

**CENTRO PAULA SOUZA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ**

Curso Superior De Tecnologia em Eletrônica Automotiva

**DIEGO DE SOUZA PEDRETE  
JULIANO MARÇAL CORREIA  
MARCUS VINICIUS DA SILVA**

**GERENCIAMENTO DE CARGA DE BATERIA DO TIPO  
CHUMBO – ÁCIDO**

**Santo André – SP  
2020**

**DIEGO DE SOUZA PEDRETE  
JULIANO MARÇAL CORREIA  
MARCUS VINICIUS DA SILVA**

**GERENCIAMENTO DE CARGA DE BATERIA DO TIPO  
CHUMBO – ÁCIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Fatec Santo André como  
requisito parcial para obtenção do título  
de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva

Sob Orientação do Prof.º Luiz V. Puglia.

**Santo André – SP  
2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

P371g

Pedrete, Diego de Souza

Gerenciamento de carga de bateria do tipo chumbo-ácido / Diego de Souza Pedrete, Juliano Marçal Correia, Marcus Vinícius da Silva. - Santo André, 2020. – 63f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2020.

Orientador: Prof. Luiz Vasco Puglia

1. Eletrônica. 2. Veículos. 3. Gerenciamento de carga. 4. Bateria chumbo-ácido. 5. Tecnologia. 6. Eletrônica analógica. 7. Microcontroladores. I. Correia, Juliano Marçal. II. Silva, Marcus Vinícius da. III. Gerenciamento de carga de bateria do tipo chumbo-ácido.

621.38153

DIEGO DE SOUZA PEDRETE  
JULIANO MARÇAL CORREIA  
MARCUS VINICIUS DA SILVA

## **GERENCIAMENTO DE CARGA DE BATERIA DO TIPO CHUMBO – ÁCIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a FATEC SANTO ANDRÉ como requisito parcial à obtenção de título de Tecnólogo em Eletrônica Automotiva.

### **BANCA EXAMINADORA**

**Local: Fatec Santo André**  
**Horário: 05:00 a.m.**  
**Data: 10/12/2020**

Prof. Dr. Luiz Vasco Puglia  
Presidente da Banca  
Fatec Santo André

Prof. MSc. Suely M. Aoki  
Primeiro membro da Banca  
Fatec Santo André

Prof. MSc. Wesley M. Torres  
Segundo Membro da Banca  
Fatec Santo André

SANTO ANDRÉ - SP

2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos familiares e amigos por todo apoio e compreensão necessários nessa jornada acadêmica, a instituição FATEC Santo André pela oportunidade de aprendizado e toda infraestrutura disponibilizada. Um agradecimento especial aos professores Luiz Vasco Puglia e Fernando Garup Dalbo pelas orientações e conselhos, sem os quais, não seria possível concluir este trabalho.

*“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”*

**ALBERT EINSTEIN**

## RESUMO

Atualmente, o uso de baterias se torna cada vez mais crescente em nosso cotidiano, seja para dar a partida em um automóvel, como fonte de energia para um smartfone ou para manter em funcionamento equipamentos essenciais em um hospital, as baterias se mostram indispensáveis meios de armazenamento de energia para uso em nossa sociedade. Entretanto, com o aumento da demanda do uso de baterias temos proporcionalmente o aumento do volume de lixo químico gerado. Contudo, observamos que diversos estudos e pesquisas vêm sendo desenvolvidos para suprir a necessidade de que as baterias durem cada vez mais, em função da evolução da tecnologia e da forma como lidamos com ela. Este trabalho tem como objetivo desenvolver o estudo de um sistema de gerenciamento de carga de baterias do tipo Chumbo-Ácido com a finalidade de prolongar sua vida útil, gerando maior economia e sustentabilidade. Para tal, utilizaremos dos conhecimentos adquiridos ao deste curso, com foco nas matérias de eletrônica analógica, microcontroladores e carga e partida, além da pesquisa em trabalhos acadêmicos com propósito semelhante.

Palavras-chave: Bateria chumbo-ácido. Gerenciamento de carga. Eletrônica analógica. Microcontroladores.

## **ABSTRACT**

Nowadays, the use of batteries becomes more and more increasing in our daily lives, whether to start a car, as a source of energy for a smartphone or to keep essential equipment in operation in a hospital, batteries are indispensable means of energy storage for use in our society. However, with the increasing demand for the use of batteries, we have proportionally increased the volume of chemical waste generated. However, we observed that several studies and researches have been developed to supply the need for batteries to last longer and longer, due to the evolution of technology and the way we deal with it. This work aims to develop the study of a lead-acid battery charge management system with the purpose of extending its useful life, generating greater savings and sustainability. To this end, we will use the knowledge acquired during this course, focusing on the subjects of analog electronics, microcontrollers and charging and starting, in addition to research on academic works with a similar purpose.

**Keywords:** Lead-acid battery. Load management. Analog electronics. Microcontrollers.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Carro elétrico de Thomas Parker usando a bateria chumbo-ácido (1843 -1915) .....	20
Figura 2 – Associação ao desempenho da bateria.....	26
Figura 3 – Sentido do fluxo de elétrons na descarga.....	27
Figura 4 – Sentido do fluxo de elétrons na carga .....	28
Figura 5 – Os segmentos de uma bateria chumbo ácido, tipo VRLA.....	31
Figura 6 – Bateria inchada com gases produzidos internamente.....	39
Figura 7 – Diagrama em blocos – BMS.....	40
Figura 8 – Bateria após de ser queimada.....	42
Figura 9 – Diagrama dos componentes do ESP 32.....	43
Figura 10 – Pinagem do ESP 32.....	43
Figura 11 – Representação do Modelo de Circuito Paralelo.....	46
Figura 12 – Representação do Modelo de Circuito Série.....	47
Figura 13 – Esquemática do Circuito.....	48
Figura 14 – Desfecho do Circuito.....	53
Figura 15 – Quatro células com duas ramificações.....	54
Figura 16 – Fluxogramas do Desfecho do Programa.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Tipos de bateria.....	23
Tabela 2 –Tempo de carga em regimes distintos.....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Modificação da resistência em função da temperatura, referenciando a bateria de chumbo-ácido.....	33
Gráfico 2 – Representação da particularidade de carregamento (Carga Lenta).....	35
Gráfico 3 – Representação da particularidade de carregamento (Carga Rápida)....	36
Gráfico 4 – Curva específica de descarga lenta.....	37
Gráfico 5 – Curva específica de descarga lenta.....	38
Gráfico 6 – Leitura ADC: Gerado x Lido.....	50
Gráfico 7 – Leitura ADC: Gerado – Lido = Diferença.....	51
Gráfico 8 – Leitura ADC: Diferença.....	51
Gráfico 9 – Leitura ADC: Diferença divididas em trechos.....	52

