

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

CARLOS EDUARDO CHERATO

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MENSURAR
CAPACIDADE DE BATERIAS ÍON-LITIO MODELO 18650

Joinville
2023

CARLOS EDUARDO CHERATO

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MENSURAR
CAPACIDADE DE BATERIAS ÍON-LITIO MODELO 18650

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecatrônica no curso de Engenharia Mecatrônica, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Dr. Diego Santos Greff

Joinville
2023

Dedico este trabalho aos meus pais, Elói e Maria, e a minha irmã, Elen.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito à minha mãe, Maria e ao meu pai, Elói, por sempre estarem ao meu lado, me incentivando, apoiando, dando força nos momentos difíceis em todos meus sonhos. Agradeço a minha irmã Elen e ao meu cunhado, Eduardo, por todo seu cuidado e apoio durante o curso. Um agradecimento a todos os professores, em especial ao professor Dr. Diego Santos Greff, por toda paciência, atenção e apoio durante o curso e desenvolvimento deste trabalho. Por fim, gostaria de agradecer aos meus amigos pelo apoio.

Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista. ("Aldo Novak").

RESUMO

Com crescente demanda na utilização de baterias recarregáveis nos mais diversos equipamentos eletrônicos e bens de consumo, nota-se o crescimento de baterias falsas em toda parte, vendidas com capacidades mais altas do que sua capacidade real. Como sua etiqueta é o normalmente a única referência, torna-se realmente difícil distinguir entre uma bateria com valores corretos e falsos. Da mesma, é difícil ter certeza em relação estado de funcionamento útil. Considerando esse cenário, foi desenvolvido este estudo e protótipo com intuito de mensurar a capacidade real de baterias Íon-Lítio. Além desta função, como o sistema baseias na dissipação de energia, pode ser utilizado para análise da vida útil de baterias. Para execução deste trabalho foi utilizada a plataforma Arduino, transistor, resistências e células de bateria íon lítio no formato 18650. Através do método comparativo, foi realizado a análise os dados obtidos nos resultados dos testes com amostras de baterias.

Palavras-chave: Bateria. Arduino. Bateria 18650.

ABSTRACT

With the growing demand for rechargeable batteries in a wide range of electronic equipment and consumer goods, there is a growing number of counterfeit batteries being sold with higher capacities than their actual capacity. As the label is usually the only reference, it becomes really difficult to distinguish between a battery with correct values and a fake one. Likewise, it's difficult to be sure of their useful working condition. With this in mind, this study and prototype were developed to measure the real capacity of Li-ion batteries. In addition to this function, as the system is based on energy dissipation, it can be used to analyze the useful life of batteries. The Arduino platform, transistor, resistors and 18650 lithium-ion battery cells were used to carry out this work. Through the comparative method, an analysis was conducted on the data obtained from the test results with battery samples.

Keywords: Battery. Arduino. Battery 18650.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema eletroquímico de uma célula descarregando. | 14 |
| Figura 2 – Potência específica em função da energia específica. | 15 |
| Figura 3 – Capacidade de fabricação de baterias de maiores 15 fabricantes globais. | 18 |
| Figura 4 – Construção de baterias cilíndricas. | 21 |
| Figura 5 – Curva característica descarga | 23 |
| Figura 6 – Características de descarga da bateria — níveis de tensão | 24 |
| Figura 7 – Características de descarga de uma bateria descarregando sequencialmente de taxas de descarga altas para baixas | 25 |
| Figura 8 – Modos de descarga com variação da potência. | 26 |
| Figura 9 – Modos de descarga com mesmo tempo de descarregamento | 27 |
| Figura 10 – Modos de descarga | 28 |
| Figura 11 – Efeito da temperatura na capacidade da bateria | 29 |
| Figura 12 – Tensão de um dispositivo com tensão variável | 29 |
| Figura 13 – Efeito da descarga intermitente na capacidade da bateria | 30 |
| Figura 14 – Perfil de tensão típico durante a carga e descarga | 31 |
| Figura 15 – Circuito de proteção para aplicações de backup de memória. (a) Utilizando dois diodos. (B) Utilizando diodo e resistor. | 31 |
| Figura 16 – Diagrama do fluxo da metodologia seguida no projeto. | 33 |
| Figura 17 – Esquemático do circuito geral. | 34 |
| Figura 18 – Diagrama elétrico do projeto proposto. | 35 |
| Figura 19 – Células de bateria 18650. | 36 |
| Figura 20 – Arduino nano com microcontrolador ATmega328P | 37 |
| Figura 21 – Amplificador controlado por tensão. | 38 |
| Figura 22 – Transistor MOSFET modelo IRLZ24n | 38 |
| Figura 23 – Circuito divisor de tensão resistivo. | 39 |
| Figura 24 – Testes do protótipo montando na protoboard. | 42 |
| Figura 25 – Montagem do protótipo. | 43 |
| Figura 26 – Protótipo montado e funcionando. | 43 |
| Figura 27 – Fonte de tensão variável. | 44 |
| Figura 28 – Resultado do teste para amostra 01 através do monitor serial. | 46 |
| Figura 29 – Resultado do teste para cinco amostras com resistor 150 Ω | 47 |
| Figura 30 – Curva característica de descarga para bateria 18650. | 47 |
| Figura 31 – Resultado do teste para cinco amostras com resistor 10k Ω | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Avaliação experimental de uma célula NMC tipo 3,0Ah 18650. | 20 |
| Tabela 2 – Tamanhos comuns de baterias Li-Ion. | 22 |
| Tabela 3 – Informações da bateria 18650. | 36 |
| Tabela 4 – Lista de componentes. | 41 |
| Tabela 5 – Informações do fabricante da bateria 18650. | 45 |
| Tabela 6 – Resultados com resistência de descarga de 150 Ω | 49 |
| Tabela 7 – Resultados com resistência de descarga de 10k Ω | 49 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Objetivo | 11 |
| 1.1.1 | Objetivo Geral | 12 |
| 1.1.2 | Objetivos Específicos | 12 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 13 |
| 2.1 | O que é uma Bateria | 13 |
| 2.1.1 | Tipos de baterias | 15 |
| 2.1.2 | Definições | 16 |
| 2.2 | Células | 17 |
| 2.2.1 | Células de íon lítio | 17 |
| 2.2.2 | Descarga | 18 |
| 2.2.3 | Carregamento | 19 |
| 2.3 | Capacidade | 19 |
| 2.4 | Taxa C | 20 |
| 2.5 | Formatos e tamanhos de baterias cilíndricas | 21 |
| 2.6 | Fatores que afetam o desempenho de baterias | 22 |
| 2.6.1 | Tensão nominal | 22 |
| 2.6.2 | Corrente de descarga | 23 |
| 2.6.3 | Modo de descarga | 24 |
| 2.6.4 | Temperatura durante a descarga | 28 |
| 2.6.5 | Ciclo de trabalho | 29 |
| 2.6.6 | Tipo de descarga | 30 |
| 2.6.7 | Tensão de carregamento | 30 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 33 |
| 3.1 | Metodologia | 33 |
| 3.2 | Requisitos do projeto | 33 |
| 3.3 | Software e simulações | 34 |
| 3.4 | DEFINIÇÃO DE ARQUITETURA E COMPONENTES | 35 |
| 3.4.1 | Bateria Íon Lítio | 35 |
| 3.4.2 | Microcontrolador | 36 |
| 3.4.3 | Transistor | 37 |
| 3.4.4 | Mosfet IRLZ24n | 38 |
| 3.4.5 | Medição da Tensão | 39 |
| 3.4.6 | Resistor descarga | 40 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.5 | Lista de componentes | 40 |
| 4 | TESTES E RESULTADOS | 42 |
| 4.1 | protótipos | 42 |
| 4.2 | Teste de capacidade | 44 |
| 4.2.1 | Procedimento de Teste de Capacidade | 44 |
| 4.2.2 | Teste para baterias com resistor de descarga de 150 Ω | 45 |
| 4.2.3 | Teste para baterias com resistor 10k Ω | 48 |
| 4.3 | Análise dos parâmetros em relação aos resultados da capacidade . | 49 |
| 5 | CONCLUSÕES | 51 |
| | REFERÊNCIAS | 52 |
| | APÊNDICE A | 54 |

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por equipamentos eletrônicos portáteis tem levado a um aumento considerável no uso de baterias para alimentação. Por consequência, uma nova questão, até então pouco discutida na aquisição de produtos eletrônicos, é a capacidade da bateria. As baterias têm aumentado sua importância na vida de todos. Hoje, dependemos cada vez mais da utilização de equipamentos portáteis alimentados por baterias (MICHELINI, 2017).

Com o avanço tecnológico, os aparelhos eletrônicos estão se tornando cada vez menores, com aplicações mais funcionais e complexas. A indústria de baterias se diversificou muito nos últimos anos. Até o final da década de 90, as baterias eram encontradas principalmente em dispositivos eletrônicos, como computadores portáteis, telefones celulares, brinquedos, entre outros. Hoje, podemos encontrá-las em ferramentas como serras elétricas, furadeiras e em outros equipamentos que demandam altas quantidades de energia elétrica para seu funcionamento. Dessa forma, torna-se crucial ter uma bateria capaz de fornecer alta corrente por um longo período e, ao mesmo tempo, que seja leve. Atualmente, as palavras mais utilizadas nesse contexto são eficiência energética, geração e armazenamento de energia com custo baixo e eficiência alta. (CARVALHO; CARVALHO; ROMÃO, 2019).

A bateria mais econômica à base de lítio, em termos da relação de custo por energia, são aquelas que utilizam a célula cilíndrica 18650 (MICHELINI, 2017). Há muitos vendedores de baterias no mercado oferecendo baterias de lítio, afirmando que possuem características únicas com um valor extremamente baixo. Este contexto de inadequação conduziu ao surgimento de células de bateria no formato 18650, apresentando especificações incompatíveis com as tensões e correntes efetivamente encontradas na prática

Neste cenário, o presente trabalho envolve a realização de um estudo e desenvolvimento de um protótipo para verificar a verdadeira capacidade de um determinado tipo de célula de bateria. Para o desenvolvimento do protótipo, aplicou-se a teoria e realizou-se de experimentos testes utilizando microcontroladores e amostras das células de bateria

1.1 OBJETIVO

Para resolver a problemática da discrepância de valores reais de capacidade de carga para baterias

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo para análise de capacidade de armazenamento para bateria de íon-lítio em células 18650.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar levantamentos bibliográficos dos diferentes métodos utilizados na verificação da capacidade e integridade das baterias de íon-lítio;
- Projetar um dispositivo capaz de medir a quantidade de carga de baterias, utilizando Arduino e circuito com módulo medidor de corrente;
- Analisar os componentes essenciais para implementar um protótipo capaz de mensurar a capacidade de energia armazenada em células de bateria íon-lítio;
- Realizar experimentos comparativos entre diferentes células de baterias íon-lítio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o desenvolvimento do projeto proposto foi necessário analisar a teoria de construção e funcionamento da bateria de íon-lítio. No presente capítulo serão apresentados os conceitos básicos sobre baterias, aplicações, características de carga e descarga e fatores que afetam seu desempenho.

2.1 O QUE É UMA BATERIA

Por volta de 1750, as primeiras baterias surgiram na Europa, mas não eram muito portáteis. Em 1896, foi fabricada a primeira bateria com tamanho e dimensões padronizadas: a célula seca Columbia de zinco-carbono. À medida que a produção de baterias aumentou, o design da embalagem mudou para uma forma cilíndrica. Isso ocasionou ao desenvolvimento de células menores, levando à criação da popular célula AA, que entrou no mercado em 1907 (BENTO, 2022).

Em termos simples, a bateria pode ser considerada como um dispositivo capaz de converter energia química presente em seus materiais ativos, para energia elétrica por meio de uma reação eletroquímica de oxidação e redução. Os elétrons que sofrem oxidação são transferidos para materiais que sofrem redução por meio de um circuito elétrico (MICHELINI, 2017).

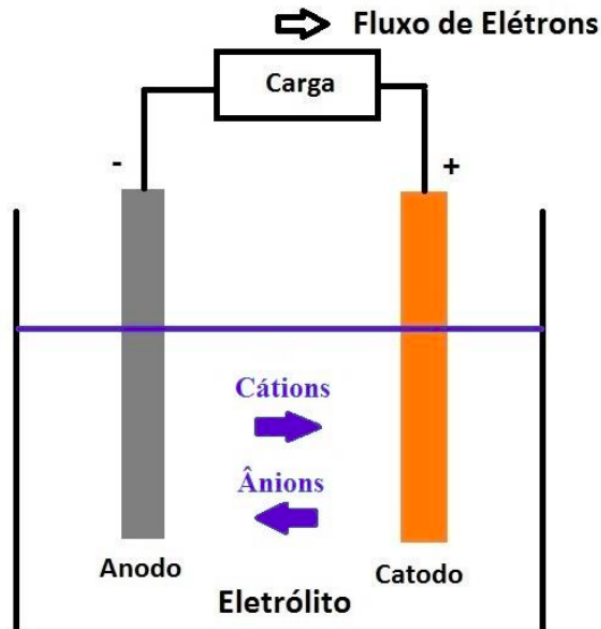
A "bateria" como é comumente conhecida, é na realidade uma ou mais células conectadas entre si. A célula é a unidade da eletroquímica básica. Uma célula é composta por ao menos três componentes principais, sendo o ânodo, cátodo e eletrólito (LINDEN; REDDY, 2001).

A principal função do ânodo, ou eletrodo negativo, é fornecer elétrons para o circuito externo. Geralmente seu material é um metal, oxidado durante a reação eletroquímica. O cátodo é um eletrodo de metal responsável pelo abandono das cargas negativas. É de onde a corrente convencionalmente percorre em um dispositivo elétrico, e as reações de redução ocorrem. Portanto é o eletrodo que ganha elétrons do circuito externo. O eletrólito é um tipo de solvente com elementos químicos que geram a condutividade iônica, é o responsável para existir a transferência de carga dos íons. Está presente entre o cátodo e ânodo, e para evitar auto-descarga das células, não pode ter propriedades condutoras de elétrons (MICHELINI, 2017).

