Novamente, isto é o dobro da corrente de descarga de 15 A que estarei utilizando em minha ebike, o que significa que terei um fator de segurança de 2 para o BMS. Excelente.

Agora posso construir minha bateria. Eu utilizarei um soldados por pontos a nível de hobby e juntarei as células utilizando tiras de níquel puro de 0.15mm de espessura e 8mm de largura. Já que cada uma destas peças de níquel pode carregar cerca de 5 A cada, eu vou precisar de três peças de níquel para cada conexão em série para suportar minha carga de 15 A. Em alguns lugares eu posso soldar um pedaço de níquel entre cada uma das três células em grupos paralelos adjacentes (como a conexão em série +2 a -3, que está no lado traseiro de minha bateria). No entanto, existem alguns lugares onde um único ponto conecta a dois grupos paralelos (como a conexão em série +1 a -2). Nestes lugares, eu vou precisar utilizar três camadas de níquel.

Para manter esta bateria pequena, eu vou utilizar cola quente para juntas as células em vez de conectores de células que se encaixam. Vou começar a colar as duas primeiras fileiras de 6 células. Então vou soldar um único pedaço de níquel através dos terminais negativos das três células no primeiro grupo paralelo do lado 1. Este será meu terminal negativo para a bateria.

Então vou virar a bateria para o lado 2 e soldar um longo pedaço de níquel através dos terminais positivos daquelas mesmas três células do primeiro grupo paralelo E dos terminais negativos das três células no segundo grupo paralelo. Aquele único pedaço de níquel cobrindo todas as seis células fez uma conexão paralela no primeiro grupo paralelo, uma conexão paralela no segundo grupo paralelo, e uma conexão em série entre os grupos 1 e 2 porque existe apenas um único ponto de conexão. Então vou adicionar mais duas tiras de níquel: a primeira será longa o suficiente para cobrir as quatro células interiores (duas em cada grupo) e o segundo irá cobrir apenas as células do meio (uma em cada grupo). Isto me dá três tiras de níquel, o que é níquel suficiente em cada ponto da conexão em série para lidar com a quantidade máxima de corrente que a bateria terá baseado em minha carga de 15 A.

Agora vou virar a bateria de volta para o lado 1. Aqui eu vou fazer as conexões em série entre os terminais positivos do grupo 2 e os terminais negativos do grupo 3. A ordem não importa. Eu vou fazer as conexões em série primeiro já que elas são mais importantes e eu gostaria de ter



um níquel nestas conexões soldado diretamente aos terminais da célula. Aqui eu posso soldar um único pedaço de níquel entre cada um dos três pares de células. Isto significa que não vou precisar fazer nenhum daquele negócio de camadas em pirâmide. Bonito e simples. Após fazer três conexões em série, eu posso voltar e adicionar uma conexão paralela aos terminais positivos do grupo 2 e aos terminais negativos do grupo 3.

Eu vou virar a bateria de volta ao lado 2 e continuar as conexões da mesma forma. Para a próxima conexão entre os terminais positivos do grupo 3 e os terminais negativos do grupo 4, eu vou precisar fazer as camadas em pirâmide novamente, já que tenho apenas um ponto de conexão. Então eu vou colar mais uma fileira por vez à medida em que continuo a fazer conexões até o décimo grupo paralelo.

Por último, eu preciso adicionar meu BMS. Eu vou soldar os fios negativos de descarga e carga à placa BMS e então às tiras de níquel no terminal negativo de minha bateria (o terminal negativo do grupo paralelo 1). Eu vou soldar os fios no níquel entre as células para ter certeza de que não vou aquecer demais estas células. Eu também poderia ter soldado o fio ao níquel primeiro, e então soldado o níquel por pontos, mas isto não deixa muito espaço para soldas por pontos se seu fio é muito grosso. Então eu vou soldar meus fios positivos de descarga e carga às tiras de níquel nos terminais positivos do décimo grupo paralelo. Por último, vou soldar os 10 finos fios de equilíbrio.