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Reação Global.....	29
Equação 2 – Equações Químicas.....	30
Equação 3 – Correção do ADC da ESP I.....	52
Equação 4 – Correção do ADC da ESP II.....	52
Equação 5 – Lei de Ohm.....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>BMS</b>	<i>Battery Management System</i>
<b>ESP32</b>	<i>Microcontrolador Espressif</i>
<b>SOC</b>	<i>State Of Charge</i>
<b>SOL</b>	<i>State Of Life</i>
<b>SOH</b>	<i>State Of Health</i>
<b>DOD</b>	<i>Depth Of Discharge</i>
<b>ADC</b>	<i>Analog to Digital Converter</i>
<b>VRLA</b>	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>
<b>STA</b>	Sistemas e Tecnologia Aplicada
<b>IBER</b>	Instituto Brasileiro de Energia Reciclável
<b>USB</b>	<i>Universal Serial Bus</i>
<b>MOSFET</b>	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
<b>TJB</b>	<i>Bipolar Junction Transistor</i>
<b>VCE</b>	Tensão de coletor e emissor
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>Wi-Fi</b>	<i>Wireless Fidelity</i>
<b>CPU</b>	<i>Central Processing Unit</i>
<b>IDE</b>	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
<b>GPIO</b>	<i>General Purpose Input/Output</i>
<b>NPN</b>	<i>Negativo-Positivo-Negativo</i>
<b>NTC</b>	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
<b>PTC</b>	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
<b>UPS</b>	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
<b>RTOS</b>	<i>Real Time Operating System</i>
<b>OVC</b>	<i>Open Circuit Voltage</i>
<b>CI</b>	Circuito Integrado
<b>COVID-19</b>	<i>Coronavirus Disease 2019</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Li-ion</b>	Lítio-Íon
<b>PbO<sub>2</sub></b>	Peróxido de Chumbo
<b>Pb</b>	Chumbo
<b>PbSO<sub>4</sub></b>	Sulfato de Chumbo
<b>Ni-Mh</b>	Níquel Metal-Hidreto
<b>Ni-Cd</b>	Níquel-Cádmio
<b>Ni-Fe</b>	Níquel-Ferro
<b>1C</b>	Carga e Descarga em corrente nominal
<b>V</b>	Volt
<b>°C</b>	Graus Celsius
<b>%</b>	Porcentagem
<b>B</b>	Bytes
<b>K</b>	Quilo
<b>M</b>	Mega
<b>G</b>	Giga
<b>Hz</b>	Hertz
<b>mm</b>	Milímetros
<b>Kg</b>	Quilograma
<b>L</b>	Litros
<b>h</b>	Horas
<b>mA</b>	Miliampere
<b>Ω</b>	Ohms
<b>R</b>	Resistência

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	Motivação.....	17
1.2	Objetivo.....	18
1.3	Resultados Esperados.....	18
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
2.1	Bateria.....	19
2.1.1	Células Primárias e Secundárias.....	21
2.1.2	Características importantes de uma bateria.....	22
2.1.3	Estado Da Carga.....	24
2.1.3.1	Tipos de Estados de uma Bateria.....	25
2.1.4	Carga e Descarga.....	25
2.2	Baterias de Chumbo-Ácido.....	29
2.2.1	Química Interna.....	29
2.2.2	Aparência Construtiva.....	30
2.2.3	Resistência Interna da Bateria.....	32
2.3	Pilhas de Níquel Hidreto.....	33
2.3.1	Prós e Contra da Bateria Níquel Metal Hidreto.....	34
2.3.2	Curva de Carga e Descarga.....	35
2.3.3	Precauções com os Métodos de Carga e Descarga.....	38
2.4	Sistemas de Gerenciamento das Baterias.....	39
2.4.1	Gestão das Células.....	39
2.4.2	Módulos.....	40
2.4.3	Pontos de Cuidados.....	41
2.5	ESP32.....	42

<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
3.1	Determinações.....	46
3.2	Explicação sobre a Tensão de Operação.....	47
3.3	Itens para o Chaveamento Eletrônico.....	48
3.4	Estruturação Série x Paralelo.....	49
3.5	Aplicação da ESP 32.....	50
3.6	Regulação do ADC da ESP 32.....	50
3.7	Constatação da corrente pelo Resistor Shunt.....	52
3.8	Desfecho da Estrutura do Hardware.....	53
3.9	Desfecho da Estrutura do Software.....	55
<b>4.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>PROPOSTA FUTURAS.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A sustentabilidade ambiental vem sofrendo excessivos impactos promovidos pelo homem, é importante lembrar que o nosso futuro depende do trabalho sustentável a qual fazemos hoje. E é pensando nisto que sistemas tecnológicos vem sendo desenvolvido com mais destreza, resultando em maiores ganhos no campo de armazenamento de energia, embora exista uma lacuna entre ao que antes existiam oportunidades de melhorias ou impossibilidades de ser criado por conta da falta de mão de obra qualificada.

Neste caso um dos itens que está em questão; são as condições eficazes de armazenamento de energia da Bateria de Chumbo atrelado ao *Battery Management System* (BMS), de forma que este potencial tenha objeto de baixa graduação, podendo a suportar tecnologias com níveis muito maiores, isto é, um método resistente com espaço linear resumido .

Criada através do físico francês, Gaston Planté em 1859, uma célula constituída por uma placa de óxido de chumbo e outra de chumbo metálico, imersas em ácido sulfúrico, produzindo sulfato de chumbo, vem ao longo do período sendo armazenada em produtos como: pilhas ou baterias. Esses componentes são comuns em nosso dia-a-dia e foram afetados por essa onda de tecnologia. Exemplo, a pilha alcalina, que foi a principal fonte portátil de energia, com componente atômico mais fácil de manipular e capaz de armazenar/produzir, mesmo sabendo que outros componentes apresentavam uma reação superior para armazenamento. Isso é válido para baterias, sobretudo as veiculares que são construídas tendo como essencial a matéria-prima, o chumbo. Todavia, passará a manipulação de componentes atômicos em outros níveis, as pilhas e baterias adotaram as células de Lítio-Íon (Li-Íon) conforme a mais praticável para o armazenamento de energia. Junto a isto, conseguimos apresentar células com uma durabilidade superior, absorvendo maiores demandas de energia , agregando nas baterias. Nos dias atuais, as baterias a base de lítio estão difundidas em diversos produtos como: notebook, meios de transporte (Carros, aviões, barcos), sistema de energia solar, e alguns aparelhos eletrônicos.

Sistemas que necessitam operar com tensões de maior amplitude, utilizam o recurso de associação série/paralelo de baterias com essa finalidade.

Durante o andamento de recarga desses elementos, é necessária notável concentração na equalização da energia fornecida a cada elemento. Equipamentos

destinados a isto, recebem a denominação de *Battery Management System* (BMS), basicamente um método que administra todo o bloco de baterias de forma que ela possa restituir uma melhor atuação aos produtos. Simultaneamente a isto, têm-se uma qualidade superior e comando da energia gasta e armazenada, além de protelar a vida da bateria.

O BMS só foi desenvolvido devido a necessidade da bateria de lítio, para que ela funcione de forma adequada a partir desse suporte. Ou seja, a tecnologia do sistema de armazenamento está evoluindo, e com isso foi possível criar conjuntos.

Com base nessa linha de transformação, se fosse possível aplicar este sistema em baterias com outras composições, poderia extrair uma melhor atuação delas. Vale destacar que a bateria de lítio possui um valor agregado alto, e as baterias convencionais com custos mais acessíveis, ainda são comercializadas e tem diversos sistemas que dependem delas. Sendo que a proposta do nosso trabalho é agregar valor em ganho na vida útil através do acompanhamento e equalização da carga, resultando na redução dos gastos, ganhos de confiabilidade e que seja aliada na Sustentabilidade Ambiental.

## **1.1 Motivação**

As baterias de chumbo-ácido desempenham papel importante para o funcionamento e manutenção de diversas atividades essenciais para nossa sociedade, porém sua utilização muitas vezes passa despercebida. Dentre elas estão os serviços médicos e hospitalares, a onde sua utilização vai desde a circulação de ambulâncias e o transporte de médicos e enfermeiros, até a viabilização de unidades de saúde pelo funcionamento de máquinas e equipamentos que utilizam baterias.

O abastecimento de alimentos, produtos de higiene e limpeza também é garantido pelo uso das baterias, que ainda auxiliam no funcionamento de grandes estabelecimentos que utilizam sistemas interligados que necessitam da utilização de nobreaks contra eventuais quedas no fornecimento de energia como supermercados, farmácias e aeroportos (IBER – Instituto Brasileiro de Energia Reciclável).

Deste modo, fica evidente a necessidade do uso das baterias de chumbo-ácido em nosso cotidiano, o que justifica qualquer pesquisa com o objetivo de estudo e desenvolvimento de um sistema para prolongar sua vida útil.