As mais vantajosas escolhas de materiais de ânodo e cátodo são aquelas que serão mais leves e fornecerão alta-tensão e capacidade de célula. No entanto, essas combinações podem nem sempre ser práticas, devido à reação com outros componentes da célula, alto custo, polarização, e dentre outras deficiências (LINDEN; REDDY, 2001).

Para demonstrar o esquema eletroquímico de uma célula, a Figura 1 segue o modelo para descarga, onde o fluxo de elétrons tem o sentido do anodo para o catodo.

Figura 1 – Esquema eletroquímico de uma célula descarregando.



Fonte: MICHELINI (2017, p.16)

Durante o processo de recarga de uma célula recarregável, é invertido o fluxo da corrente, ocasionando oxidação no eletrodo positivo e redução no eletrodo negativo, tornando então o anodo como eletrodo positivo e o catodo é o negativo. (ATAIDE, 2018).

As baterias podem ser classificadas em diversas categorias, onde as mais utilizadas são primárias e secundárias. Neste trabalho, será referenciado a utilização de células secundárias.

As baterias ou células primárias, popularmente conhecidas como pilhas, não possuem capacidade de recarga após utilização. Sua reação eletroquímica é irreversível durante o processo de descarga, com seus compostos químicos permanentemente transformados em energia elétrica (ATAIDE, 2018). Algumas vantagens das baterias primárias são uma boa-vida útil, alta densidade de energia e facilidade de uso.

As baterias classificadas como secundárias são recarregáveis, comumente utilizadas em sistemas automotivos e aeronáuticos, equipamentos eletrônicos portáteis, veículos híbridos ou elétricos. Após sua descarga, pode voltar à sua condição original, passando a corrente na direção oposta à da corrente de descarga. São dispositivos de armazenamento de energia elétrica são conhecidos como "baterias de armazenamento" ou acumuladores. Além da capacidade de ser recarregada, possui como características a alta densidade de potência, alta taxa de descarga, curvas de descarga planas e bom

desempenho em baixa temperatura (LINDEN; REDDY, 2001).

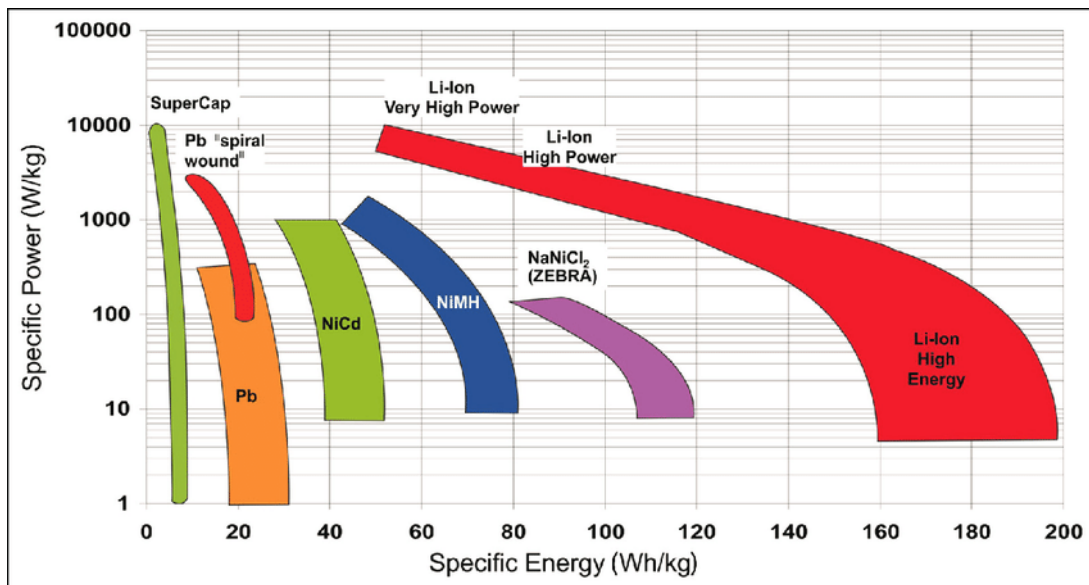
2.1.1 Tipos de baterias

As baterias são uma parte fundamental da vida moderna, fornecendo energia portátil para um grande leque aplicações, desde armazenamento de energia para relógios até veículos elétricos. Assim, a busca por desenvolvimento e evolução das tecnologias de armazenamento tem sido uma constante no sentido de introduzir melhorias.

Com sua construção possuindo diversos formatos, tamanhos e tecnologias, sua classificação podem ser relacionada ao tipo de aplicação em função dos materiais utilizados na composição. O tipo difere basicamente em sua constituição química, possuindo características próprias no que diz respeito aos métodos de carga, capacidades de descarga, densidade energética e manutenção da sua carga (POSSA; PASSOLD, 2006).

A Figura 2 demonstra a potência específica dos materiais em função da sua energia específica, onde se reflete nas possibilidades de construção de dispositivos com alta densidade de energia por massa.

Figura 2 – Potência específica em função da energia específica.



Fonte: FULTON et al.(2009)

Desta forma, segundo Bento (2022), os diferentes tipos de baterias existentes podem ser aplicados em sistemas que precisam de grande densidade energética num pequeno espaço de tempo, onde as mais indicadas são as baterias de íon lítio, e sistemas que demandam por longos períodos, onde são recomendados chumbo-ácido.

2.1.2 Definições

Para o melhor entendimento do trabalho, é necessário definir referências e termos específicos presentes nas baterias que determinam seus parâmetros, e são frequentemente utilizados na literatura para especificar as características dos sistemas de bateria. Os tópicos são fundamentados por Michelini, Liden e Reddy.

- Corrente elétrica: o movimento ordenado de cargas elétricas em um condutor metálico. Sua unidade de medida é expressa em Ampère (A) ou miliampères (mA);
- Ciclos de vida: número de ciclos de carga e descarga de uma bateria refere-se à quantidade de vezes que ela pode ser carregada e descarregada, sob condições definidas, sem que sua tensão atinja o valor mínimo da tensão nominal;
- Densidade de energia: este termo se refere à densidade de energia volumétrica (Wh/L), ou seja, a quantidade máxima de energia que pode ser armazenada por unidade de volume na bateria;
- Energia específica: a densidade de armazenamento de energia de uma bateria, expressa em Watt-hora por quilograma (Wh/kg), é a quantidade máxima que uma bateria pode armazenar por unidade de massa da mesma;
- Pacote (*Pack*) de baterias: os pacotes de baterias são compostos pela combinação de baterias individuais. Através da junção de várias células, é possível obter diferentes capacidades e tensões;
- Tensão de corte: este valor é a tensão mínima, especificada pelo fabricante, em que a bateria pode atingir enquanto está sendo descarregada, sem sofrer danos;
- Tensão nominal: é aquela que é aceita a típica durante a operação. Para uma bateria alcalina, tensão é de 1,5V;
- Taxa de auto-descarga: porcentagem de perda da energia acumulada na bateria, relacionada à capacidade nominal, a uma temperatura determinada;
- Efeito memória: quando a bateria é carregada ou descarregada parcialmente, ocasionando com que a próxima carga não ultrapasse a carga parcial anterior, afetando diretamente a redução da tensão da bateria e funcionamento dos dispositivos;
- Resistência interna: é a medida da oposição que a bateria apresenta ao fluxo de corrente elétrica durante a carga ou descarga. Ela é influenciada por diversos fatores, incluindo a composição química da bateria, sua temperatura e estado de carga;
- Potência elétrica: pode-se definir a potência elétrica, como a capacidade de cada consumidor produzir trabalho, em um determinado tempo, a partir da energia elétrica. A unidade para mensurar potência elétrica é o watt, representada pela letra W. Uma unidade de watt equivale à potência desenvolvida em um segundo

em uma carga, alimentada por uma tensão de 1V, com uma corrente de 1A circulando.

2.2 CÉLULAS

Conforme citado anteriormente, uma bateria consiste em uma ou mais células, onde célula é a unidade da eletroquímica básica, constituída por um ânodo, cátodo e eletrólito.

De acordo com Schneider (2009), a melhor combinação entre os materiais do ânodo e do cátodo é a mais leve, resulte em alta-tensão e capacidade energética para a célula. Entretanto, fisicamente, o ânodo e o cátodo permanecem eletronicamente isolados de modo a prevenir curtos-circuitos internos, rodeados pelo eletrólito.

A célula pode ser fabricada em diversos formatos e configurações. A célula cilíndrica permanece um dos formatos de embalagem para baterias primárias e secundárias mais utilizados. Isso acontece devido às vantagens e facilidades no seu processo de fabricação, além da excelente estabilidade mecânica desse projeto (BENTO, 2022).

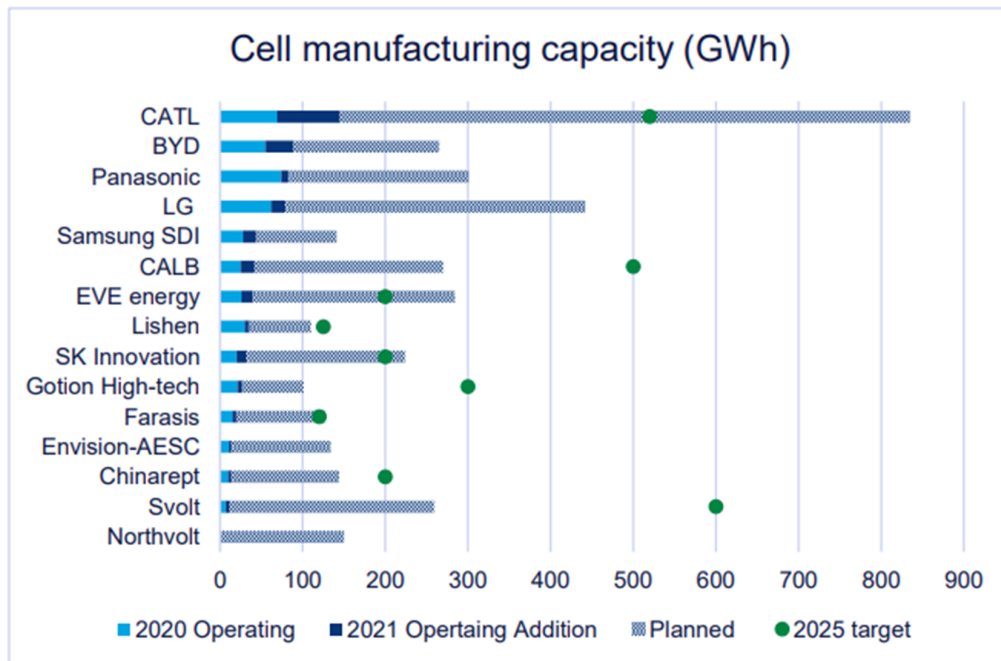
2.2.1 Células de íon lítio

A tecnologia das células de íon-lítio é a mais utilizada atualmente em dispositivos eletrônicos. De acordo com Mackenzie (2022), no ano de 2009, aproximadamente 38% de todas as baterias produzidas para venda eram feitas de íons de lítio. A capacidade global de baterias de íon-lítio pode aumentar mais de cinco vezes e alcançar 5.500 GWh entre 2021 e 2030. Ainda conforme o estudo realizado por Mackenzie (2022), essa alta se deve ao crescimento da demanda pelo produto.

Os preços elevados do petróleo estão incentivando mais mercados a adotar políticas de transporte com emissões zero, levando à expansão da demanda por baterias de íons de lítio, que se espera que ultrapasse 3.000 GWh até 2030 para utilização em mobilidade urbana (MACKENZIE, 2022).

A Figura 3 mostra os 15 principais fabricantes em função da capacidade atual e objetivos para o ano 2025.

Figura 3 – Capacidade de fabricação de baterias de maiores 15 fabricantes globais.



Fonte: FULTON et al. (2011)

Uma das grandes vantagens das células de bateria de íon-lítio, é ser uma bateria de baixa manutenção, diferente de outros componentes químicos. Pode-se citar outras vantagens, como a não presença do efeito memória e sua auto-descarga chegando ser metade quando comparada a sistemas como níquel. A tensão nominal da célula permite seu uso em diversos como celulares, câmeras portáteis, lanternas, etc (UNIVERSITY, 2022).

O Lítio é um metal que se destaca devido ao seu notável potencial eletroquímico. É o metal mais leve disponível, resultando em uma grande densidade de energia. Quando o utilizado no eletrodo negativo de baterias recarregáveis, sua densidade energética torna-se alta devido à capacidade de carga e tensão também serem altas (POSSA; PASSOLD, 2006).

As células de íon de lítio usam um cátodo (eletrodo positivo), um ânodo (eletrodo negativo) e um eletrólito como condutor, assim como bateria baseada em chumbo e níquel. O cátodo é um óxido de metal e o ânodo é carbono poroso. Na a descarga, os íons fluem do ânodo para o cátodo através do eletrólito e do separador. A direção da carga é invertida e os íons fluem do cátodo para o ânodo (UNIVERSITY, 2022).

2.2.2 Descarga

A operação de descarga das células ocorre quando a célula está conectada a uma carga externa, então seus elétrons fluem do ânodo, que é oxidado, para o cátodo através da carga, onde os elétrons são aceitos e o material sofre redução. De acordo

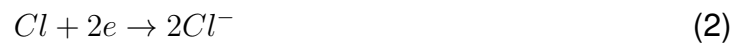
com Linden e Reddy (2001), o circuito é completo através do fluxo de ânions e cátions no eletrólito.

Portanto, para descrever a reação de descarga, Linden e Reddy (2001) definiram o ânodo como um metal, e o cloro como material para o cátodo:

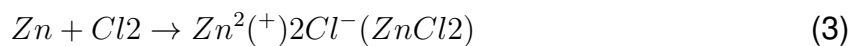
Eletrodo negativo: reação de oxidação (perda de elétrons)



Eletrodo positivo: reação catódica, redução e ganho de elétrons



Reação total de descarga:



2.2.3 Carregamento

Quando uma célula é recarregável ou de armazenamento, o fluxo de corrente é invertido e a oxidação ocorre no eletrodo positivo e a redução no eletrodo negativo. Como o ânodo é, por definição, o eletrodo onde ocorre a oxidação e o cátodo aquele onde ocorre a redução, o eletrodo positivo passou a ser o ânodo e o negativo o cátodo (LINDEN; REDDY, 2001).