Para terminar minha bateria, vou embrulhá-la em uma bateria de espuma de EVA de 2mm para fornecer uma pequena absorção de choque, e então utilizar algumas folhas de plástico termo retrátil de grande diâmetro para vedar a bateria. O formato de triângulo faz com que fique um pouco estranho, mas brincar com vários tamanhos de plástico termo retrátil vai permitir que eu vede tudo em alguns ângulos diferentes.

Por último, eu preciso de um carregador. O mesmo vendedor no AliExpress com o qual comprei meu BMS, Greentime, também vende carregadores. Eu vou selecionar um carregador 42.2 V, já que é a voltagem apropriada para minha bateria de íon de lítio de 10s. Um carregador de casco de alumínio de 2 A vai servir. Isto deve dar cerca de 5-6 horas até uma carga completa. Tempo suficiente para minhas necessidades. Se eu quisesse carregar mais rápido, no entanto, eu posso escolher algo de até 4.5 A, já que minhas células estão classificadas para cerca de 1.5 A cada para a corrente de carga. Eu não quero forçar-las demais, então um total de 2 A é suficiente.

E é isso! Isto é tudo que eu preciso para construir uma bateria triangular para uma bicicleta elétrica.

## Célula de bateria prismática para carro elétrico de 38s (120 V)

Agora está na hora de um projeto grande. Vamos construir uma bateria para um carro elétrico!

Para células, acho que vou escolher um formato prismático. Desta forma, eu não preciso me preocupar muito com uma capa protetora – muitas células prismáticas grandes para carros elétricos já vêm em caixas rígidas de plástico.

Existe uma variedade de boas opções na química da LiFePO<sub>4</sub>, e ambas são mais seguras e duram mais tempo, então vou escolher estas.

Agora eu preciso calcular minhas necessidades. Digamos que eu sei que estarei utilizando um motor DC de 120 V e um controle de velocidade eletrônico de 200 A. Isto significa que minha voltagem é decidida por mim, e eu preciso de aproximadamente 120 volts para alimentar meu controle e motor. Para células LiFePO<sub>4</sub> com um nominal de 3.2 V por célula, isto significa que vou precisar de cerca de 38 células.

Mas de quanta capacidade por célula eu vou precisar? Bem, digamos que eu quero viajar cerca de 55 milhas (88 km) em uma só carga. E eu fiz minha pesquisa, então eu sei que comparado às outras configurações parecidas, meu sistema deve ter uma eficiência de cerca de 200 Wh/mi. Agora eu posso calcular minhas necessidades de capacidade, primeiro em watt-hora.

Capacidade exigida da bateria em watt-hora =  $200 \text{ Wh/mi} \times 55 \text{ milhas} = 11,000 \text{ wh}$

Então eu preciso de uma bateria com uma capacidade de 11,000 Wh. Já que eu sei a voltagem que estarei usando, eu agora posso calcular o Ah que preciso para cada célula.

Capacidade exigida da bateria em ampere-hora =  $110,000 \text{ Wh} \div 120 \text{ V} = 91.7 \text{ Ah}$

Isto significa que eu preciso escolher células de bateria que possuem ao menos 91.7 Ah. Procurando, eu encontrei várias fontes para células prismáticas LiFePO4 de 100 Ah. Eu compro 38 e já estou pronto para começar. Eu só preciso de um BMS. Eu procuro novamente e encontro um BMS 38s que é especificamente feito para células LiFePO4 e que podem suportar até 200 A de corrente. Agora estou pronto para começar a planejar meu layout.

Minhas células de baterias possuem 2.5 polegadas (6 cm) de largura, o que significa que se eu alinhar todas as minhas 38 células, minha bateria teria uma largura de 8 pés (240 cm)! Isto não vai caber na minha mala. Em vez disso, eu farei três fileiras de células, que terão um tamanho de cerca de 2.5 pés × 1.5 pés (76cm × 42cm). Assim está melhor.