## **1.2 Objetivo**

Este trabalho tem o objetivo de estudar um sistema de monitoramento de baterias semelhante as de Li-íon com o intuito de iniciar o desenvolvimento de um sistema básico com possível aplicação em baterias do tipo chumbo-ácido, a fim de prolongar a sua vida útil. Inicialmente aplicamos a estratégia de gerenciamento de um sistema BMS sobre pilhas recarregáveis para validar o conceito.

## **1.3 Resultados Esperados**

Como resultado final, esperamos desenvolver um estudo que facilite a correta compreensão do funcionamento de um sistema de gerenciamento de baterias, de forma a auxiliar no desenvolvimento de sistemas semelhantes. E ainda, iniciar o desenvolvimento de um sistema capaz de gerenciar um conjunto de células do tipo chumbo-ácido de forma eficiente.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Seguindo a proposta de entregar um sistema BMS para as baterias de chumbo-ácido, neste capítulo será apresentado uma breve concepção do funcionamento das baterias (incluindo as de chumbo-ácido), BMS e apreciar os recursos que o módulo ESP32 pode agregar para o desenvolvimento do projeto.

### 2.1 Bateria

As baterias são dispositivos que convertem energia química em energia elétrica, através de reações químicas com transferência de elétrons de um material para outro.

Em 1859 foi desenvolvida uma bateria de chumbo-ácido por Gaston Planté, onde a energia é obtida através utilização de placas de chumbo com eletrodos, que poderiam ser carregados e recarregados.

Essa aplicação da bateria, despertou uma corrida pelo desenvolvimento de baterias que pudessem agir rapidamente. Todavia como no século XIX, o dínamo e a lâmpada já haviam sido inventados, surgiu a necessidade de sistemas que pudessem armazenar a energia elétrica para diversas aplicações.

Um dos inventores que melhor compreendeu esta necessidade foi Emile Alphonse Faure (também conhecido como Camille Alphonse Faure), que em 1881 desenvolveu um módulo de revestir os dois lados da placa de chumbo, com uma pasta pó de chumbo e com ácido sulfúrico. E de agora em diante, as baterias seriam constituídas por 6 células, cada uma gerando 2V, ao conectar com as 6 células em série, resultando em 12V da bateria do veículo automotivo.

Contudo esse projeto Faure melhorou a condutividade, a durabilidade e a manufatura da bateria, aumentando sua produção em grande escala. Onde pode ser demonstrado na figura 1.

**Figura 1 – Carro elétrico de Thomas Parker usando a bateria chumbo-ácido, (1843 – 1915)**



**Fonte:** (Brasilagro, 2019).

Segundo o *Sistemas e Tecnologia Aplicada* (2020), pode-se afirmar que com o passar do tempo a bateria de chumbo ácido evoluiu e hoje temos as baterias de chumbo seladas - VRLA (*Valve-Regulated Lead Acid* – bateria de chumbo-ácido regulada por válvula) ou bateria de gel que é um tipo de bateria de chumbo-ácido livre de manutenção.

Por ser selada pode estar em ambientes fechados, pois não libera gases nocivos. E são aplicados em nobreaks, sistemas de alarme, geração de energia eólica, luz de emergência, telecomunicações e brinquedos elétricos.

Em 1899, Waldmar Jungner, da Suécia, inventou a bateria recarregável de níquel-cádmio (NiCd) que usava níquel como eletrodo positivo (cátodo) e cádmio como negativo (ânodo). O alto custo do material em comparação com chumbo limitou seu uso.

Dois anos depois, Thomas Edison substituiu o cádmio por ferro, inventando a bateria de níquel-ferro (NiFe).

Problemas tais como baixa energia, mau desempenho em temperaturas baixas ou elevadas e auto descarga excessiva limitaram o sucesso dessa bateria.

Com o passar dos anos a bateria NiCd evoluiu, conseguindo-se correntes mais elevadas, maior longevidade bem como se conseguiu produzir células seladas e pequenas. Durante muitos anos, o NiCd foi a única bateria recarregável para aplicações portáteis, porém essa bateria causa danos ao meio ambiente quando não é descartada adequadamente.

Na década de 1990, os ambientalistas na Europa começaram a trabalhar para que o uso dessa bateria fosse bastante limitado. Hoje a comercialização dessas baterias é restrita em vários países por questões ambientais.

A alternativa que tomaram foi ter a bateria de níquel-hidreto metálico - NiMh, uma bateria mais ecológica e que tem características semelhantes à bateria de NiCd, porém com melhor desempenho em termos de energia específica.

A bateria de níquel-hidreto metálico causa muito menos danos ao meio ambiente do que as baterias de níquel-cádmio. As baterias de níquel-hidreto metálico são uma espécie de continuação das baterias de níquel-cádmio.

Atualmente, a maioria das pesquisas gira em torno das baterias de lítio, comercializadas pela primeira vez pela Sony em 1991. Além de alimentar telefones celulares, laptops, câmeras digitais, ferramentas elétricas e dispositivos médicos, o lítio também é usado para veículos elétricos e satélites. A bateria tem uma série de benefícios, tais como sua alta energia específica, carga simples, baixa manutenção e causa menores danos ao ambiente.

Existem vários tipos de baterias, com diferentes concepções de tecnologia que conseqüentemente, geram distintas características e processos de funcionamento. Em geral, as baterias não possuem um aproveitamento completo de energia que são adquiridas, desde que uma parcela é perdida em forma de calor durante as reações químicas referente à sua operação.

### **2.1.1 Células Primárias e Secundárias**

As pilhas e baterias são materiais que convertem energia química (por processos de reações de óxido-redução) em energia elétrica. Elas podem ser classificadas em duas particularidades: primárias e secundárias.

As primárias são chamadas baterias não recarregáveis. Isso surge principalmente porque essas baterias não podem ser carregadas novamente quando estão gastas e param de funcionar. Ainda que não sejam reutilizáveis, as células primárias são bastante essenciais para armazenamento de energia para utilização a longo período, porque sua taxa de descarga automática é relativamente baixa. Uma bateria primária ou uma célula primária é composta de um ânodo (extremidade carregada positivamente) e cátodo (extremidade carregada negativamente). A grafite é geralmente usada como cátodo e o zinco é usado como ânodo. Reações de oxidação ocorrem no ânodo onde os elétrons são doados ao circuito e as reações de redução ocorrem no cátodo, onde os elétrons são aceitos de fora. Há também um eletrólito que é útil para fazer uma passagem para a corrente elétrica. O eletrólito é composto de íons carregados eletricamente que podem carregar sua carga entre o cátodo e o ânodo.

As secundárias são consideradas como baterias secundárias ou pilhas recarregáveis. Essas baterias podem ser utilizadas várias vezes, pois podem ser carregadas no caso de interrupção do funcionamento. As reações químicas que ocorrem nessas baterias são reversíveis. Isso indica que essas reações podem ser revertidas pela aplicação de uma carga elétrica. Mas, ao oposto das baterias primárias, as baterias secundárias carecem de ser carregadas antes do uso. Baterias secundárias divergentes fornecem funções diferentes. Portanto, o usuário deve pressupor de qual tipo de bateria pode ser conveniente para uma necessidade específica. Essas baterias inclusive têm um cátodo e ânodo, como as baterias primárias. Reações de redução ocorrem no cátodo, enquanto as reações de oxidação ocorrem no ânodo. Um bom exemplo para células secundárias é a bateria de armazenamento de chumbo-ácido (STREPHONSAYS, 2020).

### **2.1.2 Características importantes de uma bateria**

Alguns parâmetros importantes permitem analisar o funcionamento da bateria:

- A auto-descarga é um processo químico natural em que a bateria perde a carga adquirida, ou seja, é a descarga da bateria quando não está sendo utilizada.
- O ciclo de uma bateria corresponde ao número de sequências de carga e descarga que a bateria possui, e é considerado um limite para uma certa profundidade

de descarga.