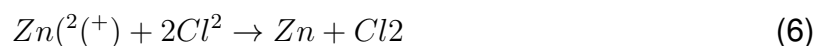
Como exemplo, Linden e Reddy (2001) utilizam uma célula Zn/Cl₂ para descrever a reação na carga: Eletrodo negativo: reação catódica, redução e ganho de elétrons.



Eletrodo positivo: reação de oxidação (perda de elétrons):



Reação total de descarga:



2.3 CAPACIDADE

Em termos simples, a capacidade de uma bateria de íon de lítio indica quanto tempo a bateria pode fornecer energia a um dispositivo em uma carga única. Assim, quanto maior a capacidade, mais energia a bateria pode armazenar e, portanto, um dispositivo pode funcionar por mais tempo antes de precisar ser recarregado.

A capacidade de uma bateria pode ser definida como a corrente que se pode fornecer em um determinado período. Normalmente, o período utilizado é o tempo de uma hora, e sua unidade, portanto, é expressa em ampères-hora, ou Ah.

Para exemplificar, uma bateria com capacidade de 1800mAh pode fornecer alimentação para uma carga com 180mA durante 10 horas (10 horas x 180mA = 1800mAh). Em outras palavras, para uma estimativa aproximada da autonomia, é suficiente dividir a capacidade nominal pela média de energia consumida pelo dispositivo. Então, pode se dizer que quanto maior é a energia que se pode retirar de uma bateria, maior será sua capacidade (MICHELINI, 2017).

2.4 TAXA C

A taxa C pode ser definida como a medida da velocidade de carregamento ou descarregamento de uma bateria em relação à sua capacidade máxima. É a uma relação a capacidade de bateria e seu processo de carga e descarga.

A letra C indica a capacidade de uma bateria. Quando uma bateria está sendo descarregada com uma corrente nominal de 1C, significa que a mesma está sendo descarregada com sua corrente nominal. Por exemplo, uma bateria com capacidade de 1800mAh e taxa C de 1C, significa uma corrente de 1800mA de descarga.

A Tabela 1, a capacidade de energia e carga durante experimento o carregamento e descarregamento para diferente taxas C.

Tabela 1 – Avaliação experimental de uma célula NMC tipo 3,0Ah 18650.

| Taxa C | Eficiência | Eficiência Carregamento | Eficiência Descarregamento |
|---------------|-------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 0.2 | 86% | 93% | 92% |
| 0.4 | 82% | 92% | 90% |
| 0.6 | 81% | 91% | 89% |
| 0.8 | 77% | 90% | 86% |
| 1.0 | 75% | 89% | 85% |
| 1.2 | 73% | 89% | 83% |

Fonte: Adaptado de (BOBANAC; BAŠIĆ; PANDŽIĆ, 2021)

Portanto, segundo Michilini 2017, quanto maior a taxa C de descarga, menor será o tempo de descarga da bateria. Conforme a Tabela 1, quanto meno a taxa C, maior sua eficiência.

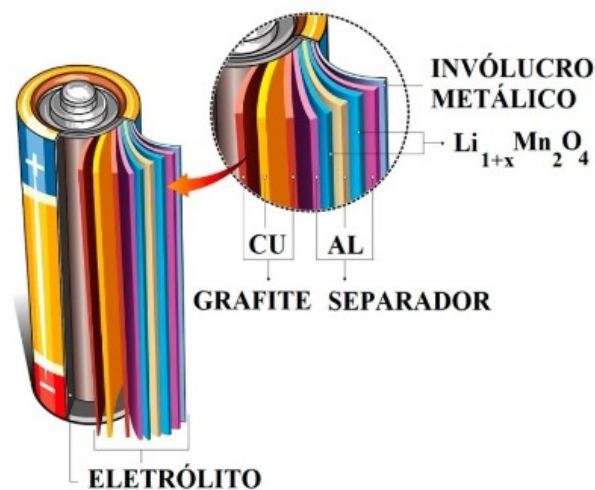
2.5 FORMATOS E TAMANHOS DE BATERIAS CILÍNDRICAS

Nesta seção será apresentado um resumo sobre a construção e tamanhos baterias cilíndricas íon lítio. As células neste formato estão entre as mais comercializadas.

A Figura 4 mostra a técnica para construção de baterias cilíndricas, onde cátodos e ânodos são enrolados com um enrolamento em forma espiral. Este formato de enrolamento é utilizado para maximizar a área de superfície disponível. Um filme de polímeros tem a papel de separar cátodo e ânodo, e a crítica função de prevenir curtos-circuitos.

Para garantir a segurança da célula, as baterias cilíndricas incorporam um mecanismos de segurança tais como válvula de alívio de pressão e fusível *resetável*.

Figura 4 – Construção de baterias cilíndricas.



Fonte: (STA, 2022)

Na Tabela 2, é possível observar os tamanhos das baterias em formato cilíndrico. Conforme indicado na Tabela 2, as dimensões da bateria 18650 possuem um diâmetro de 18 milímetros, enquanto o número 650 indica o comprimento de 65 milímetros.

Tabela 2 – Tamanhos comuns de baterias Li-Ion.

| Modelo | Capacidade (mAh) | Diâmetro (mm) |
|---------------|-------------------------|----------------------|
| 14250 | 300 | 14 × 25 |
| 14500 | 700–800 | 14 × 53 |
| RCR123A | 750 | 17 × 34.5 |
| 17500 | 1100 | 17.3 × 50 |
| 17670 | 1250 | 17 × 67 |
| 18500 | 1400 | 18.3 × 49.8 |
| 18650 | 1500–3500 | 18.6 × 65.2 |
| 26650 | 3300-5200 | 26.5 × 65.4 |

Fonte: Adaptado de STA (2022).

2.6 FATORES QUE AFETAM O DESEMPENHO DE BATERIAS

De acordo com Linden e Reddy (2001), diversos fatores podem influenciar nas características como desempenho, capacidade e produção de energia. As especificações técnicas divulgadas pelos fabricantes são referências de testes em específicas condições após sua produção. Portanto, deve-se observar que os dados fornecidos poderão sofrer variações devido ao seu processo de fabricação.

2.6.1 Tensão nominal

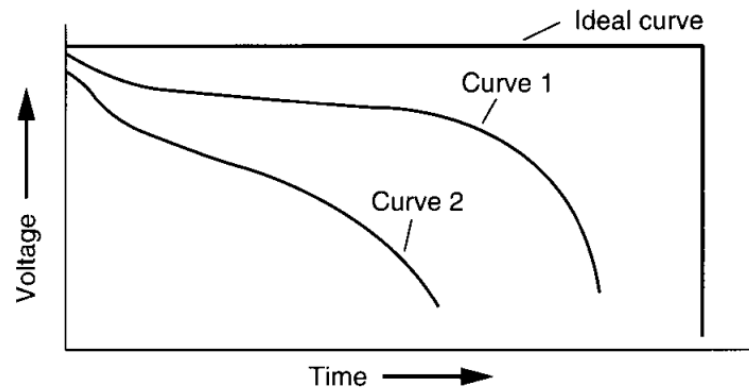
A tensão nominal de uma bateria é geralmente aceita como a tensão típica durante a operação, representando o fim da zona linear das características de descarga.

Na Figura 5 é demonstrada a curva ideal de descarga em condições ideais, onde a tensão da bateria se manteria constante durante todo processo de descarregamento, e quando sua energia esgotasse, cairia repentinamente. Porém, na prática, as baterias tem perdas internas ocasionadas devido à sua resistência interna, e com o passar do tempo, as curvas 1 e 2 ilustradas representam a queda gradativa da tensão.

A curva 2 da Figura 5 é semelhante à curva 1, porém representa uma célula com resistência interna maior ou taxa de descarga maior, ou ambos, quando comparada a curva 1. Portanto, à medida que a resistência da célula ou corrente de descarga aumentam, a tensão de descarga reduz e a descarga tem um perfil mais inclinado (LINDEN; REDDY, 2001).

Segundo Micheline (2017), as curvas de tensão da bateria em descarga podem variar dependendo do tipo do sistema eletroquímico, características de construção, tipo de bateria e condições de descarga. E, como pode-se notar na Figura 5, normalmente

Figura 5 – Curva característica descarga



Fonte: MICHELINI (2017, p.16)

a bateria não deve descarregar-se até zero Volt, limitando a capacidade disponível utilizada.

2.6.2 Corrente de descarga

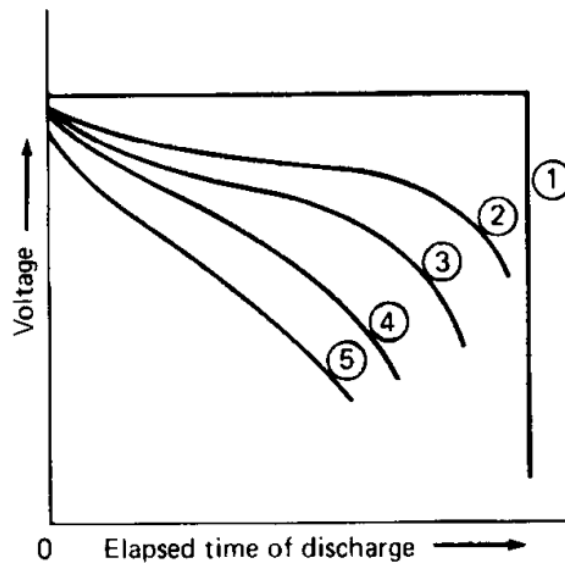
Conforme citado anteriormente, à medida que o consumo de corrente da bateria aumenta, as perdas devido a sua resistência interna e seus efeitos de polarização aumentam, fazendo com que a descarga ocorra em uma tensão mais baixa, reduzindo a vida útil da bateria.

Na Figura 6 é possível observar as curvas de descarga típicas à medida que a corrente de dreno é alterada. Em correntes de dreno extremamente baixas, por exemplo, a curva 2, a descarga pode aproximar-se da tensão e capacidade teórica. Entretanto, com períodos de descarga muito longas, a descarga pode passar por uma deterioração química e tornar-se um fator da redução na capacidade. Com aumento da corrente de dreno, a tensão de descarga diminui, e a vida útil, bem como a capacidade ampère-hora fornecida são reduzidas, conforme pode-se notar nas curvas 3 e 5.

Desta forma, se uma bateria que atingiu uma tensão específica (como a tensão de corte) sob uma determinada corrente de descarga, for utilizada com uma taxa de descarga mais baixa, sua tensão aumentará e capacidade ou vida útil poderá ser obtida até que a tensão de corte seja atingida. Este procedimento pode ser utilizado para determinar a vida útil de uma bateria sob diferentes cargas de descarga usando uma única bateria de teste (LINDEN; REDDY, 2001).

Como mostrado na Figura 7, a descarga é executada inicialmente na taxa de descarga mais alta para a tensão final especificada. Então a taxa de descarga sofre redução para próxima taxa de descarga mais baixa. A tensão aumenta e a descarga acontece novamente até a tensão final especificada. Portanto, a curva 1 demonstra a

Figura 6 – Características de descarga da bateria — níveis de tensão



Fonte: LINDEN; REDDY (2001, p.76)

descarga com corrente mais elevada, enquanto a curva 4 mostra a curva com a menor corrente.

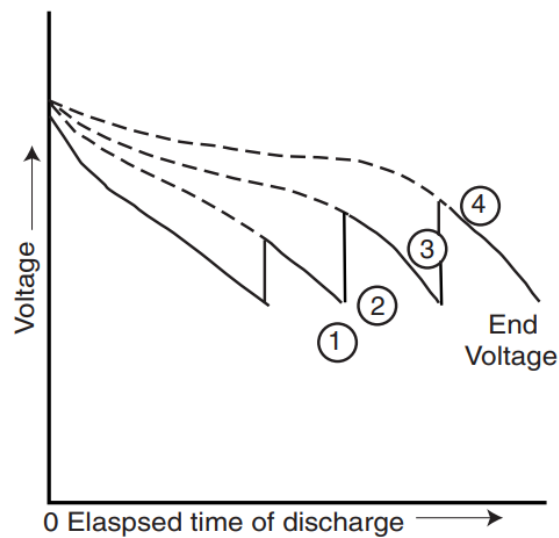
Segundo Linden e Reddy (2001) a vida útil de uma bateria pode ser determinada para cada vazão de descarga na Figura 7, mas a curva de vazão completa para as vazões mais baixas, conforme mostrado pela parte tracejada de cada curva, é perdida. Em determinados casos, é permitido um intervalo de tempo entre cada descarga para que a bateria equilibre-se antes da descarga nas taxas mais baixas.

2.6.3 Modo de descarga

A forma de descarga de uma bateria, pode ter um significativo efeito no seu desempenho. Por esta razão, é recomendado que o modo de descarga usado em um teste ou programa de avaliação seja o mesmo usado no dispositivo para o qual está sendo testado. Uma bateria, quando descarregada em um ponto específico (mesma tensão de circuito fechado, na mesma corrente de descarga, na mesma temperatura, etc.) terá fornecido os mesmos ampères-hora a uma carga independentemente do modo de descarga. No entanto, durante a descarga, a descarga corrente será diferente dependendo do modo de descarga, o *tempo de descarga* entregue será diferente (LINDEN; REDDY, 2001). Podemos considerar três modos básicos de descarga da bateria:

- Corrente constante: A corrente permanece constante durante a descarga;
- Carga constante: A resistência da carga é constante durante toda a descarga,

Figura 7 – Características de descarga de uma bateria descarregando sequencialmente de taxas de descarga altas para baixas



Fonte: LINDEN; REDDY (2001, p.76)

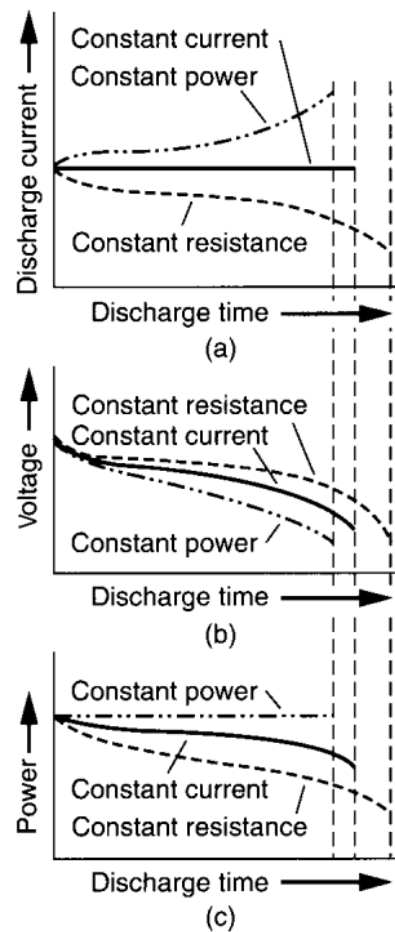
enquanto a corrente diminui proporcional a diminuição da tensão;

- Potência constante: A corrente aumenta durante a descarga segundo a tensão da bateria reduz, descarregando assim a bateria ao nível de potência constante.