Minhas células prismáticas possuem terminais de parafusos bastante convenientes para conexões. Eu decidi que vou utilizar uma barra de suporte de cobre para montar minha bateria. Eu posso ou comprar estas barras online ou apenas comprar uma barra de cobre e fazer os furos eu mesmo. Eu quero ver uma tabela de barras de suporte para ter certeza que minha barra (e tipo de cobre) é suficiente para carregar a corrente máxima de 200 A que meu controle irá absorver.

Como estou utilizando células de baterias de 100 Ah, eu não preciso fazer nenhuma conexão paralela. Em vez disso, eu posso simplesmente conectar todas as minhas células em série.

Por último, eu vou precisar conectar meu BMS. Ele conecta assim como em meu exemplo da bateria de bicicleta elétrica acima, mas porque eu estou utilizando barras de cobre, eu posso simplesmente adicionar um anel aos fios e não preciso soldar nada.

Para um carregador, eu preciso de cerca de 140 V para carregar minhas células LiFePO4 completamente. Infelizmente, um carregador deste tamanho não será barato, mas uma companhia chamada Zivan me fornece um carregador de 140 V e 18 A que deve carregar minha bateria em 7 horas.

Carregadores LiFePO4 são muito facilmente encontrados para incrementos de quatro células em alcances de voltagem menores, como 24 V, 36 V e 48 V (8s, 12s e 16s). Um truque legal para economizar dinheiro com um carregador LiFePO4 de alta voltagem é utilizar um múltiplo de quatro células, como 36 células, e então você pode apenas utilizar carregadores LiFePO4 de 36 V que se conectem às suas baterias em três subgrupos. Dá um pouco mais de trabalho, já que você vai precisar utilizar vários BMSs para fazer sub-baterias, mas estes carregadores de menor voltagem são muito mais fáceis de encontrar.

## Bateria de armazenamento de energia de casa 18650 de 14s (52 V)

Este tipo de bateria é mais conhecido como uma powerwall caseira, e é perfeito para suplementar sua casa que possui um projeto de geração de energia ou para construir um sistema autônomo. Se você possui painéis solares, uma turbina eólica ou qualquer outra forma de geração de energia, uma powerwall caseira pode armazenar esta energia para ser utilizada em um momento mais conveniente, ou vendê-la de volta durante uma época de maior demanda de energia. Algumas pessoas até utilizam armazenamento de energia da casa para “comprar” eletricidade à noite quando é barato, e então utilizam esta eletricidade direto de suas baterias durante o dia, quando custa mais.

Existe uma grande comunidade powerwall caseira online em diversos sites e fóruns. A maioria dos construtores utilizam células 18650 resgatadas, então é isto o que faremos neste exemplo.

Eu vou assumir que quero utilizar um inversor de 48 V para meu uso de energia, o que significa que eu preciso de uma bateria de íon de lítio 13s ou 14s. A melhor opção é 14s, já que o corte de baixa voltagem de cerca de 42 V é mais compatível com os inversores de 48 V comerciais.

Eu posso calcular minhas necessidades da bateria ao determinar quanta energia eu quero utilizar por dia. Digamos que meu objetivo é armazenar pelo menos 5,000 watt-hora. Para uma bateria de íon de lítio de 52 V, isto significa que eu vou precisar de cerca de 96 Ah. Vamos arredondar para 100 Ah.

Capacidade exigida da bateria em ampere-hora =  $5,000 \text{ Wh} \div 52 \text{ V} = 96.2 \text{ Ah}$

Eu disse que quero utilizar células resgatadas. Assumindo que eu posso encontrar uma pilha de células 18650 de aproximadamente 2 Ah, isto significa que eu preciso de cerca de 50 células por grupo paralelo para alcançar meu objetivo de 100 Ah. Note que tudo é “cerca de”, “aproximadamente”. Assim é a vida quando você está utilizando células resgatadas misteriosas.