- A Densidade de energia corresponde à capacitação de energia padronizada pelo volume (Wh/L) ou pela massa (Wh/Kg) da bateria.

- Em uma bateria, os elétrodos são os componentes responsáveis pela oxidação eletroquímica (ânodo) e redução (cátodo). Quando a bateria atua como o fornecedor de energia para o sistema, sendo que o ânodo é o polo negativo da bateria e o cátodo é o polo positivo da mesma. E durante o carregamento, a polaridade é invertida (ânodo positivo e cátodo negativo).

- O eletrólito é o meio que concede a condução de íons entre os eletrodos ânodo e cátodo de uma bateria.

A seguir na tabela 1, são apresentadas as principais características de alguns tipos de baterias recarregáveis atualmente no mercado.

**Tabela 1 – Tipos de bateria**

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética [Wh/kg]	Densidade Energética [Wh/L]	Eficiência $\eta_{wh}$ [%]	Vida útil [anos]	Vida cíclica [ciclos]	Temperatura de operação		Aplicações típicas (exemplos)
							Carga padrão [°C]	Descarga [°C]	
Chumbo ácido <sup>7</sup> (Pb-ácido)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20–40	50–120	80–90	3–20	250–500	–10 a +40	–15 a +50	Uso estacionário, tração, automotiva
Níquel-Cádmio (NiCd)	KOH	30–50	100–150	60–70	3–25	300–700	–20 a +50	–45 a +50	Mesmo tipo de aplicações das baterias chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
Níquel-hidreto metálico (NiMH)	KOH	40–90	150–320	80–90	2–5	300–600	0 a +45	–20 a +60	Notebooks, celulares, câmeras fotográficas, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
Íon de Lítio (Li-ion, Li-polímero)	Polímeros orgânicos	90–150	230–330	90–95	–	500–1000	0 a +40	–20 a +60	Notebooks, celulares, filmadoras, smart cards, veículos elétricos e híbridos
Bateria alcalina recarregável de Manganês (RAM) <sup>8</sup>	KOH	70–100	200–300	75–90	–	20–50	–10 a +60	–20 a +50	Produtos de consumo, brinquedos
Cloreto de Níquel e Sódio (NaNiCl)	$\beta''$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~100	~150	80–90	–	~1000	+270 a +300	+270 a +300	Veículos elétricos e híbridos (possíveis aplicações estacionárias)

Fonte:(LUQUE; HEGEDUS, 2011).

Para determinar qual tipo de bateria deve ser empregada no sistema, é necessário considerar e pontuar os seguintes requisitos mais importantes:

- Custo inferior
- Alta eficácia energética
- Baixa descarga
- Longo período de vida
- Baixa revisão
- Fácil de usar

No momento presente, as baterias de chumbo-ácido são mais usadas em sistemas de provimento para cargas críticas (*Nobreaks* e UPS). Sendo que as tecnologias mais modernas das baterias, seriam a Níquel cádmio (NiCd), níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de lítio (íon-lítio), entre outras, que possuem maiores vantagens (maior eficiência, vida útil mais longa e maior profundidade de descarga), quando comparadas com as de Chumbo Ácido. Apesar de não serem economicamente viáveis na maior parte dos sistemas de alimentação de cargas críticas.

Em comparação com outras tecnologias, as baterias de chumbo-ácido são mais econômicas, ou seja, acessíveis e têm maior capacidade de reciclagem.

Desta forma, esta é a tecnologia mais adequada para os requisitos relacionados acima, principalmente em termos de baixo custo, grandemente utilizada em diversas aplicações e de fácil manutenção. E neste trabalho empregaram as baterias de chumbo-ácido, para pesquisa e comprovação do nosso objetivo geral, e a suas características específicas serão tratadas ao decorrer dos tópicos.

### **2.1.3 Estado Da Carga**

O estado da carga de uma bateria, também denominado como *State of Charge* (SOC), informa a quantidade de carga disponível no momento em uma bateria. O estado da carga é oferecido em porcentagem; portanto, se a bateria apresentar 100%, está totalmente carregada, se a mesma estiver vazia, informa que o SOC encontra-se com 0%.

As baterias de chumbo-ácido não devem ficar abaixo do limite, geralmente

assemelha-se na faixa de 20% a 40%. Abaixo deste limite pode resultar em descarga profunda, o que encurta muito a vida útil da bateria e danificará completamente a bateria. Embora o estado da carga possa ser fundamentado na capacidade nominal da bateria, isso não fornece uma indicação real da quantidade de carga disponível atualmente.

A razão é que o estado da carga também depende de outros fatores, como temperatura ambiente, células, idade e histórico da bateria (IDEATEK, 2020).

### **2.1.3.1 Tipos de Estados de uma Bateria**

O BMS também pode identificar outros estados da bateria além do *State of Charge* (SOC), que seria: Estado de Vida (*State of Life-SOL*), Estado de Saúde (*State of Health-SOH*) e Profundidade de Descarga (*Depth of Discharge-DOD*) (SALAS-PUENTE; MARZAL; et al., 2018).

Cada um dos estados de referência armazena informações da BMS sobre o estado da Bateria, formando um conjunto de informações que concede controle da carga e descarga do sistema (PILVELAIT; BRUCE; et al., 2013).

SOL e SOH são informações sobre a saúde da célula e sua duração de vida. Com essas duas informações, o BMS tem capacidade de determinar parâmetros que mudam com o tempo, conforme o uso das células (PILVELAIT; BRUCE; et al., 2013).

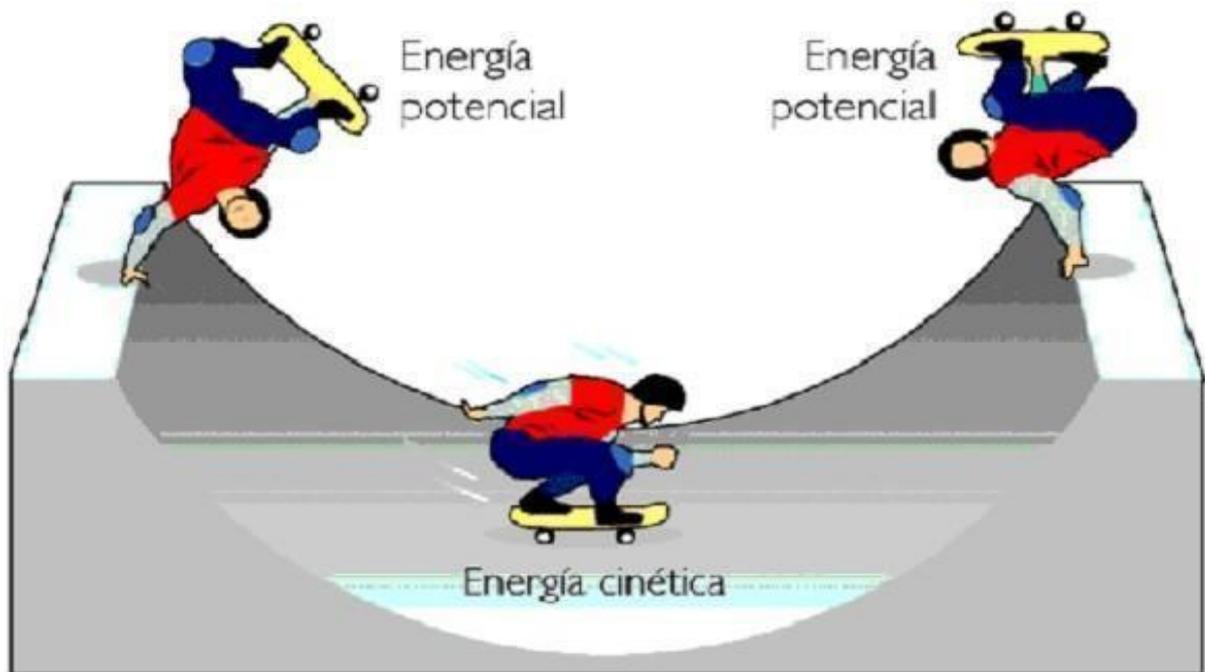
“DOD é a profundidade da descarga, ou seja, o quanto a célula pode descarregar. Com essa informação a BMS consegue determinar quanto aquela célula pode oferecer de energia” (SALAS- PUENTE; MARZAL; et al., 2018, p.31).