O efeito de cada modo de descarga na *performance* da bateria é demonstrado por meio de três casos conforme as Figuras 8, 9 e 10.

No primeiro caso, as cargas de descarga são as mesmas para cada modo de descarga no início da descarga. Na Figura 8, as cargas de descarga são selecionadas de forma que no início da descarga a corrente de descarga e, conseqüentemente, a potência são as mesmas para todos os três modos. A Figura 8 (b) representa a tensão durante a descarga. Como a tensão da célula cai durante a descarga, a corrente no modo da descarga, com resistência constante, afeta a queda na tensão da célula segundo a lei de Ohm (LINDEN; REDDY, 2001).

Figura 8 – Modos de descarga com variação da potência.



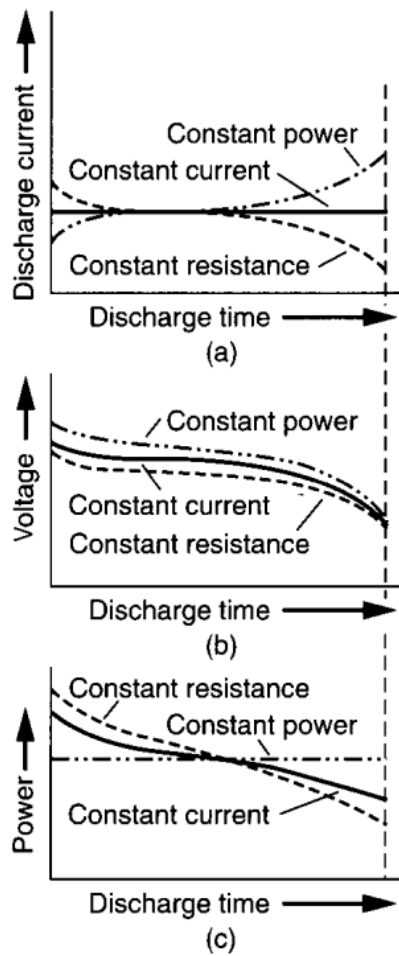
Fonte: Adaptado de MICHELINI (2017, p.28)

No caso de uma descarga de corrente constante, conforme mostrado pela Figura 8 (a), a corrente permanece a mesma durante toda descarga. No entanto, o tempo de descarga ou vida útil é menor do que para a resistência constante, devido a sua corrente média maior.

A Figura 8 representa o gráfico de variação da potência em cada modo de descarga, onde sua corrente aumenta com a redução da tensão. Assim, sua corrente média torna-se ainda maior e o tempo de descarga menor.

Para o segundo caso, o tempo de descarga é ser o mesmo para os três modos de descarregamento. Como esperado, a Figura 9 mostra que as curvas de descarga variam segundo o modo de descarga. Na 9 (a) é mostrado o perfil atual durante a descarga, enquanto na Figura 9 (b) representa a tensão durante a descarga, e por fim, a Figura 9 (c) mostra a potência durante a descarga.

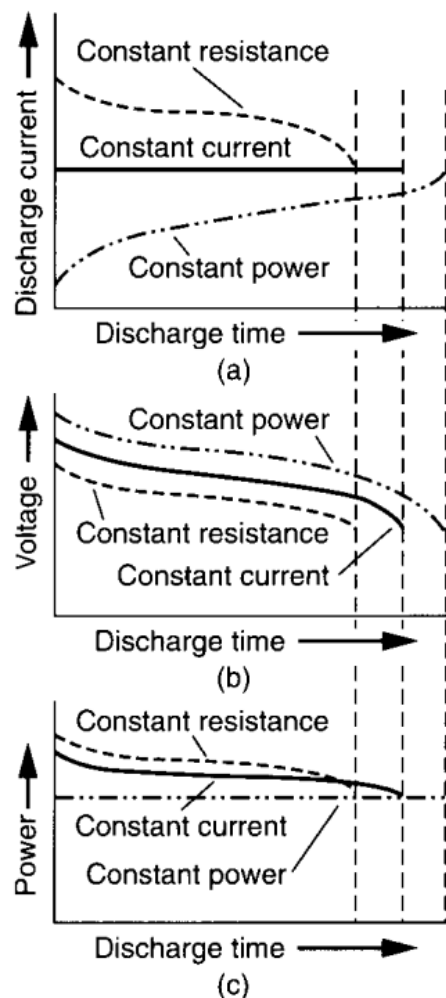
Figura 9 – Modos de descarga com mesmo tempo de descarregamento



Fonte: Adaptado de MICHELINI (2017, p.28)

Para o terceiro caso, a potência é a mesma para cada modo de descarga ao final da descarga. Este é caso mais realista em relação a aplicações, é a suposição de que a potência será a mesma para os três modos de operação de descarga ao final da descarga.

Figura 10 – Modos de descarga



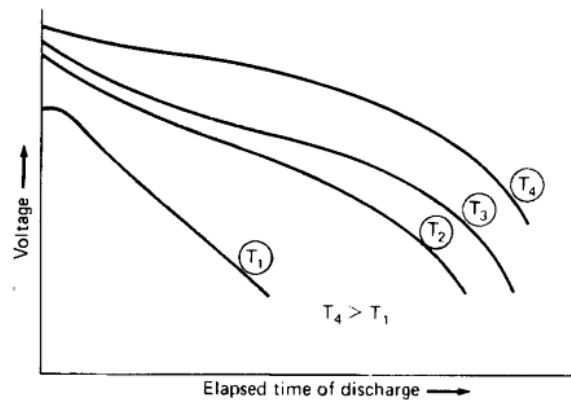
Fonte: Adaptado de MICHELINI (2017, p.28)

2.6.4 Temperatura durante a descarga

A temperatura durante a descarga é um dos fatores que afetam diretamente a capacidade e a tensão da bateria. Isso se deve à redução da atividade química e ao aumento da resistência interna em situações com baixas temperaturas, o que reduz diretamente a produção de energia. A resistência interna da bateria também é afetada.

Conforme a Figura 11 representa, a redução da temperatura de descarga resultará em uma diminuição na capacidade e um aumento na inclinação da curva de descarga. Essa descarga tem o mesmo consumo de corrente, mas com aumento progressivo da temperatura da célula (T1 a T4), onde T4 representa a descarga na temperatura ambiente normal. Características específicas e curvas de descarga variam para cada projeto, taxa de descarga e sistema de bateria. Em temperaturas mais altas, a resistência interna diminui, a tensão de descarga aumenta, ocasionando normalmente o aumento da capacidade (ampere-hora) e a potência de saída (LINDEN; REDDY, 2001).

Figura 11 – Efeito da temperatura na capacidade da bateria



Fonte: Adaptado de LINDEN; REDDY (2001, p.82)

2.6.5 Ciclo de trabalho

Devido à maioria dispositivos eletrônicos terem ciclos de trabalho em regime de corrente variável, essa alteração exige a reposta da tensão da bateria. Aplicações de dispositivos sem fios utilizados para automação de residências, permanecem em modo de repouso, descarregando com baixa corrente até que sejam acionados e então seu consumo será elevado.

Na Figura 12 é ilustrada a curva da resposta da tensão de um dispositivo com tensão variável, onde se observa que para este dispositivo, a curva 1 representa o dispositivo descarregando com uma corrente mais baixa, enquanto na curva 2 a corrente de descarga é mais alta.

Figura 12 – Tensão de um dispositivo com tensão variável



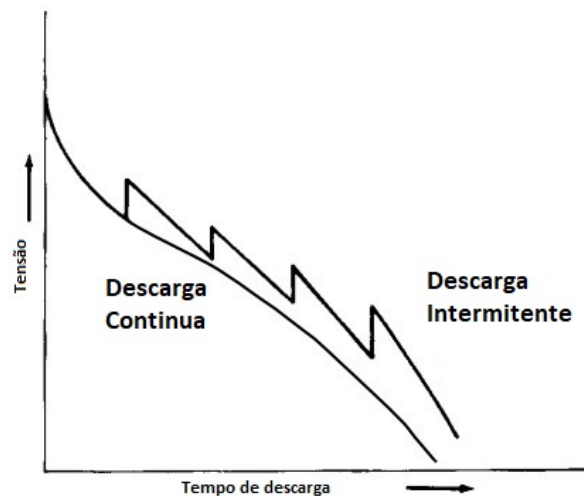
Fonte: Adaptado de MICHELINI (2017, p.31)

Este modo de funcionamento é típico para maioria dos equipamentos eletrônicos atuais, determinando a vida útil da bateria quando o corte ou tensão final é atingido sob a carga de descarga mais alta (LINDEN; REDDY, 2001).

2.6.6 Tipo de descarga

Segundo Linden e Reddy (2001), os tipos de descarga podem ser classificadas por intermitente e contínua. Durante a descarga contínua, só acontecerá interrupção após a bateria atingir sua tensão mínima de trabalho, enquanto à descarga intermitente, significa que a bateria deixa de descarregar após um período, de forma que a bateria permaneça em um estado estático ou suspenso. Este processo é repetido várias vezes até que a bateria atinja sua tensão operacional mínima.

Figura 13 – Efeito da descarga intermitente na capacidade da bateria



Fonte: Adaptado de LINDEN; REDDY (2001, p.85)

Quando uma bateria fica inativa após ser descarregada, diversas alterações químicas e físicas ocorrem, possibilitando a recuperação da sua tensão original. Dessa forma, se uma bateria sofreu uma descarga intensa, a sua tensão aumentará novamente após um período de repouso. O processo de recuperação é ilustrado na Figura 13, onde a tensão da bateria apresenta um padrão de descarga em forma de dente de serra, fenômeno esse que pode contribuir para uma maior vida útil da bateria (LINDEN; REDDY, 2001).

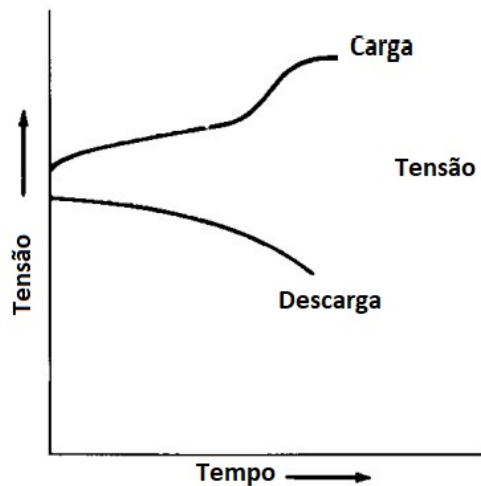
De acordo com Michelini (2017), a resultante da descarga intermitente costuma ser de corrente mais intensa, uma vez que a bateria tem a chance de se recuperar dos efeitos da polarização, que são mais evidenciados em cargas maiores. Além do consumo de corrente, o nível da recuperação é influenciado por diversos outros fatores, incluindo o sistema de bateria específico, suas características de construção, a temperatura durante a descarga, a tensão final e a duração do período de recuperação.

2.6.7 Tensão de carregamento

Caso seja utilizada uma bateria recarregável em conjunto com outra fonte de energia permanentemente conectada ao circuito operacional, é necessário conceder

permissão para que a bateria e o equipamento suportem a tensão de carga da bateria. A Figura 14 ilustra as características de carga e descarga da bateria. A tensão específica e o perfil de tensão durante o carregamento dependem de fatores como o sistema da bateria, taxa de carregamento, temperatura e assim por diante (LINDEN; REDDY, 2001).

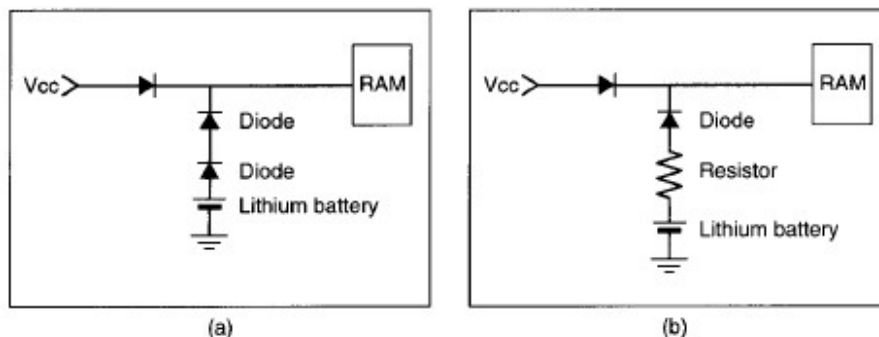
Figura 14 – Perfil de tensão típico durante a carga e descarga



Fonte: Adaptado de LINDEN; REDDY (2001, p.90)

Quando uma bateria primária é usada em um circuito semelhante, é normalmente recomendado proteger a bateria primária de ser carregada. Dois tipos de circuitos são comumente recomendados e utilizados para essa proteção estão demonstrados na Figura 15.

Figura 15 – Circuito de proteção para aplicações de backup de memória. (a) Utilizando dois diodos. (B) Utilizando diodo e resistor.



Fonte: Adaptado de LINDEN; REDDY (2001, p.90)

O primeiro circuito, demonstrado na Figura 15 (a), inclui dois diodos, onde um será responsável por isolar ou proteger o circuito, enquanto o segundo fornece redundância em caso de falha do primeiro. Para o segundo circuito, presente na Figura

15 (b), um resistor é adicionado ao circuito com a função de limitar a corrente, caso o diodo falhe (LINDEN; REDDY, 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito a metodologia e os materiais utilizados para implementação do protótipo de validação da capacidade em baterias de íon lítio 18650. Para realizar os objetivos propostos no trabalho, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica apresentou os fundamentos necessários na seção anterior, e assim, neste capítulo será apresentado a sequência de etapas para o desenvolvimento do mesmo.