Ok, hora de ir buscar no lixo. Ou mais provavelmente, hora de visitar o centro de reciclagem de baterias. Após comprar cerca de 70kg de baterias recicladas, eu posso abrir todas e desmontar as células de baterias. Agora eu provavelmente tenho ao menos mil células 18650. Eu posso utilizar um testador de 4 células 18650, ou ainda melhor, um batalhão destes testadores, para ver a capacidade de todas estas células. Isto vai demorar algumas semanas, dependendo de quantas células eu posso testar por vez.

Eu acabei com 700 células que estão próximas em capacidade e um pouco acima de 2 Ah. Algumas podem ser 2,050 mAh, algumas podem ser 2,110 mAh, mas são todas bem próximas. Geralmente queremos todas as células em um grupo paralelo para terem exatamente a mesma capacidade, mas vamos aceitar o que podemos ter quanto trabalhando com células resgatadas.

Eu vou preparar as células ao lixar seus terminais para remover qualquer resíduo de níquel soldado que tentou se segurar.

Agora vou dividi-las em grupos de 50 e tentar mantê-las o mais perto possível da mesma capacidade. Então vou construir módulos paralelos de 50 células utilizando conectores em bloco encaixáveis.

Idealmente, estas 50 células em cada módulo seriam soldadas por ponto. No entanto, a comunidade powerwall caseira geralmente soldam estes, então é o que eu vou fazer para demonstrar este método. Eles também geralmente utilizam fusíveis a nível de célula, então vou fazer isto também.

Eu cortei uma pilha de pernas de resistores de  $\frac{1}{4} \text{ W}$  para utilizar como os fusíveis de células, e então os soldei aos terminais da célula utilizando uma soldagem com ponta de ferro grossa

para segurar no calor. Eu posso ter que usar um pouco de fluxo também, dependendo dos terminais das células. Eu toco a ponta do ferro de soldagem na extremidade de cada célula pelo menor tempo possível para que eu não transfira muito calor para a célula.

As outras extremidades dos fusíveis estão soldadas a uma ou mais barras de suporte de cobre. Estas formarão os terminais positivos e negativos para todo o módulo.

Uma vez que meus grupos paralelos foram soldados, eu vou conectá-los em série ao conectar cada uma das barras ao próximo grupo paralelo, até ter construído uma bateria 14s50p. Um fio de cobre com conectores de anéis em parafusos passando pelas barras de suporte seria uma boa forma de conectá-las em série.

Por último, vou precisar adicionar um conector de equilíbrio com um fio de equilíbrio que conecta ao terminal positivo de todos os 14 grupos paralelos. A maioria das pessoas da powerwall caseira não utilizam um BMS, e sim um carregador equilibrador. Como um carregador equilibrador 14s não é barato, mas é o que eu preciso para que esta bateria mantenha todas as células misteriosas felizes e funcionando pelo máximo de tempo possível.

Idealmente eu vou utilizar esta bateria a uma taxa C baixa; 0.5 C seria um bom limite máximo. Isto significa que cada célula não vai fornecer mais que 1 A, o que deve mantê-las felizes e saudáveis. A 52 V, uma corrente máxima de 50 A me daria cerca de 2,000 W de potência máxima contínua. Isto é suficiente para meu quarto apocalíptico autônomo. Além disso, eu não iria querer alimentar muitos dispositivos ao mesmo tempo de uma vez e arriscar atrair a atenção dos zumbis.

## Bateria FPV ou drone RC de 4s (14.8 V) 18650

Um ótimo uso para baterias de lítio caseira é para drones e aeronaves RC. Muitas destas aeronaves utilizam baterias RC lipo, mas podemos construir uma bateria 18650 ainda mais leve que proporcionará maior tempo de voo com menos peso. Para as pessoas na comunidade de voo em primeira pessoa (FPV), o tempo de voo é chave.

Digamos que eu tenho um avião RC FPV que opera em 4s (14.8 V). E digamos que eu geralmente utilizo uma bateria RC lipo de 8 Ah que pesa cerca de 415 gramas. Podemos construir algo melhor que isto!