### **2.1.4 Carga e Descarga**

A operação da bateria está relacionada à energia potencial, mas não exatamente energia potencial gravitacional, mas energia potencial eletroquímica, ambos têm a mesma concepção, mas são aprendizados divergentes dos conhecimentos físicos (PLETT, 2015, p. 4-8).

Na figura 2, podemos relacionar o desempenho da bateria com a de um skatista em uma rampa, onde nas partes superiores são os polos da bateria, a rampa é o trajeto de um polo ao outro por meio do dielétrico e o skatista são os elétrons (PLETT, 2015, p. 4-8).

**Figura 2 – Associação ao desempenho da bateria**



Fonte: (globo/educação,2020).

Portanto, por meio da gravidade se jamais ocorreu nada que o segure em uma das partes ou atrito, o skatista irá ser puxado para baixo, mas irá se estabilizar na parte inferior e estacionária, se não houver nada que o desloque para o outro lado.

Quando carregamos a bateria, nós alteramos para estado de maior potencial de energia. E caso descarregarmos uma célula de bateria, nós colocamos em um estado de menor energia potencial.

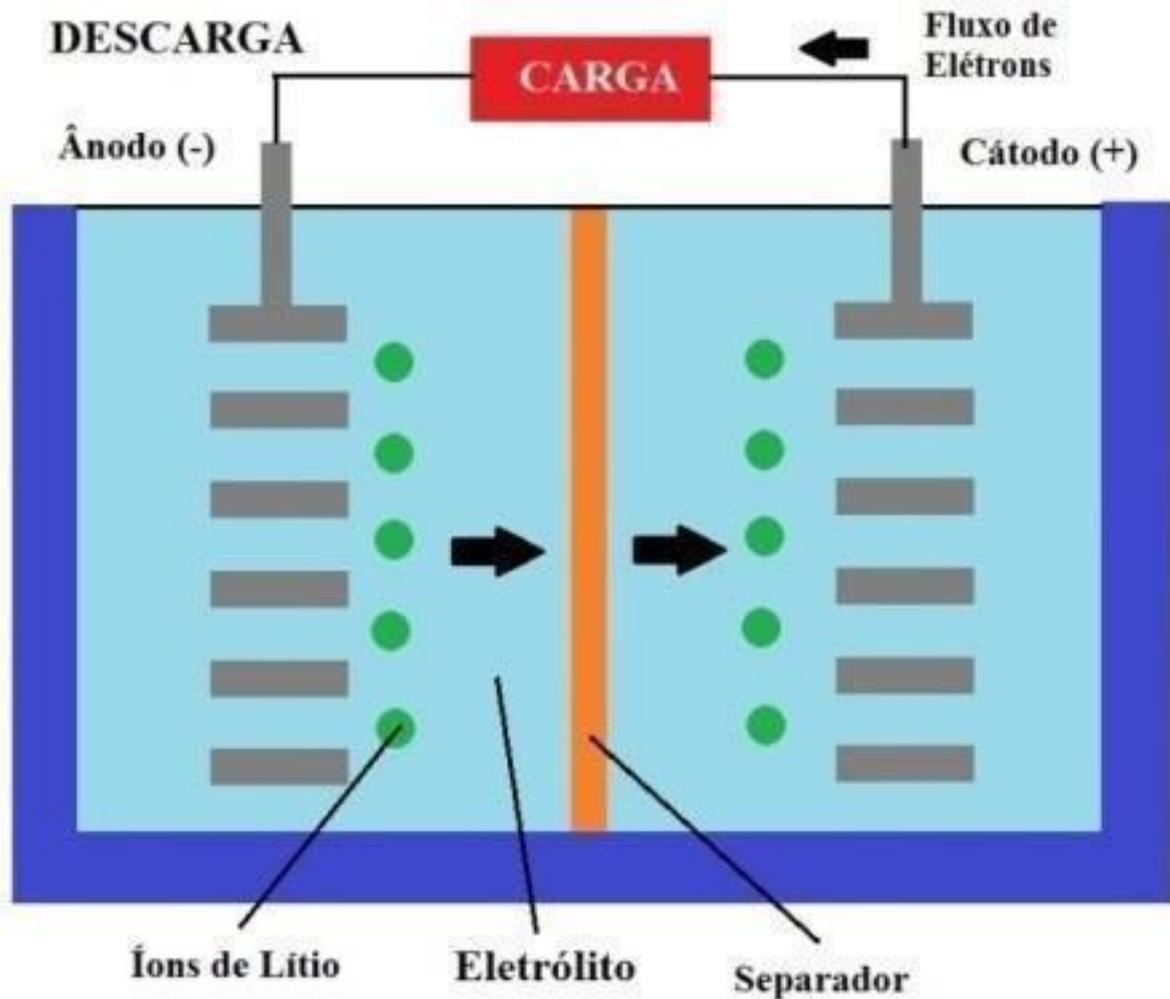
Porém no momento que a bateria está totalmente descarregada, ela está em seu estado mais baixo de energia potencial ou seja que não pode ser mais liberada a carga, no qual podemos fazer a comparação do skatista na parte inferior da rampa (PLETT, 2015, p. 4-8).

Na Figura 3, distinguimos o rumo dos elétrons que circulam para descarregar a bateria. E correlacionando o skatista, este processo de descarga só irá ocorrer, quando houver uma força agindo ou seja a eletroquímica.

Em uma bateria, você precisa de um circuito externo que requer o fornecimento

de energia da bateria, mudando o potencial negativo para o positivo e com isso gerar cátions no eletrólito (PLETT, 2015, p. 4-8).