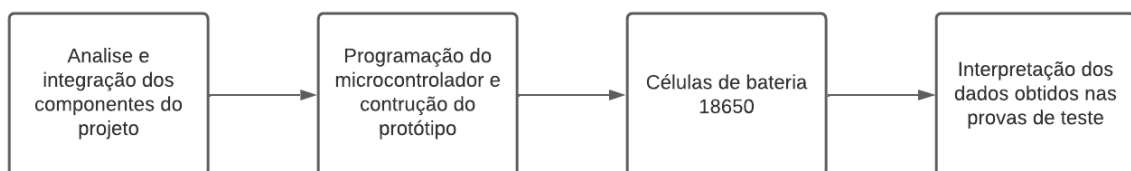
Além da metodologia, na sequência os requisitos de projeto e as simulações necessárias são discutidos e apresentados. Na seção posterior são descritos os componentes escolhidos como premissa para o correto desenvolvimento e funcionamento do sistema.

Em seguida, os materiais necessários serão discutidos e detalhados. Por fim, os conjuntos de dados e parâmetros de teste usados na avaliação dos procedimentos serão apresentados.

3.1 METODOLOGIA

A metodologia seguida neste trabalho pode ser observada na Figura 16. Inicialmente, serão definidos os componentes necessários e sua integração, baseados na fundamentação teórica realizada na seção 2. Posteriormente o microcontrolador Arduíno será programado com o código para controle e monitoramento do circuito do projeto. Na etapa seguinte, as células de bateria serão selecionadas e as informações necessárias solicitadas para realização dos testes previstos. Por fim, os dados são coletados para análise após os testes nas células.

Figura 16 – Diagrama do fluxo da metodologia seguida no projeto.



Fonte: O Autor (2023)

3.2 REQUISITOS DO PROJETO

O desenvolvimento de um protótipo para análise da capacidade energética de uma bateria de íon lítio possui premissas e requisitos necessários que serão pontuados a seguir:

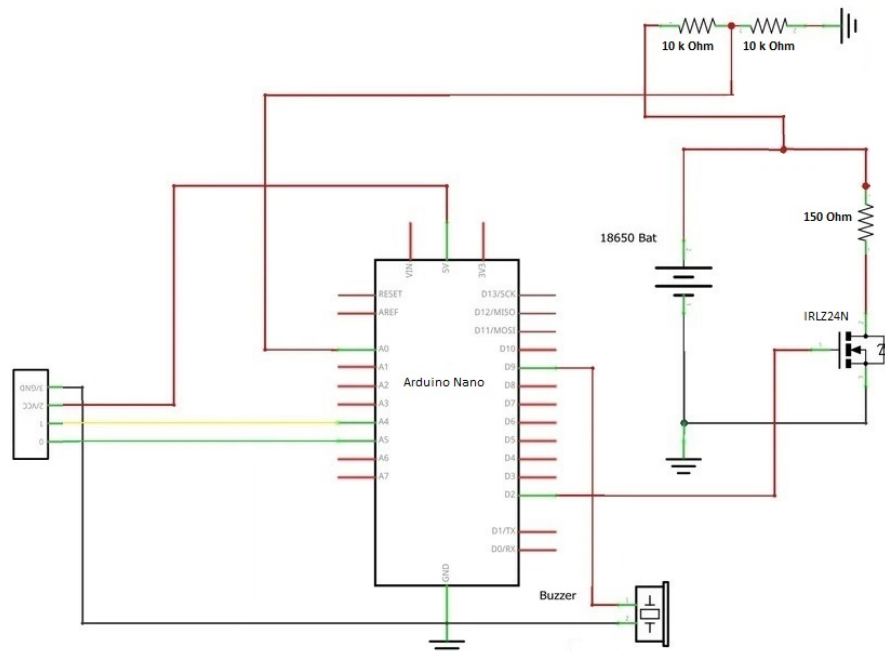
- Informações do fabricante da bateria sobre o modelo de bateria em teste;
- O sistema deve operar em tensões variáveis;
- Carregamento da célula de bateria por meio de fonte externa;
- O projeto deve mensurar a capacidade de energia instantânea da bateria;
- A tensão atual da bateria deve ser mostrada;
- Reutilizável;
- Baixo custo.

3.3 SOFTWARE E SIMULAÇÕES

A plataforma Fritzing foi utilizada para realizar o esquemático geral e o diagrama elétrico do projeto. Essa plataforma foi escolhida por proporcionar uma experiência simplificada na criação de projetos. Permitindo que o usuário defina a localização dos componentes em uma placa de ensaio virtual, tornando a montagem de circuitos do mundo real de maneira acessível.

Após levantar e identificar todos os componentes necessários para o desenvolvimento do projeto, o diagrama geral do circuito foi projetado conforme a Figura 17.

Figura 17 – Esquemático do circuito geral.

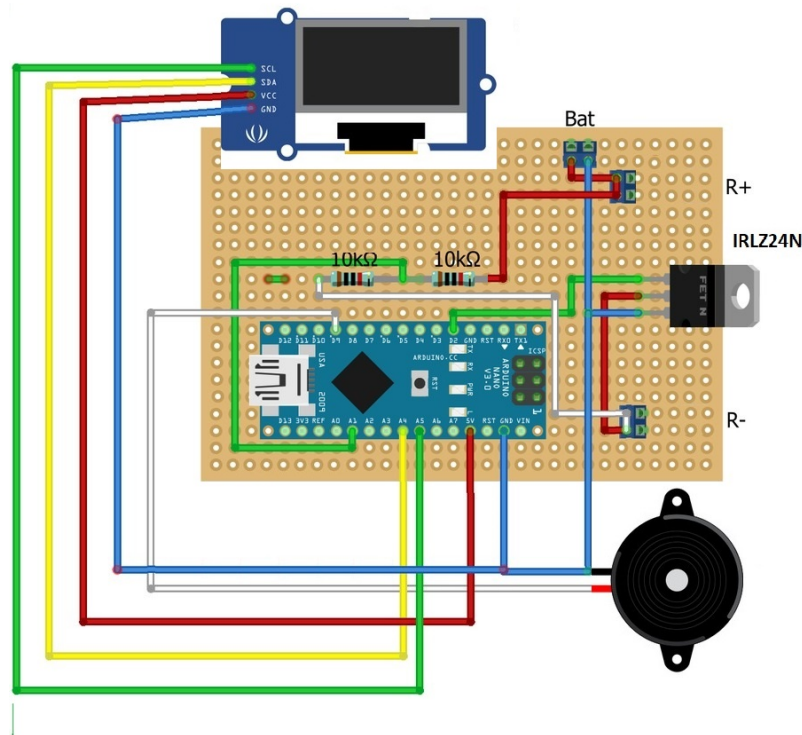


Fonte: O Autor (2023)

A energia para o circuito é fornecida por uma fonte de tensão contínua de 5V, com uma potência de 15W. Sua alimentação é feita através da porta mini USB do Arduino nano.

Para exibir os dados, um display OLED (128x64) foi utilizado (Figura 18), e como medida adicional, a comunicação foi estabelecida entre o microcontrolador e um computador. Desta forma, as informações podem ser colhidas e analisadas.

Figura 18 – Diagrama elétrico do projeto proposto.



Fonte: O Autor (2023)

3.4 DEFINIÇÃO DE ARQUITETURA E COMPONENTES

3.4.1 Bateria Íon Lítio

Para a condução dos testes, foram selecionadas 5 amostras de baterias do tipo íon de lítio no tamanho 18650, provenientes de dois fornecedores distintos. Apesar de serem fornecidas por empresas diferentes, é importante observar que ambas apresentam as mesmas informações, conforme as especificações dos fabricantes. Cada bateria é recarregável, possui capacidade de 1200mAh e uma tensão nominal de 3,7V. A Tabela 3 detalha os parâmetros essenciais para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 3 – Informações da bateria 18650.

| Componente | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Tensão máxima | 4.3V |
| Tensão Nominal | 3.7V |
| Taxa-C descarga | 0.2C |
| Tensão de Corte | 2.9 |
| Temperatura de operação (descarga) | 20 ~ 60°C |
| Corrente de descarga | 600mA |
| Corrente máxima de descarga | 600 mA |
| Capacidade nominal | 1200 mA |

Fonte: Adaptado de XINXIANG HONGLI SUPPLY SOURCE TECHNOLOGY CO.,LTD (2019).

A Figura 19 apresenta as células de bateria 18650, fundamentais para o escopo do trabalho. Essas células representam os componentes essenciais que foram objeto de estudo e análise ao longo do projeto, desempenhando um papel central na compreensão do sistema.

Figura 19 – Células de bateria 18650.



Fonte: Adaptado de (XINXIANG HONGLI SUPPLY SOURCE TECHNOLOGY CO.,LTD, 2019)

3.4.2 Microcontrolador

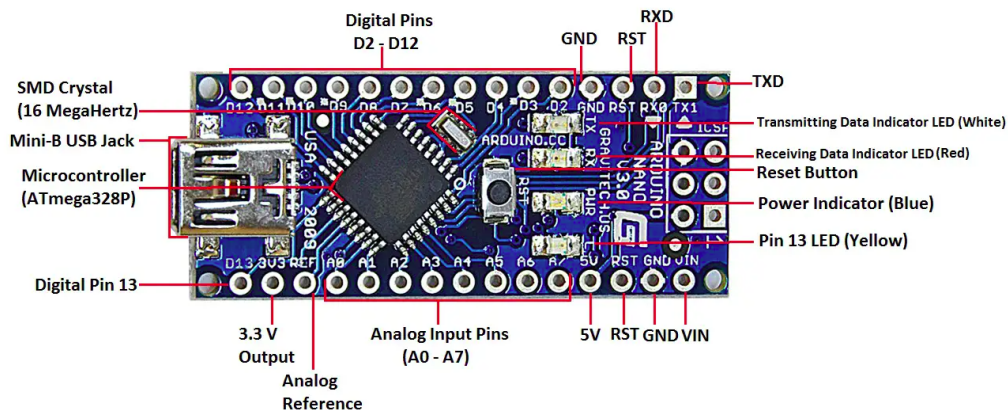
Para o desenvolvimento do projeto, o microcontrolador é responsável por estabelecer algumas configurações iniciais, as quais dependem do modelo da célula, sua tensão de corte, capacidade nominal e tempo de vida. Além disso, tem função de receber os dados analógicos enviados através do divisor de tensão, realizado com resistências, e assim processá-los para um display, demonstrando a informação da

capacidade da bateria.

O microcontrolador escolhido para o projeto é o Arduino Nano, é uma placa microcontroladora compacta, totalmente funcional e compatível com uma *breadboard*. A placa Nano tem um peso de aproximadamente 7 gramas e suas dimensões são de 4,5 cm por 1,8 cm (comprimento por largura) (TODAY, 2023).

Este microcontrolador possui uma placa compatível com o *bootloader* do Arduino e com acesso direto ao microcontrolador ATmega328P. Possui 30 pinos entre entradas e saídas digitais, onde algumas delas serão utilizadas para enviar e receber informações a componentes do circuito. O protocolo de interface serial I2C será utilizado para demonstração dos resultados no display. Abaixo, na Figura 20 é possível observar o microcontrolador detalhadamente.

Figura 20 – Arduino nano com microcontrolador ATmega328P



Fonte: TODAY (2023)

Para o processamento de dados, o microcontrolador conta com 8 portas de conversor analógico-digital (ADC), sendo este um requisito essencial. Com a leitura da tensão e o uso de uma resistência fixa, é possível calcular a corrente com base na lei de Ohm (equação 7):

$$V = R * I \quad (7)$$

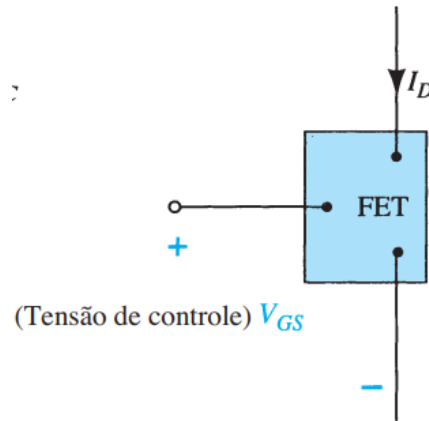
- I - Corrente elétrica (Ampére);
- V - Tensão elétrica (Volt);
- R - Resistência (Ohm - Ω).

3.4.3 Transistor

O transistor de efeito de campo é um dispositivo de três terminais utilizado em diversas aplicações que necessitam ser controlados por uma tensão. A Figura 21 representa o funcionamento de um amplificador controlado por tensão. A tensão de

controle é aplicada na entrada do circuito, controlando a corrente de saída e definindo as condições de operação (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2013).

Figura 21 – Amplificador controlado por tensão.

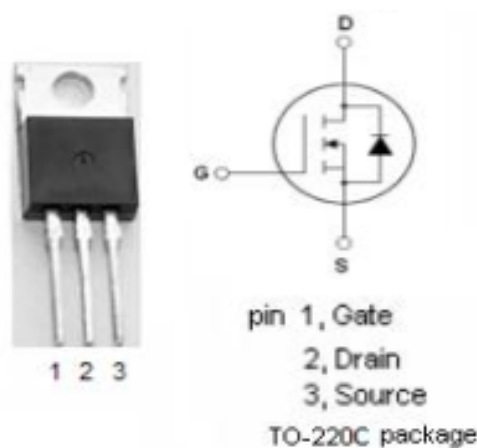


Fonte: BOYLESTAD; NASHELSKY (2013, p.318)

3.4.4 Mosfet IRLZ24n

O transistor IRLZ24n é um MOSFET de nível lógico de canal n, e será o componente responsável pela função de conectar ou desconectar a resistência de descarga com a bateria. O microcontrolador analisa a condição da bateria e envia um sinal de nível lógico para ligar totalmente o MOSFET. Isso permite que a corrente siga do terminal positivo da bateria através do resistor, e complete o caminho de retorno ao terminal negativo utilizando o MOSFET. Esse processo durante um período ocasiona o descarregamento das células da bateria.