Vamos começar com nossa exigência de corrente. Digamos que meu avião absorve um máximo de 30 A, mas geralmente viaja a cerca de 10 A. Se eu utilizar as mesmas células NCR18650GA do exemplo da bicicleta elétrica neste capítulo, eu poderia utilizar três células em série para conseguir uma corrente máxima contínua de 30 A. Este é o limite extremo das células e combina exatamente com o pico de corrente que nosso avião utiliza. Isto seria um pouco perto para conforto se esta é a corrente contínua de nosso avião, mas meu avião geralmente viaja a 10 A. Então minha bateria teria apenas explosões de 30 A quando o avião estiver decolando agressivamente. Isto está bom para mim e dentro dos limites das células da bateria.

Três células em paralelo me dariam 10.5 Ah, o que forneceria ainda mais tempo de voo do que minha bateria de 8 Ah antiga. Eu vou precisar de uma organização de 4s3p para um total de 12 células.

Eu vou apenas juntar as células com cola quente para economizar peso e espaço. E então vou soldá-las por pontos utilizando o mesmo método que utilizei no exemplo da bicicleta elétrica. No entanto, vai ser muito mais fácil desta vez, já que tenho fileiras retas de grupos paralelos.

Se estou utilizando uma tira de níquel que pode aguentar 5 A por tira, então eu vou precisar de seis pedaços para suportar a corrente máxima de 30 A que eu espero que minha bateria forneça. Já que eu tenho três células em cada grupo paralelo, eu vou utilizar duas camadas de níquel por conexão em série entre cada par de células. Isto me dará seis pedaços de tiras de níquel para cada conexão em série.

Eu não vou utilizar um BMS porque eu quero economizar em peso, então eu vou soldar meus fios de descarga diretamente ao primeiro e último grupo de células, e adicionar um conector de equilíbrio 4s. Isto significa que eu terei que utilizar um carregador equilibrador, como um iMAX B6, para carregar e equilibrar minha bateria com segurança.

Por último, vou utilizar um pedaço de plástico termo retrátil para cobrir toda a bateria para que os terminais expostos não levem a um curto circuito. Isto resulta em uma bateria com 2 Ah a

mais que minha RC lipo original, e que pesa 200g a menos. Esta economia de peso significa ainda mais tempo de voo. Hora de explorar os céus!



# Conclusão

Eu espero que você tenha achado este livro informativo e útil. Baterias de lítio provavelmente irão continuar alimentando dispositivos por décadas. Aprender a construir suas próprias baterias abre portas para um novo mundo de dispositivos customizados. Desde veículos a armazenamento de energia, a jogos e até roupas e acessórios, fazer suas próprias baterias de lítio customizadas permitem que você construa e crie em um novo nível.

Com isto em mente, é importante sempre ter segurança como prioridade ao trabalhar com baterias de lítio. Com o bom vem o ruim. Baterias de lítio levam a tecnologia para frente, mas também causaram mortes e desastres quando engenheiros e designers cortaram pedaços, ou ignoraram práticas de segurança padrão.

Como Ben Parker disse, “com grande poder vêm grandes responsabilidades”. Você recebeu o conhecimento, e agora você deve utilizá-lo com responsabilidade. Acidentes devido ao uso impróprio da bateria de lítio deixam uma marca permanente em toda a indústria. Por favor, ajude a ser uma boa força movendo a indústria para frente de forma segura e responsável.

# Referências

As informações neste livro vêm de uma combinação de conhecimento que ganhei durante os anos de experiência e pesquisas diligentes em literatura acadêmica e industrial. Eu espero que estas fontes sejam tão úteis para você quanto foram para mim.