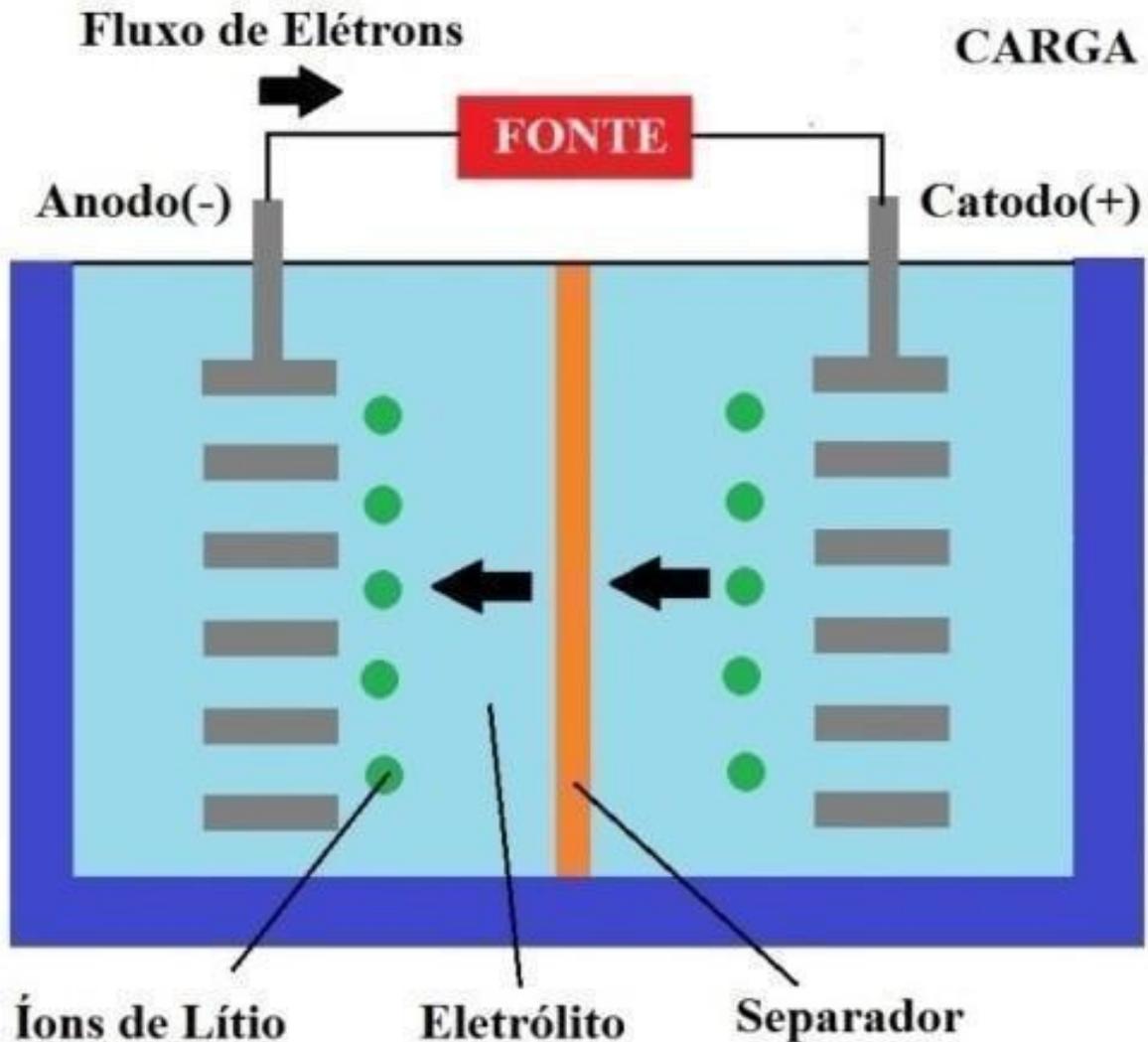
Figura 3 – Sentido do fluxo de elétrons na descarga



Fonte: (Sistemas e Tecnologia Aplicada, 2020).

O potencial elétrico da bateria é usado para alimentar um circuito externo conectado à bateria, por meio de células eletroquímicas. Para o processo reverso (carregamento da bateria), da mesma forma que a descarga, emprega um circuito externo para fazer os elétrons se moverem do positivo ao negativo, e os cátions deslocam-se para o eletrodo (Figura 4).

Figura 4 – Sentido do fluxo de elétrons na carga



**Fonte:** (Sistemas e Tecnologias Aplicadas,2020).

Para que os elétrons passem por esse movimento, deve haver uma diferença de potencial entre o circuito externo e a bateria, onde a tensão do circuito deve ser maior que a tensão da célula. Desta forma, a energia é devolvida à bateria por meio de um processo eletroquímico, que agora converte a energia elétrica em química, reconstruindo assim a química da bateria (PLETT, 2015, p. 4-8).

Por outro lado, as baterias secundárias ou recarregáveis são especiais no sentido de que suas reações químicas foram projetadas, ou selecionadas para serem completamente reversíveis. Os compostos químicos primários que modificam quando descarregamos as células da bateria, de fato são reconstruídos em sua forma original através de um potencial externo entre os eletrodos que introduzem a energia na célula (PLETT, 2015, p. 4-8).

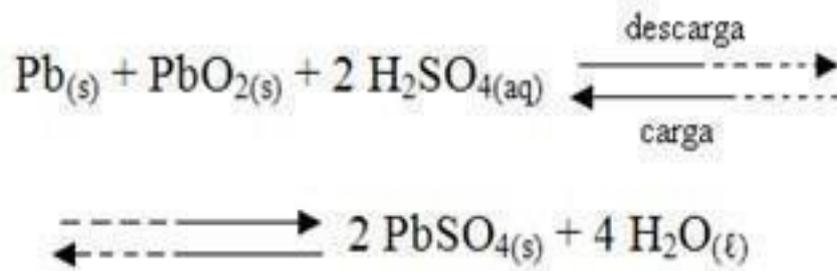
## 2.2 Baterias de Chumbo-Ácido

A bateria de chumbo-ácido foi criada na França, na segunda metade do século XIX (1860), e sua disseminação ocorreu no início do século XX. Desde então, sua tecnologia não mudou muito e sua composição utiliza basicamente chumbo e ácido sulfúrico.

O chumbo é usado para elétrodos da bateria e atualmente está presente no polo negativo na forma de chumbo poroso puro (cátodo), enquanto o dióxido de chumbo (ânodo) no polo positivo; ambos estão submergidos em uma solução de ácido sulfúrico e na substância aquosa que compõem o eletrólito, onde é encarregado pelo deslocamento de elétrons em cada uma das células eletroquímicas (unidades básicas da bateria).

No decorrer da descarga da bateria, o ácido sulfúrico reage com o material ativo da placa do eletrodo para produzir água. Enquanto no processo de carga, o método é invertido: como evidenciado na equação 1 abaixo, o chumbo poroso, dióxido de chumbo e ácido sulfúrico são formados a partir do sulfato de chumbo.

**Equação 1 – Reação Global**



Fonte: (Exercícios Brasil Escola, 2020).

### 2.2.1 Química Interna

A bateria atua de acordo com o processo eletroquímico (fenômeno que converte a energia química em energia elétrica e vice-versa). Em outras palavras, a oxidação (transferência de elétrons) e a redução (recepção de elétrons) ocorrem dentro da bateria, nas quais as espécies oxidadas são chamadas de agentes redutores, e os agentes oxidantes são os que sofrem redução (CARNEIRO; MOLINA; et al., 2017).

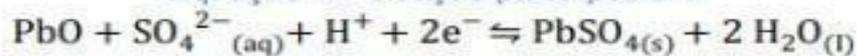
O processo de desenvolvimento em uma bateria, depende de uma reação

química que a converte em energia elétrica. Em particularidade desta bateria, a parte que acontece a reação de redução ou a oxidação é chamada de elétrodo (contato). Sendo o contato oxidado (ânodo) e o reduzido (cátodo) (CARNEIRO; MOLINA; et al., 2017).

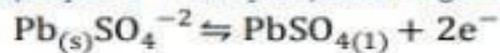
A reação de redução em baterias de chumbo-ácido gera sulfato de chumbo através do dióxido de chumbo (Equação 1), e o processo reverso que modifica o chumbo em sulfato de chumbo (Equação 2). E a reação da descarga da bateria é uma reação dobrada do sulfato (Equação 3). Isso tudo demonstrado na Equação 2 (CARNEIRO; MOLINA; et al, 2017).

#### Equação 2 – Equações Químicas

##### Equação 1 – Reação placa positiva



##### Equação 2 – Reação placa negativa



##### Equação 3 – Reação global



Fonte: (Revista Virtual de Química, 2017).

As placas são imersas em uma solução aquosa de ácido sulfúrico, onde ocorre uma reação gerando uma tensão por volta de 2,1 volts (CARNEIRO; MOLINA; et al., 2017).

### 2.2.2 Aparência Construtiva

As baterias de chumbo-ácido podem sofrer algumas alterações construtivas para se adaptar às características e condições de uso, melhorando assim o seu desempenho.

Portando, as baterias de chumbo ácido conseguem ser identificadas como:

**Automotiva:** Existem maior quantidade de placas de chumbo com menor espessura para se adaptarem à descarga rápidas, utilizadas principalmente para ignição motores de combustão interna.