Figura 22 – Transistor MOSFET modelo IRLZ24n



Fonte: INCHANGE SEMICONDUCTOR COMPANY LIMITED (1991, p.1)

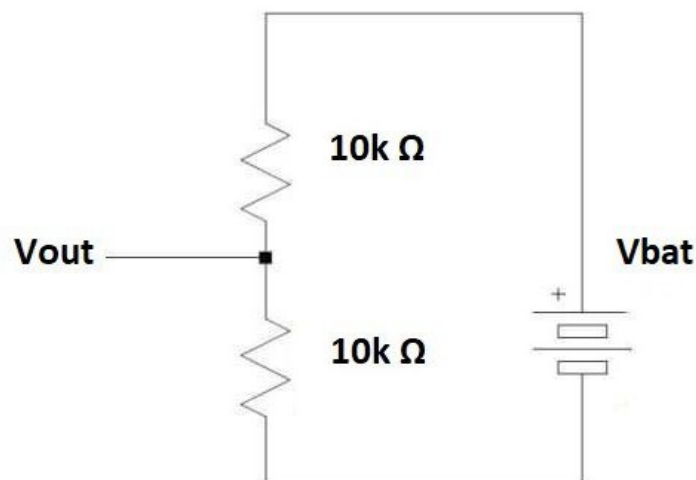
A saída digital do pino D2 do Arduino realiza o controle do MOSFET. Quando o sinal de 5V (Alto) é alimentado no pino 1 (Gate) do MOSFET, ele permite que a corrente passe do terminal positivo da bateria, através do resistor, e o MOSFET completa o caminho de volta ao terminal negativo. Isso descarrega a bateria durante um período.

Portanto, o MOSFET necessitou ser escolhido de forma que possa lidar com a corrente de descarga máxima sem superaquecer, além da sua capacidade de ser acionado pela tensão limite de sinal enviado pelo microcontrolador.

3.4.5 Medição da Tensão

Para que o microcontrolador possa receber o sinal da tensão, será aplicada a teoria do divisor de tensão resistivo. Este circuito consiste em dois resistores, e uma sua forma de ligação simples. A Figura 23 demonstra o circuito elétrico do divisor de tensão resistivo.

Figura 23 – Circuito divisor de tensão resistivo.



Fonte: O Autor (2023)

Neste trabalho, serão utilizados dois resistores com valores de $10\text{k}\Omega$ cada, com capacidade de suportar potências de até 450mW e tolerância de 1% . O circuito da Figura 23 mostra os resistores ligados em série, entre os polos da bateria (V_{bat}). Portanto, para coletar a tensão (V_{out}) através do pino analógico A0 do microcontrolador, foi utilizada a relação da equação 8:

$$V_{out} = V_{bat} * \frac{R2}{R1 + R2} \quad (8)$$

- V_{out} - Tensão medida pelo microcontrolador;
- $R1$ e $R2$ - Resistências ($\text{Ohm } -\Omega$);

- Vbat- Tensão de entrada fornecida pela bateria.

Além de criar as referências necessárias para leitura dos dados, este circuito também se faz necessário como uma proteção ao microcontrolador, que possui capacidade de receber 5V de tensão máxima em seus pinos analógicos, e como o projeto deve receber tensões máximas de 4,3V, muito próximo do limite suportado.

3.4.6 Resistor descarga

Segundo Torres (2012), resistor é o nome dado a um componente que apresente resistência a passagem de corrente elétrica. Neste trabalho, o resistor de descarga simula uma carga que está consumindo a bateria durante o período de descarregamento.

Para seleção do resistor de descarga, se fez necessário coletar quantidade de corrente de descarga máxima. Assim, de acordo com informações do fabricante, a corrente de descarga máxima possível para os modelos de bateria utilizados como prova de testes é de 600mA. Então, pode-se encontrar o valor da resistência de descarga:

$$\text{Resistência de descarga} = \frac{\text{Tensão Máxima da Bateria}}{\text{Corrente de descarga}} \quad (9)$$

Realizando a substituição dos dados encontrados na folha de dados fornecida pelo fabricante das baterias:

$$\text{Resistência de descarga} = \frac{4,3}{600} = 7.16\Omega \quad (10)$$

A resistência precisa dissipar certa quantidade de energia, então se faz necessário calcular o calor dissipado, para poder ser escolhido o componente correto.

$$\text{Calor dissipado} = \text{Corrente de descarga}^2 * \text{Resistência} \quad (11)$$

$$\text{Calor dissipado} = 600^2 * 7.16 = 2.58 \text{ Watt} \quad (12)$$

Para realizar experimentos comparativos durante a descarga das amostras de bateria, o primeiro modelo de resistor escolhido foi de 10W e 150 Ω . Enquanto o segundo modelo, visando uma descarga mais rápida da bateria, foi escolhido com 10W e 10K Ω . Ambos os modelos de componente possuem fácil disponibilidade e baixo custo.

3.5 LISTA DE COMPONENTES

Para realizar os testes e atender aos requisitos do projeto, os componentes utilizados estão listados na Tabela 4 com seus valores.

Tabela 4 – Lista de componentes.

| Componente | Valor |
|------------------------------------|---------------|
| Mosfet IRLZ24N | R\$ 10,49 un. |
| Arduino Nano | R\$39,00 un. |
| Resistor De Cerâmica 10W150ΩJ | R\$4,40 un. |
| Resistor De Cerâmica 10W10kΩJ | R\$5,60 un. |
| Bateria 18650 íon-Lítio 1800mAh | R\$19,90 un. |
| Resistores 10K - 1/4W (4 unidades) | R\$1.45 un. |
| Buzzer uxcell 12mm | R\$ 6.58 un. |
| Display OLED de 0,96"(128x64) | R\$ 29,90 un. |

Fonte: O Autor (2023)

Essa lista de componentes não apenas oferece uma visão clara dos elementos utilizados, mas também estabelece a base para uma compreensão dos valores e das especificações do sistema.

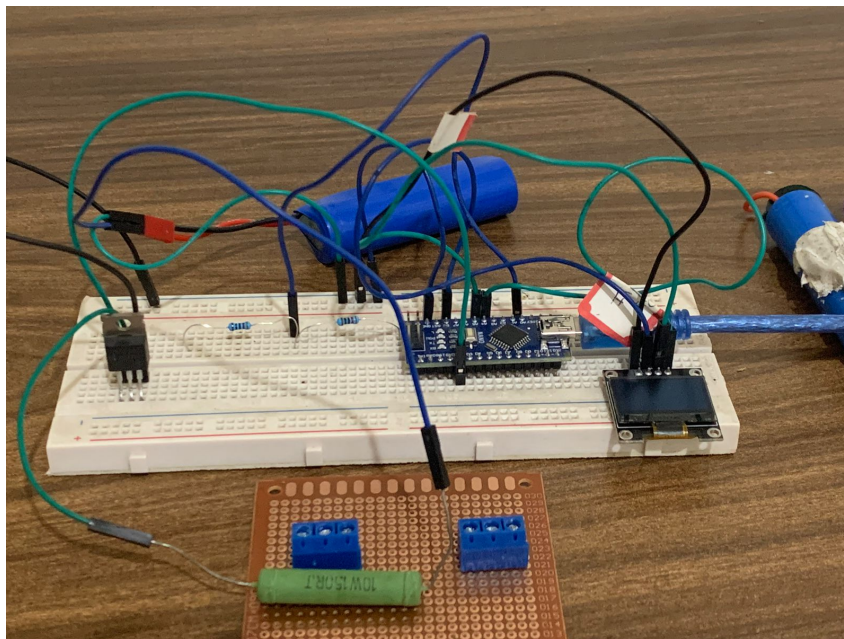
4 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo, serão examinados os casos de estudos e resultados provenientes do protótipo desenvolvido e dos testes implementados, conforme as especificações e componentes delineados nos capítulos 2 e 3. Os instrumentos empregados nos testes, serão expostos, juntamente com os protótipos e os resultados dos testes correspondentes.

4.1 PROTÓTIPOS

Inicialmente, foram conduzidos testes utilizando uma *protoboard*, conforme ilustrado na Figura 24 abaixo. Durante os primeiros testes, foi possível constatar o extenso período requerido para descargas completas, para os testes utilizando a resistência de descarga com valor de 150Ω .

Figura 24 – Testes do protótipo montando na protoboard.

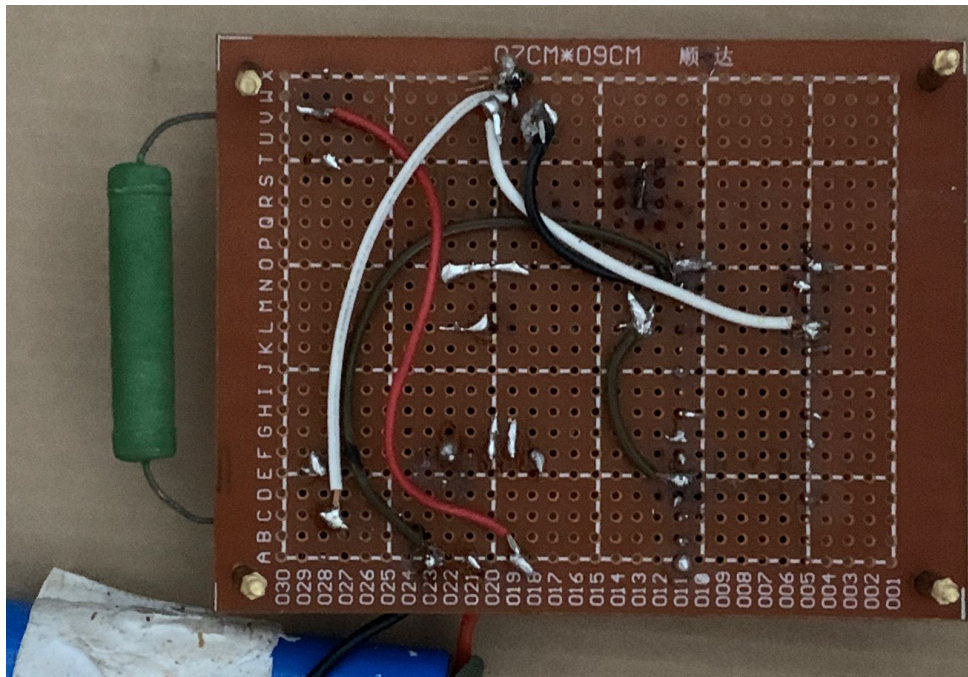


Fonte: O Autor (2023)

A realização do protótipo proporcionou visões importantes para o planejamento dos componentes na placa de circuito definitivo. A utilização de conexões para as resistências de carga foi para possibilitar a substituição por uma resistência de descarga com valor maior, reduzindo o tempo de teste.

Essa fase experimental contribuiu significativamente para a compreensão do desempenho do sistema, permitindo ajustes e otimizações necessários para aprimorar a eficiência e a eficácia do projeto.

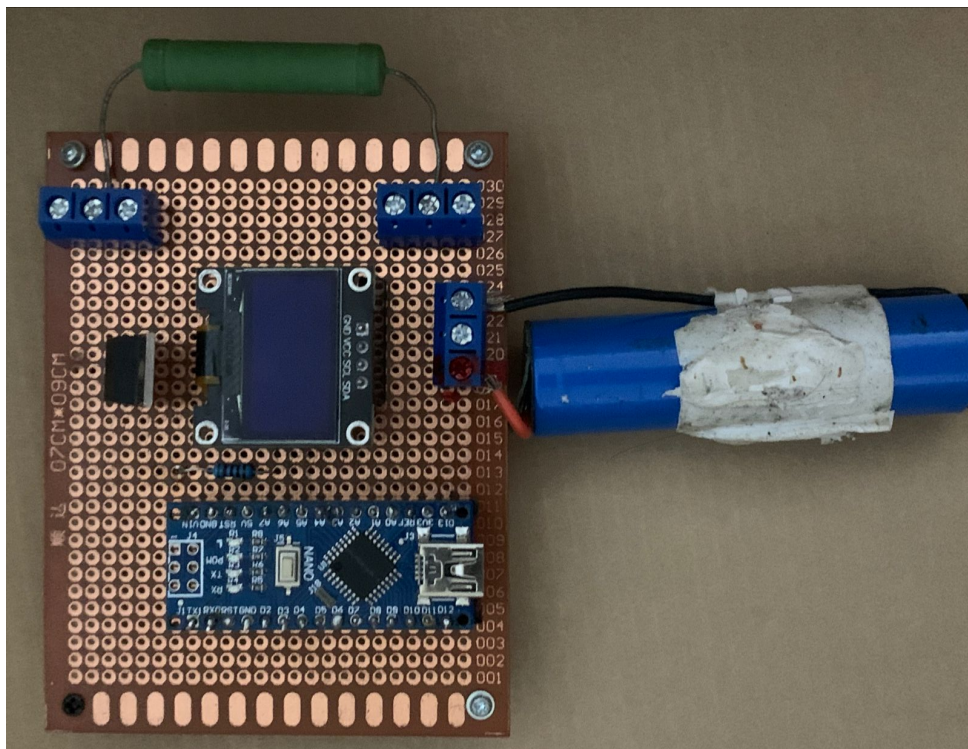
Figura 25 – Montagem do protótipo.



Fonte: O Autor (2023)

O protótipo montado e funcionando, pode ser visto Figura 26. A integração do Arduino Nano, display OLED, transistor, apresenta uma abordagem versátil, enquanto os *bornes* facilitam a conectividade de resistências e baterias.

Figura 26 – Protótipo montado e funcionando.



Fonte: O Autor (2023)

4.2 TESTE DE CAPACIDADE

Nesta seção são apresentados os procedimentos e resultados dos testes práticos conduzidos, sobre o desempenho do projeto de capacidade de baterias.

4.2.1 Procedimento de Teste de Capacidade

Para a avaliação experimental, foram conduzidos testes em 5 amostras de bateria do tipo 18650, cada uma submetida a duas resistências de descarga com valores distintos. É relevante destacar que as amostras 01, 02 e 03 compartilham a mesma origem de fabricante, enquanto as amostras 04 e 05 provêm de outro fabricante. Além disso, é importante notar que as amostras 04 e 05 foram previamente utilizadas, desempenhando um papel crucial na análise comparativa entre diferentes baterias no protótipo desenvolvido.