DIY Lithium Batteries, How to Build your own Battery Packs mr Micah Toll

<https://www.youtube.com/channel/UCRMrgzsrPIWvY3PINKLKs-Q> ,  
<http://www.diybatteries.com/>

al, Qingsong Wang et. "Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery." Journal of Power Sources 208 (2012): 210-224.

al, Riza Kizilel et. "An alternative cooling system to enhance the safety of Li-ion battery packs." Journal of Power Sources 194.2 (2009): 1105-1112.

Buchmann, Isidor. BU-205: Types of Lithium-ion. 30 de novembro de 2016. 31 de janeiro de 2017 <[http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)>.

—. BU-410: Charging at High and Low Temperatures. 2 de abril de 2016. 22 de janeiro de 2017 <[http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_at\\_high\\_and\\_low\\_temperatures](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_at_high_and_low_temperatures)>.

Dahn, Jeff. "Why Do Li-ion Batteries Die and Can They Be Immortal?" WIN Seminar. Waterloo Institute for Nanotechnology, Waterloo. 30 de julho de 2013.

Golubkov, Andrey W. et al. "Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metaloxide and olivin-type cathodes." Royal Society of Chemistry 7 (2013).

Marom, Rotem, et al. "A review of advanced and practical lithium battery materials." Journal of Materials Chemistry 27 (2011).

Search for the Super Battery. Perf. David Pogue. Prod. Chris Schmidt. Public Broadcasting Service, 2017.

Svoboda, James A. Introduction to Electric Circuits. Vol. 9th Edition. New York: WileyPLUS, 2013. van Schalkwijk, Walter A and Bruno Scrosati. Advances in Lithium-Ion Batteries. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002.

Various Authors. 2007-2017. 2010-2017 <[www.EndlessSphere.com/forums](http://www.EndlessSphere.com/forums)>.

Wu, Yuping. Lithium-Ion Batteries: Fundamentals and Applications. Boca Raton: CRC Press, 2015. Yuan, Xianxia, Hansan Liu and Jiujun Zhang. Lithium-Ion Batteries: Advanced Materials and Technologies. Boca Raton: CRC Press, 2011.

## Índice

Células 18650, 15, 17, 25, 46, 56, 61, 91, 135, 136

Célula 21700, 14

Impressão 3D, 54, 55

Formas abstratas, 85, 87, 89 Acidentes, 55, 139

Placa de equilíbrio, 129

Conector de equilíbrio, 108, 121, 130, 136, 138

Fios de equilíbrio, 49, 53, 96, 103, 105, 106, 107, 121, 129, 132 forma da bateria, 81

BMS, 22, 48, 50, 51, 52, 53, 70, 79, 91, 96, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 131, 132, 133, 134, 136, 137

Carregamento em massa, 49, 118, 120, 121

Barras de suporte, 57, 80, 93, 95, 96, 112, 134, 136 Taxa C, 31, 32, 75, 76, 116, 137

Suportes de células, 54, 55, 57, 82, 93, 98, 112

Fusíveis a nível de célula, 65, 66

Carregador, 48, 49, 50, 51, 91, 103, 104, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 133, 134, 135, 136, 138

Controle, 69, 104, 129, 130, 133, 134

Ciclo de vida, 16, 18, 19, 23, 33, 36, 45, 79, 123

Células cilíndricas, 14, 15, 46, 47, 54, 55, 56, 58, 62, 64, 81, 86, 89, 91, 93, 96, 98, 100, 101, 113

Conversor DC-DC, 68

Curva de descarga, 67

Powerwall caseiro, 26, 28, 65, 66, 112, 135, 136

Bicicletas elétricas, 8, 22, 35, 69, 115, 130 carro elétrico, 8, 34, 133

Motores elétricos, 35, 71

Skate elétrico, 34, 108, 113, 128, 129, 130

Veículos elétricos, 8, 9, 14, 17, 19, 26, 29, 47, 102, 122

Eletrólito, 10, 12, 19, 20, 23, 45, 64, 123

Fator de segurança, 76, 77, 78

Fogo, 16, 21, 22, 37, 41, 55, 57, 59, 97, 112, 119, 122, 131 fluxo, 64, 65, 136

Espuma, 57, 108, 113, 128, 132 luvas, 42, 90, 99

Caixa rígida, 57, 113, 128 Células Headway, 54, 58

Plástico termo retrátil, 57, 113

Alta potência, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 52, 56, 59, 77, 99, 110, 115, 116