**Tração:** São placas de chumbo que detêm de uma alta proporção de antimônio

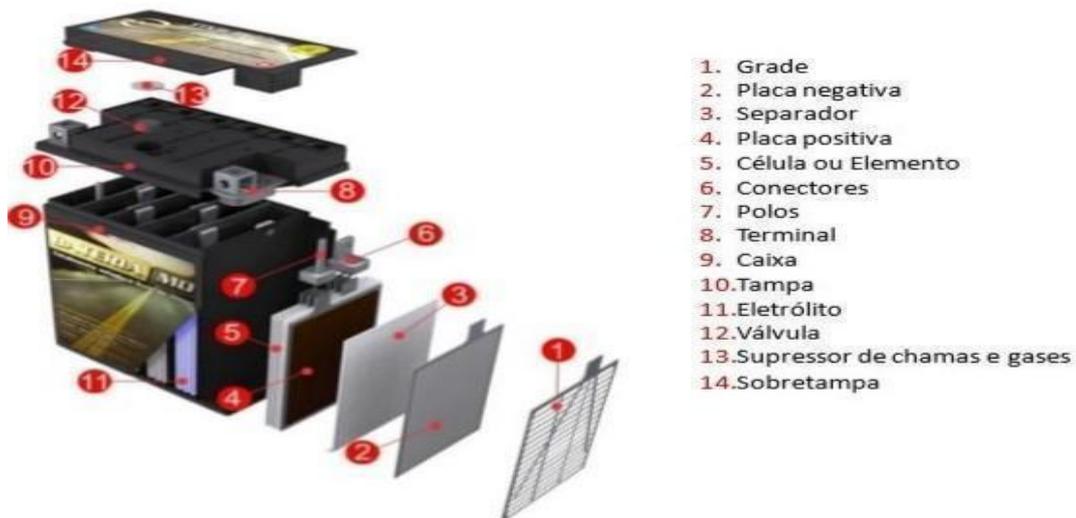
e alto consumo de água. Eles realizam uma descarga profunda sob a condição de ciclos diários. Eles são usados em veículos elétricos, como empilhadeiras.

**Estacionária:** Suas placas de chumbo de absoluta grossura, onde é projetada para fornecer corrente constante por um longo tempo. Eles têm a mesma composição química das baterias automotivas, porém as baterias estacionárias têm uma vida útil mais longa e são usadas para manter um sistema flutuante e eventualmente são requeridos ciclos de carga e descarga. Esta situação é típica em sistemas de *Nobreaks* UPS.

**Solar ou Fotovoltaica:** A bateria é idealizada para ciclos diários, com uma profundidade média de descargas e logo para descargas profundas esporádicas, são adequadas para dias com baixos níveis de luz solar (dias nublados).

A figura 5 mostra o modelo rompido de uma bateria de chumbo-ácido do tipo VRLA (*Valve Regulated Lead Acid* ou seja, regulada por válvula) e relacionam seus componentes básicos, que são:

**Figura 5 – Os segmentos de uma bateria chumbo ácido, tipo VRLA.**



**Fonte:** (Revista Virtual de Química, 2017).

As baterias comuns, precisam repor regularmente a água perdida devido à vaporização do seu eletrólito, em contrapartida as baterias que são isentas de manutenção, usam tecnologias (tendo como de exemplo, as baterias seladas – *Sealed Lead Acid*, baterias VLRA - *Valve Regulated Lead Acid*, baterias com permeabilidade seletiva) que afastam a necessidade de fazer a manutenção, na qual são amplamente utilizadas em todo o mundo.

### 2.2.3 Resistência Interna da Bateria

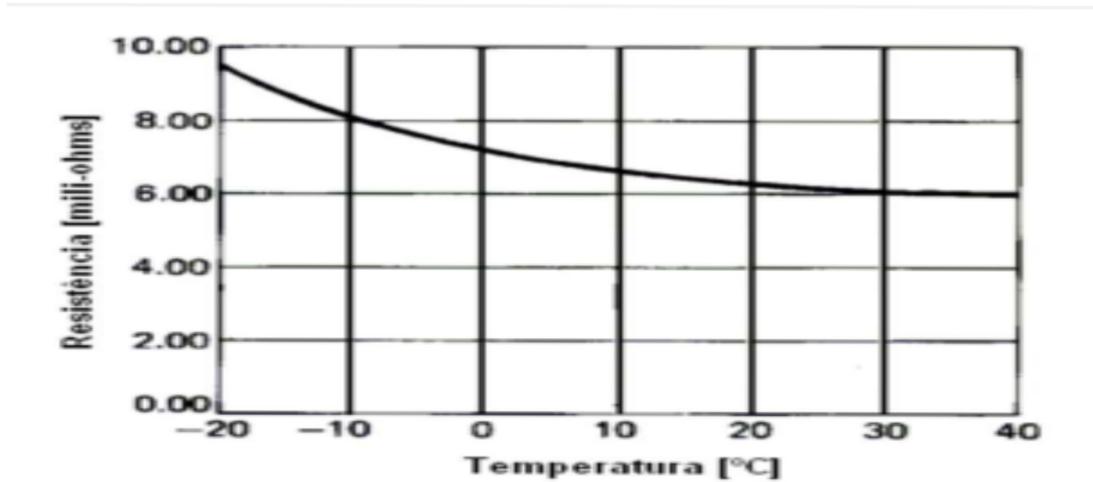
Esse indicador caracteriza a resistência ôhmica da bateria, por meio da qual pode ser determinada a energia disponível em um intervalo de tempo.

Para realizar a medição da resistência interna, não podemos somente conectar um ohmímetro nas extremidades da bateria, pois a tensão nos terminais da bateria irá interferir na medição da resistência. Para a medição correta, a tensão do circuito aberto da bateria, deve ser medida primeiro. Em seguida, uma carga deve ser conectada, fazendo com que a corrente flua, na onde irá reduzir a tensão da bateria, devido a uma queda de tensão equivalente à resistência interna.

A tensão da célula precisará ser medida mais uma vez quando a corrente está fluindo, mas esta tensão não retrata a tensão OVC (*Open Circuit Voltage* - tensão do circuito aberto), porque há um impacto na dinâmica da bateria. A resistência é calculada de acordo com a lei de Ohm, a partir da diferença de tensão entre duas medições e a corrente que flui pela célula. Além do mais, o impasse da medição da resistência devida à tensão nos terminais, esta medida também é muito afetada pelas mudanças de temperatura (LINDEN e REDDY, 2002).

No Gráfico 1, pode-se observar o efeito da temperatura sobre valor de resistência interna.

**Gráfico 1 – Modificação da resistência interna em função da temperatura referenciando a Bateria de chumbo-ácido.**



Fonte: (Linden e Reddy, 2002).

### 2.3 Pilhas de Níquel Hidreto

Em analogia com baterias de níquel-cádmio (Ni-Cd), as pilhas níquel metal hidreto (NI-Mh) não contêm metais pesados tóxicos em sua composição e oferecem a maior capacidade de densidade energética (AMBROSIO; TICIANELLI, 2001).

A fundamental desigualdade é que as baterias Ni-Mh, usam hidrogênio absorvido na liga metálica como o material negativo ativo, para substituir o cádmio, empregado nas baterias de níquel-cádmio (AMBROSIO; TICIANELLI, 2001).

O eletrodo de hidreto metálico tem uma consistência de energia mais elevada do que o eletrodo de cádmio. Logo, a quantidade do eletrodo negativo utilizado na célula de níquel metal hidreto, é capaz de ser menor do que usada na célula de níquel-cádmio. Com isso concede que o eletrodo positivo tenha um volume maior e resultando em maior capacidade ou uma vida longa para a bateria (AMBROSIO; TICIANELLI, 2001).