A inclusão de amostras usadas no estudo permite uma análise mais abrangente, considerando não apenas as variações entre fabricantes, mas também a influência nas características de desempenho das baterias.

Para efetuar os testes e validar os métodos expostos previamente, as baterias foram carregadas até atingir sua capacidade nominal. Esse processo de carregamento foi conduzido utilizando uma fonte de tensão variável (Figura 27), que permitiu um controle preciso e ajustável do nível de carga aplicado.

Figura 27 – Fonte de tensão variável.



Fonte: O Autor (2023)

As baterias foram carregadas até atingirem a tensão de 4,3 V, o qual é o limite determinado na folha de dados fornecida pelos fabricantes.

Considerando o processo de recarga das baterias, foi estabelecida uma corrente de 200mA, uma escolha cuidadosa que se encontra significativamente abaixo da corrente máxima de recarga recomendada pelo fabricante (Tabela 5), a qual é de 600mA. Essa abordagem foi adotada com o intuito de garantir um processo de recarga seguro e eficiente.

A Tabela 5 mostra os dados necessários provenientes dos fabricantes. Nestas informações é possível observar a corrente máxima de recarga citada anteriormente e a tensão máxima de recarga.

Tabela 5 – Informações do fabricante da bateria 18650.

| Informação) | Valor |
|----------------------------|--------------|
| Tensão Nominal | 3.7 V |
| Capacidade Nominal | 1200mAh |
| Tensão Máxima | 4.3 V |
| Corrente máxima de recarga | 600mA |
| Tempo de recarga rápido | 3.5h |

Fonte: Adaptado de XINXIANG HONGLI SUPPLY SOURCE TECHNOLOGY CO.,LTD (2019).

Essas integração de informações fornece uma base teórica para os testes. Possibilitando comparações futuras em função dos resultados obtidos através do protótipo.

4.2.2 Teste para baterias com resistor de descarga de 150 Ω

Na etapa de experimentos, realizaram-se testes nos cinco exemplares de baterias modelo 18650, todas sujeitas à mesma resistência de descarga, estabelecida em 150 Ω . Conforme citado anteriormente, as amostras de número 01, 02 e 03 têm origem no mesmo fabricante, ao passo que as amostras 04 e 05 derivam de um fabricante diferente e foram previamente utilizadas.

As amostras 04 e 05 foram escolhidas intencionalmente para permitir uma análise comparativa mais abrangente entre baterias utilizadas no protótipo.

Os testes para avaliar a capacidade das amostras de bateria 18650 foram conduzidos utilizando o protótipo desenvolvido anteriormente. A metodologia incluiu a descarga controlada da bateria, enquanto a tensão foi monitorada em função do tempo.

Os dados coletados através do monitor serial do software do Arduino possibilitaram que os resultados fossem apresentados de maneira mais clara, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 – Resultado do teste para amostra 01 através do monitor serial.

```

/dev/ttyUSB0
01:29:23.799 -> Tempo: 36.03 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:24.786 -> Tempo: 39.85 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:25.815 -> Tempo: 40.87 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:26.844 -> Tempo: 41.89 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:27.873 -> Tempo: 42.92 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:28.902 -> Tempo: 43.94 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:29.931 -> Tempo: 44.96 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:30.927 -> Tempo: 45.98 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:31.956 -> Tempo: 47.00 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:32.985 -> Tempo: 48.03 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:34.013 -> Tempo: 49.05 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:35.009 -> Tempo: 50.07 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:36.039 -> Tempo: 51.09 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:37.068 -> Tempo: 52.11 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:38.097 -> Tempo: 53.14 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:39.125 -> Tempo: 54.16 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:40.119 -> Tempo: 55.18 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:41.147 -> Tempo: 56.20 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:42.175 -> Tempo: 57.22 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:43.205 -> Tempo: 58.25 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:44.235 -> Tempo: 59.27 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:45.230 -> Tempo: 60.29 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:46.259 -> Tempo: 61.31 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:47.289 -> Tempo: 62.34 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:48.316 -> Tempo: 63.36 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:49.312 -> Tempo: 64.38 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:50.340 -> Tempo: 65.40 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:51.369 -> Tempo: 66.42 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:52.398 -> Tempo: 67.44 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:53.428 -> Tempo: 68.47 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:54.457 -> Tempo: 69.49 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
01:29:55.453 -> Tempo: 70.51 s, Tensao_Bat: 3.80 V, Corrente: 0.04 mA, Capacidade Restante: 1199 mAh
  
```

Fonte: O Autor (2023)

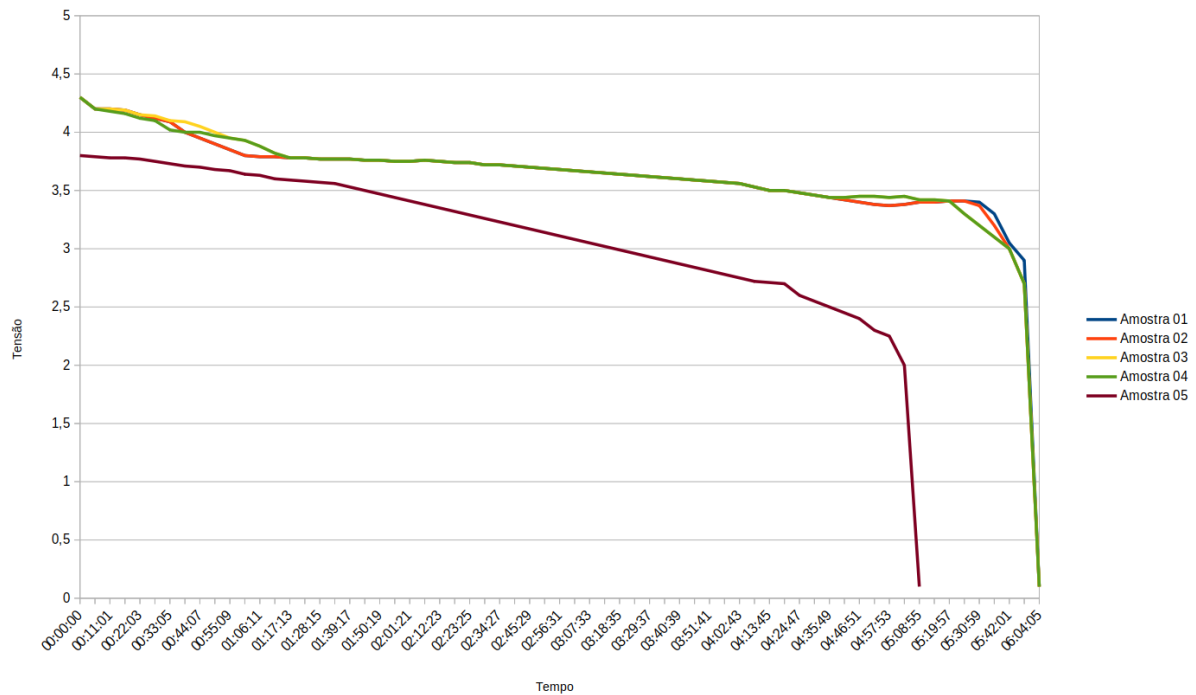
Os resultados desses testes foram apresentados de maneira gráfica na Figura 29, onde a curva de tensão em função do tempo oferece uma representação visual das características de descarga da bateria.

O gráfico apresentado na Figura 29 ilustra os resultados obtidos durante os testes. Através da análise dos dados coletados, tornou-se evidente que a amostra de bateria 05 apresentou uma redução significativa em sua vida útil.

Esses dados foram cruciais para mensurar a estimativa da a capacidade da bateria, permitindo uma análise do desempenho do sistema. O gráfico resultante constitui uma ferramenta essencial na comparação da descarga das amostras de bateria utilizando do protótipo.

Após a execução dos testes nas amostras, os resultados evidenciaram que a capacidade das baterias se alinhou de maneira significativa com as informações fornecidas pelo fabricante. No entanto, exceção feita à amostra 05, que era usada, observou-se uma curva de descarga bastante distinta das outras amostras testadas.

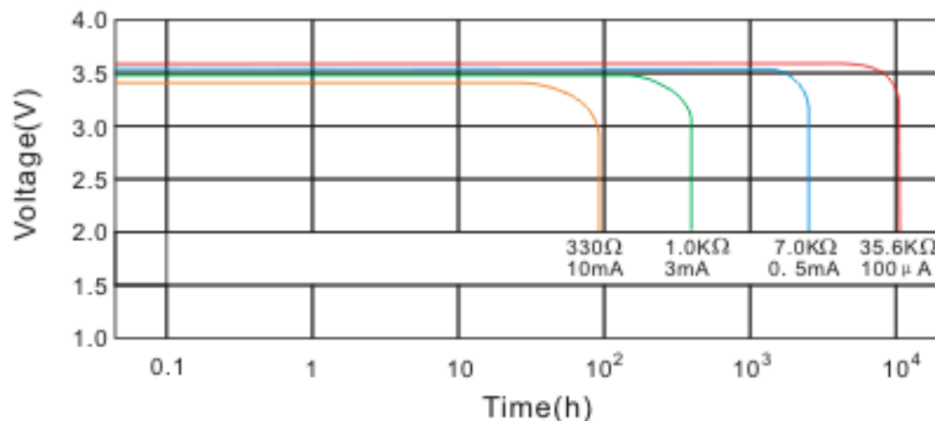
Figura 29 – Resultado do teste para cinco amostras com resistor 150 Ω .



Fonte: O Autor (2023)

Abaixo, a Figura 30 é a curva característica de descarga fornecida pela fabricante das baterias amostra 04 e 05. Esta serve como comparativo aos resultados obtidos na Figura 29, demonstrando uma paridade nos resultados encontrados.

Figura 30 – Curva característica de descarga para bateria 18650.



Fonte: Adaptado de EEMB CO., LTD (2015)

É fundamental enfatizar que, mesmo diante da conclusão positiva, a análise das margens de erro representou um desafio, uma vez que informações detalhadas sobre esse aspecto não foram disponibilizadas pelos fabricantes das baterias.

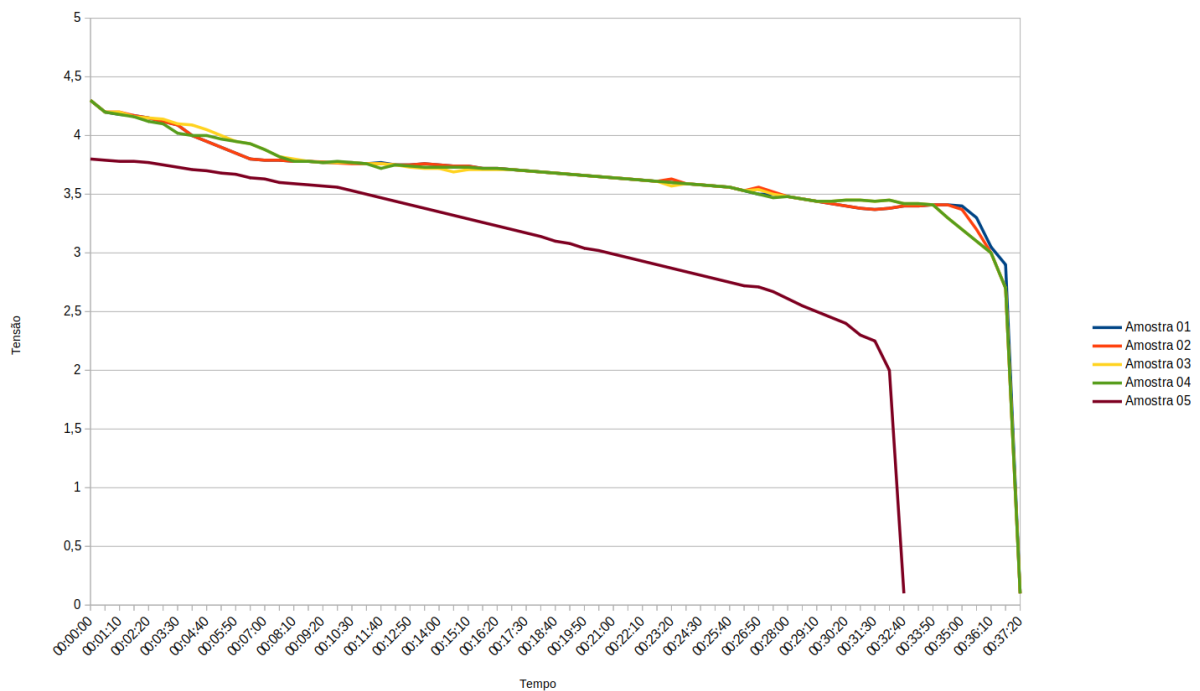
4.2.3 Teste para baterias com resistor 10k Ω

Nesta etapa subsequente, os testes foram conduzidos para as amostras, agora utilizando uma resistência de 10k Ω , conforme estabelecido na seção anterior.

A utilização da resistência de 10k Ω neste teste emerge como um fator determinante na aceleração do tempo de descarga das baterias 18650. Esta modificação na configuração proporciona uma perspectiva para analisar de forma mais dinâmica o desempenho dessas amostras, influenciando significativamente o tempo de utilização.

A execução dos testes, conforme indicado pelo gráfico Figura 31, para a amostra, 5 revelou resultados comparáveis aos observados aos testes anteriores, evidenciando uma consistência do projeto.

Figura 31 – Resultado do teste para cinco amostras com resistor 10k Ω .



Fonte: O Autor (2023)

Esse padrão entre as amostras sugere uma estabilidade no desempenho do dispositivo, contribuindo para a confiabilidade dos resultados obtidos.

Em uma análise mais específica, os testes apontaram uma capacidade de 1108 mAh para a amostra 1, 1092 mAh para a amostra 2 e 998 mAh para a amostra 3. Esses valores são próximos dos obtidos nos testes com resistência de descarga mais baixa, demonstrando coerência nos dados e nas especificações do produto.

4.3 ANÁLISE DOS PARÂMETROS EM RELAÇÃO AOS RESULTADOS DA CAPACIDADE

Neste projeto, a corrente de descarga varia em função da tensão da bateria. Conseqüentemente, a curva de descarga traçada se assemelha à curva de descarga apresentada na folha de dados de fabricação da bateria.