Corte de alta potência, 69

Cola quente, 55, 56

Lei da corrente de Kirchoff's, 100

LG 18650 HB2, 18

LiCoO<sub>2</sub>, 18

Células LiFePO<sub>4</sub>, 22, 23, 24, 34, 36, 40, 46, 52, 67, 69, 70, 77, 79, 118, 133, 134

Células prismáticas LiFePO<sub>4</sub>, 133

Células de íon de lítio, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 34, 36, 37, 38, 40, 52, 63, 69, 77, 79, 110, 118, 120, 123, 124

LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 17, 18

LiNiCoAlO<sub>2</sub>, 19 LiNiMnCoO<sub>2</sub>, 18

Polímero de lítio, 19, 20, 21

Baixa potência, 17, 34, 58, 61, 77, 98, 104 corte de baixa voltagem, 69, 70, 124, 127, 135 corrente máxima contínua, 31, 137

Erros, 45, 86, 95 modular, 82

Lei de ohm, 71

Superaquecimento, 31, 37, 63, 100, 119

Panasonic NCR18650B, 19

Panasonic/Sanyo NCR18650GA, 75

Conexões paralelas, 37, 100

Grupo paralelo, 27, 37, 48, 49, 50, 53, 65, 66, 85, 92, 97, 101, 104, 105, 106, 107, 108, 118, 121, 131, 132, 135, 136, 137 Capas de plástico, 57, 58, 112, 133 separador poroso, 10, 12, 20

Células em forma de bolsa, 12, 13, 47, 62, 63, 64, 112 Preço, 16, 25, 27, 52

Células prismáticas, 13, 47, 57, 58, 112 inchaço, 13

RC lipo, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 49, 52, 57, 77, 79, 95, 96, 128, 129, 130, 137, 138 retângulo, 85, 87

Reciclagem, 27, 126, 135

Pesquisa, 8, 9, 19, 129, 133, 142

Voltagem em descanso, 23 Tempo de execução, 78

Segurança, 7, 16, 18, 22, 23, 36, 37, 52, 54, 65, 69, 76, 77, 79, 90, 91, 93, 122, 130, 131, 139 Células resgatadas, 27, 28, 65, 66, 92, 112, 135, 136

Samsung ICR18650-26F, 17, 18 Samsung INR18650-25R, 19

Conexões em série, 34, 37, 38, 41, 42, 48, 80, 83, 84, 85, 89, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 110, 132

Curto circuito, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 57, 63, 65, 86, 90, 91, 99, 108, 112, 126 Painéis solares, 9, 28, 135

Solda, 42, 43, 53, 64, 65, 90, 94, 103, 104, 106, 128, 132, 134, 136, 137 Soldagem, 44, 52, 63, 64, 65, 66, 90, 94, 104, 105, 106, 128, 129, 136 Sony US18650VTC5, 17

Solda por pontos, 15, 58, 60, 63, 64, 88, 95, 101, 103, 104, 105, 132, 136 Contatos de baterias com molas, 58

Terminais com molas, 58

Terminais com abas, 13

Abas, 38, 47, 63, 64, 127

Escape térmico, 18, 23, 45, 46, 63, 64, 79, 91, 122

Terminais rosqueados, 13, 58 Placa de carregamento TP4056, 128 triângulo, 130, 132, 133

Ventilação, 46

Alarme de voltagem, 70

Queda de voltagem, 58, 67

Afundamento de voltagem, 23, 33, 36, 67, 70, 117

Turbina de vento, 135 Calibre de fio, 88

Fiação, 40, 43, 48, 57, 67, 96, 103, 104, 107, 129

Madeira, 57, 98