A análise comparativa dos resultados obtidos através da descarga realizada nas amostras com a resistência de descarga de 150 Ω , conforme apresentado na Tabela 6, evidencia padrões semelhantes no desempenho especificações dos fabricantes das baterias 18650.

Notavelmente, as amostras 1, 2, 3 e 4 demonstraram similaridades tanto em termos de capacidade quanto de tempo de descarga, indicando consistência entre essas amostras e os parâmetros coletados por meio do protótipo.

Tabela 6 – Resultados com resistência de descarga de 150 Ω .

| Bateria em teste | Tempo de Descarga (150 Ω) | Capacidade (mAh) |
|-------------------------|--|-------------------------|
| Amostra 01 | 06:54:50 | 1108 |
| Amostra 02 | 06:48:13 | 1092 |
| Amostra 03 | 06:15:08 | 998 |
| Amostra 04 | 06:48:13 | 1032 |
| Amostra 05 | 06:15:08 | 748 |

Fonte: O Autor (2023).

Em contraste, a amostra 5 apresentou uma disparidade significativa, manifestando uma capacidade inferior e um tempo de descarga menor em relação às demais amostras.

Tabela 7 – Resultados com resistência de descarga de 10k Ω .

| Bateria em teste | Tempo de Descarga (10k Ω) | Capacidade (mAh) |
|-------------------------|--|-------------------------|
| Amostra 01 | 00:35:55 | 1130 |
| Amostra 02 | 00:36:10 | 1102 |
| Amostra 03 | 00:35:20 | 998 |
| Amostra 04 | 00:35:30 | 1044 |
| Amostra 05 | 00:29:30 | 728 |

Fonte: O Autor (2023).

Os resultados semelhantes da capacidade das baterias demonstrados nas Tabelas 6 e 7, fortalecem a consistência dos dados obtidos. A análise comparativa, com novas informações, proporciona uma compreensão mais robusta do desempenho

das baterias em teste e do protótipo desenvolvido, destacando a influência crucial do valor da resistência no tempo de descarga das baterias 18650.

A ausência de informações detalhadas sobre as margens de erro fornecidas pelos fabricantes das baterias é um ponto significativo na avaliação dos resultados. Portanto nesse contexto, a margem de erro não está sendo considerada.

Esta omissão destaca a importância de uma abordagem cautelosa na interpretação dos resultados, uma vez que a consideração das margens de erro é essencial para uma análise mais abrangente e precisa do desempenho das baterias 18650.

Em conclusão, o desenvolvimento e a implementação do protótipo para a mensuração das baterias 18650 mostrou-se satisfatório, proporcionando percepções sobre o desempenho desses dispositivos. A análise comparativa dos resultados obtidos permitiu uma compreensão das características das amostras testadas, ressaltando a utilidade e eficácia do estudo adotado.

5 CONCLUSÕES

O crescimento sem precedentes de dispositivos que se utilizam de baterias em sua utilização, traz preocupações a respeito das possibilidades da produção de células com baixa eficiência e capacidade com valores ilusórios.

No decorrer deste trabalho, buscou-se atingir os objetivos propostos, direcionados ao desenvolvimento de um protótipo destinado à análise da capacidade de armazenamento de baterias de íon-lítio em células 18650. Os resultados obtidos refletem o êxito na execução dos objetivos específicos delineados.

Inicialmente, a revisão bibliográfica permitiu uma compreensão aprofundada dos métodos empregados na avaliação da capacidade e integridade das baterias de íon-lítio, proporcionando uma base sólida para as etapas subsequentes do projeto. A etapa de projeto, por sua vez, conduziu à concepção de um dispositivo eficiente, utilizando *Arduíno* e um circuito com módulo medidor de corrente, capaz de medir com precisão a quantidade de carga das baterias.

A análise detalhada dos componentes essenciais para a implementação do protótipo contribuiu para a definição de um sistema robusto e confiável, apto a mensurar a capacidade de energia armazenada em células de bateria íon-lítio 18650. Além disso, a realização de experimentos comparativos entre diferentes células de baterias possibilitou a análise comparativa prática do protótipo, evidenciando sua eficácia na análise de desempenho.

O projeto realizado se apresentou como uma boa alternativa de teste para baterias com diâmetro e ligação de uma única forma, entretanto surgem pontos de melhoria e continuação do trabalho, conforme listados abaixo:

- Desenvolvimento da PCBA para melhor posicionamento dos componentes;
- Controle da corrente através da modulação *PWM*(*Pulse-Width Modulation*) com o transistor;
- Replanejamento de microcontrolador para utilização de um modelo com módulo de rádio frequência para desenvolvimento e utilização com interfaces web;
- Lista de componentes com alternativas de componentes para redução de custos e substituição.

Dessa forma, os resultados obtidos não apenas cumpriram os objetivos estabelecidos, mas também proporcionaram uma contribuição significativa ao campo da análise de baterias de íon-lítio. Este trabalho abre caminho para futuras pesquisas e aprimoramentos na avaliação de capacidade de armazenamento, trazendo *insights* valiosos para a otimização de dispositivos alimentados por baterias de íon-lítio.

REFERÊNCIAS

- ATAIDE, E. d. O. **Baterias Recarregáveis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) — UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO, 2018.
- SILVA GONÇALVES BENTO, B. A. da. **Baterias de lítio Wurth M-Cube, suas tipologias, durabilidade e reciclagem**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica)) — Atlântica – Instituto Universitário, 2022. Disponível em: https://repositoriocientifico.uatlantica.pt/bitstream/10884/1517/1/Tese_Mestrado_Bruno%20Bento_VF%20%281%29.pdf.
- BOBANAC, V.; BAŠIĆ, H.; PANDŽIĆ, H. Determining lithium-ion battery one-way energy efficiencies: Influence of c-rate and coulombic losses. In: IEEE. **IEEE EUROCON 2021-19th International Conference on Smart Technologies**. [S.l.], 2021. p. 385–389.
- BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. [S.l.]: Pearson Education do Brasil Ltda, 2013. v. 11.
- CARVALHO, A.; CARVALHO, A.; GALVÃO ROMÃO, U. Baterias de Íon de Lítio estado da arte e aplicações. v. 5, p. 86, 12 2019.
- EEMB CO., LTD. **Lithium Thionyl Chloride Battery Specification**. [S.l.], 2015.
- FULTON, L. et al. **Technology roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles**. [S.l.]: OECD/IEA, 2009.
- INCHANGE SEMICONDUCTOR COMPANY LIMITED. **IRLZ24N Datasheet (PDF)**. [S.l.], 1991.
- LINDEN, D.; REDDY, T. **Handbook of Batteries**. 3. ed. New York: McGraw Hill Professional, 2001.
- MACKENZIE, W. Global lithium-ion battery capacity to rise five-fold by 2030. Wood Mackenzie, 2022.
- MICHELINI, A. **BATERIAS RECARREGÁVEIS PARA EQUIPAMENTOS PORTÁTEIS**. 1. ed. Cotia: S.T.A. – Sistemas e Tecnologia Aplicada Ind. Com. LTDA., 2017.
- POSSA, P. R.; PASSOLD, F. Recarregador inteligente de baterias. In: CITESEER. **Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Recife**. [S.l.], 2006.
- SCHNEIDER, E. L. Contribuição À engenharia e ao ecodesign na avaliação do potencial de reuso de células de baterias descartadas de nimh e li-íon de telefonia celular. 2009.
- STA. **Construção, Formatos E Tamanhos Das Baterias De Lítio Íon**. sta-eletronica, 2022. Acessado em: 13/10/2023. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/construcao-formatos-e-tamanhos-das-baterias-de-litio-ion>.

TODAY, C. **Arduino Nano Tutorial – Pinout Schematics**. [s.n.], 2023. Acessado em: 22/08/2023. Disponível em: <https://www.circuitstoday.com/arduino-nano-tutorial-pinout-schematics>.

TORRES, G. Eletrônica para autodidatas, estudantes e técnicos. **Editora: Nova**, 2012.

UNIVERSITY, B. **How do Lithium Batteries Work?** [S.l.: s.n.], 2022. Acessado em: 22/02/2023.

XINXIANG HONGLI SUPPLY SOURCE TECHNOLOGY CO.,LTD. **SPECIFICATIONS FOR ICR18650-1200mAh**. [S.l.], 2019.

APÊNDICE A - CÓDIGO MICROCONTROLADOR

```

1
2 //UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
3
4 //Trabalho Conclus o de Curso
5
6 // ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA MENSURAR
7 // CAPACIDADE DE BATERIAS ON -LITIO MODELO 18650
8 // Joinville
9 // 2023
10 // Aluno : Carlos Eduardo Cherato
11 ///
12 ///
13
14 #include "U8glib.h"
15 #define MOSFET_Pin 2
16 #define Bat_Pin A0
17 #define Res_Pin A1
18 U8GLIB_SH1106_128X64 u8g(U8G_I2C_OPT_NONE);
19 float Capacidade = 0.0; // capacidade in mAh
20 float Res_Valor = 10.0; // Resistor valor Lei de Ohm
21 float Vcc = 4.64; // Tensao do Arduino 5V pin
22 float Corrente = 0.0; // Corrente em Amp
23 float mA=0; // Corrente em mA
24 float Bat_Volt = 0.0; // Tens o da bateria atual
25 float Res_Volt = 0.0; // Tens o entre o divisor de tensao
26 float Bat_Alta = 4.3; // Bateria considerada alta tensao
27 float Bat_baixa = 2.9; // Tensao nominal de descarga
28 unsigned long previousMillis = 0; // Tempo anterior em ms
29 unsigned long millisPassed = 0; // TEMPO ATUAL e in ms
30 float amostra1 =0;
31 float amostra2= 0;
32 int x = 0;
33 int row = 0;
34
35 // OLED Display fun o
36 void draw(void) {
37     u8g.setFont(u8g_font_fub14r); // selecionando fonte
38     if ( Bat_Volt < 1){
39         u8g.setPrintPos(10,40); // posi o
40         u8g.println("Sem Bateria !");
41     }
42     else if ( Bat_Volt > Bat_Alta){

```

```

43     u8g.setPrintPos(25,40);           // posi o
44     u8g.println(" Tens o m xima" });
45     else if(Bat_Volt < Bat_baixa){
46         u8g.setPrintPos(25,40);           //posi o
47         u8g.println("Tens o Baixa-V!");
48     }
49     else if(Bat_Volt >= Bat_baixa && Bat_Volt <Bat_Alta ){
50
51     u8g.drawStr(0, 20, "Volt: "); // StrinG no display, posi es x e
52     y
53     u8g.drawStr(0, 40, "Curr: ");
54     u8g.drawStr(0, 60, "mAh: ");
55     u8g.setPrintPos(58,20);           // posi o
56     u8g.print( Bat_Volt ,2); // display tensao bateria Voltage em Volt
57     u8g.println("V");
58     u8g.setPrintPos(58,40);           // posi o
59     u8g.print( mA,0); // display Corrente in mA
60     u8g.println("mA");
61     u8g.setPrintPos(58, 60);           // posi o
62     u8g.print( Capacidade ,1); // capacidade in mAh
63 }
64 }
65 //Buzzer Beep Function
66
67 void beep(unsigned char delay_time){
68 analogWrite(9, 20); // PWM sinal
69 delay(delay_time); // esperar delay em ms
70 analogWrite(Buzzer_Pin, 0); // 0 desliga
71 delay(delay_time); // esperar delay em ms
72
73 }
74
75 //Setup
76
77 void setup() {
78     Serial.begin(9600);
79     pinMode(MOSFET_Pin, OUTPUT);
80     // pinMode(Buzzer_Pin, OUTPUT);
81     digitalWrite(MOSFET_Pin, LOW); // MOSFET desliga quando ativado
82
83     Serial.println("Limpar data");
84     Serial.println("LABEL,Tempo,Bat_Volt,Capacidade");
85
86     //Serial.println("TESTE ");
87     //Serial.println(" Corrente mAh");
88 }

```



```

89 // Main function
90 void loop() {
91
92
93 // Vcc = readVcc()/1000.0; // Conversor da tensao
94
95
96 // Divisor de tensao = Bat_Volt * R2/(R1+R2 ) // R1 =10K and R2 =10K
97
98 // Mensurando Tens o da bateria
99
100 for(int i=0;i< 100;i++)
101 {
102 amostra1=amostra1+analogRead(Bat_Pin); //L tens o do circuito
    divisor
103 delay (2);
104 }
105 amostra1=amostra1/100;
106 Bat_Volt = 2* amostra1 *Vcc/ 1024.0;
107
108 // Mensurando Tens o do Resistor
109
110 for(int i=0;i< 100;i++)
111 {
112 amostra2=amostra2+analogRead(Res_Pin); //L tens o do circuito
    divisor
113 delay (2);
114 }
115 amostra2=amostra2/100;
116 Res_Volt = 2* amostra2 * Vcc/ 1024.0;
117
118 /*Checando as condi es possiveis
119
120 if ( Bat_Volt > Bat_Alta){
121 digitalWrite(MOSFET_Pin, LOW); // Desliga o MOSFET // Sem descarga
122 beep(200);
123 Serial.println( "Cuidado, tens o da bateria alta ");
124 delay(1000);
125 }
126
127 else if(Bat_Volt < Bat_baixa){
128 digitalWrite(MOSFET_Pin, LOW);
129 beep(200);
130 Serial.println( "Cuidado tens o da bateria baixa ");
131 delay(1000);
132 }
133 else if(Bat_Volt > Bat_baixa && Bat_Volt < Bat_Alta ) { // verifique

```

```
se a tens o da bateria est dentro do limite seguro
134     digitalWrite(MOSFET_Pin, HIGH);
135     millisPassed = millis() - previousMillis;
136     Corrente = (Bat_Volt - Res_Volt) / Res_Value;
137     mA = Corrente * 1000.0 ;
138     Capacidade = Capacidade + mA * (millisPassed / 3600000.0); // 1
hora = 3600000ms
139     previousMillis = millis();
140     Serial.print("DATA,TEMPO,"); Serial.print(Bat_Volt); Serial.print(
","); Serial.println(Capacidade);
141     row++;
142     x++;
143     delay(4000);
144
145     }
146
147     //*****
148
149     u8g.firstPage();
150     do {
151         draw();
152     } while( u8g.nextPage() );
153
154     //*****
155 }
```