Visto que as baterias Ni-Mh não contêm cádmio, elas são conhecidas como mais ecológicas do que as baterias de níquel-cádmio e podem reduzir os problemas vinculados ao descarte de baterias de níquel recarregáveis (AMBROSIO; TICIANELLI, 2001).

### 2.3.1 Prós e Contra da Bateria Níquel Metal Hidreto

As relevantes vantagens da bateria Ni-Mh são:

- Alta eficiência, comparado com as níquel-cádmio;
- Estrutura selada, livre de manutenção;
- Aptidão de carregamento rápido;
- Maior vida útil; (TRINDADE, 2006).

E as principais desvantagens, são:

- Ciclos de carga repetidos e descarga profunda irá restringir a vida útil da bateria. Após 200 ou 300 ciclos, seu desempenho diminuirá. Baterias de NiMh, são preferencialmente de descarga parcial em vez de descarga profunda.

- A corrente de descarga é limitada. Apesar que as baterias NiMh possam suprir altas correntes de descarga, porém descargas repetidas com altas correntes, reduzirão a vida útil da bateria. Para obter melhores resultados, são adquiridos com correntes de descarga de 0,2C a 0,5C (20% a 50% da corrente nominal, onde a letra "C" faz a insinuação da mesma e da capacidade da bateria).

- Procedimento de carregamento mais complicado. As baterias Ni-MH geram mais calor durante o carregamento e requerem mais tempo de carga do que as baterias Ni-Cd.

- Elevada taxa de autodescarga. A velocidade de autodescarga da bateria Ni-MH é cerca de 50% mais rápida do que a da bateria Ni-Cd.

- Se armazenadas em altas temperaturas, o desempenho da bateria irá diminuir. As baterias NiMh devem ser armazenadas em locais fresco, com um nível de carga de cerca de 40%.

- Alta manutenção - as baterias precisam ser totalmente descarregadas regularmente, para conter a formação de cristais (TRINDADE, 2006).

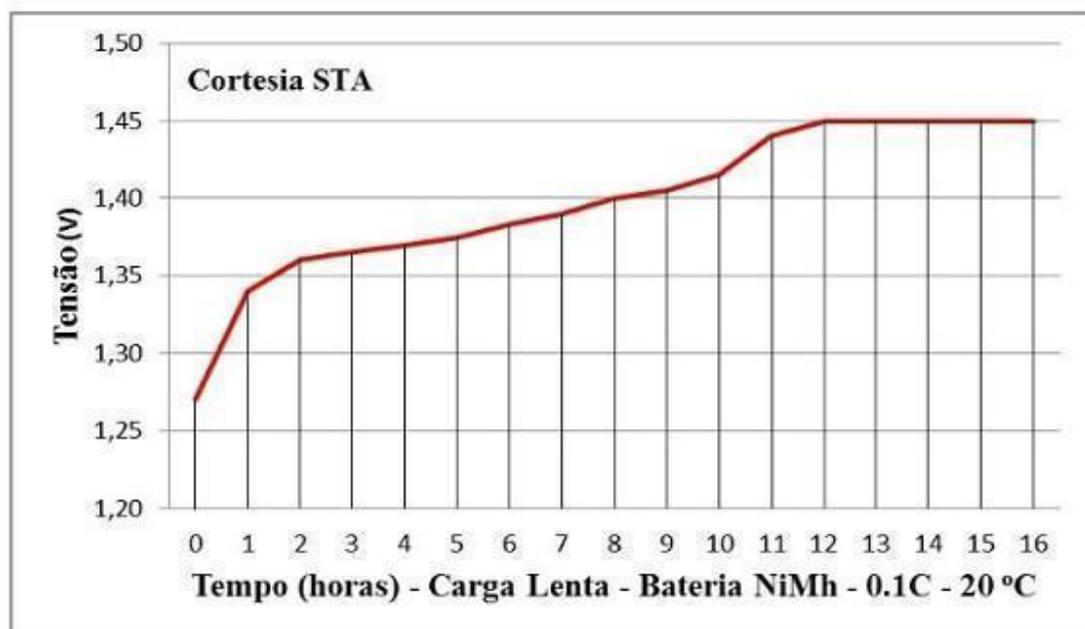
### 2.3.2 Curva de Carga e Descarga

Para estabelecer uma referência à capacidade e da corrente das baterias, utiliza-se a letra “C”. Uma bateria com uma corrente de “1C” indica que está sendo carregada na corrente nominal; E a mesma carregada com uma corrente de “0,5C” significa que está carregada com metade da corrente nominal (STA, 2020).

Para a descarga da bateria, na qual uma bateria está sendo descarregada com uma corrente de 1“C”, expressa que a corrente está sendo drenada nominalmente. E a mesma descarregada com uma corrente de “0,5C”, significa que está sendo descarregada com a metade da corrente nominal (STA, 2020).

No gráfico 2 abaixo foi extraído do site do STA (Sistemas e Tecnologia Aplicada) e mostra a capacidade do tempo de carregamento (em horas) sobrecarga lenta.

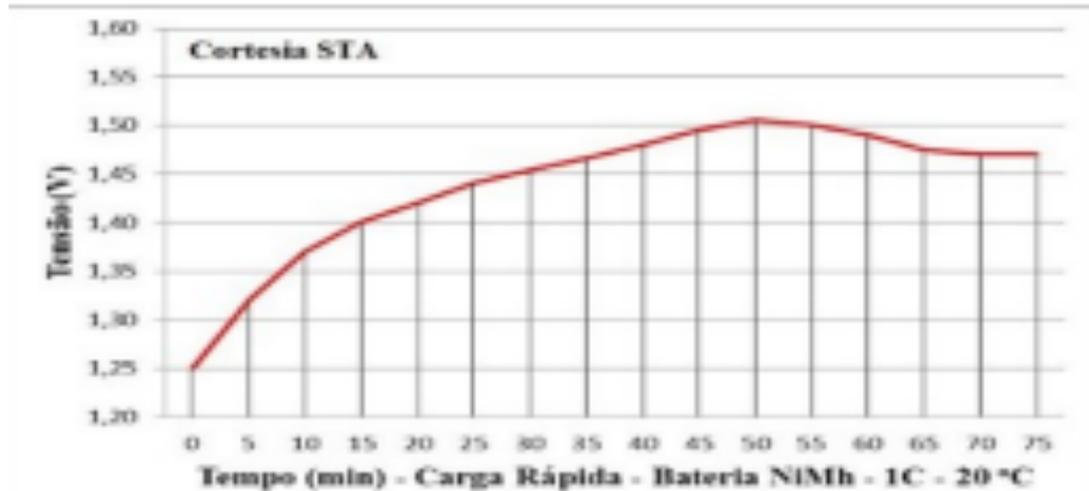
**Gráfico 2 – Representação da particularidade de carregamento (Carga Lenta).**



**Fonte:** (Sistemas e Tecnologia aplicada, 2020).

Logo depois, o gráfico 3 mostra o processo de carregamento rápido.

**Gráfico 3 – Representação da particularidade de carregamento (Carga Rápida).**



**Fonte:** (Sistemas e Tecnologia Aplicada, 2020).

Em resumo, a Tabela 2 abaixo fornece o tempo de carregamento em alguns casos.

**Tabela 2 – Tempo de carga em regimes distintos.**

Tipo de Carregador	Tempo Carga	Taxa de Carga	Temp. Máx.	Método de Carga
Carregador Lento	14h	0.1C	0°C a 45°C	Limitador de corrente através de resistor fixo ou temporizador fixo. Sujeito à sobrecarga. Remover a bateria quando carregada.
Carregador Rápido	4h	0.3-0.5C	10°C a 45°C	Deteção de NDV e timer
Carregador Super-Rápido	1h	1C	10°C a 45°C	Deteção de NDV, dT/dt, temperatura absoluta e timer

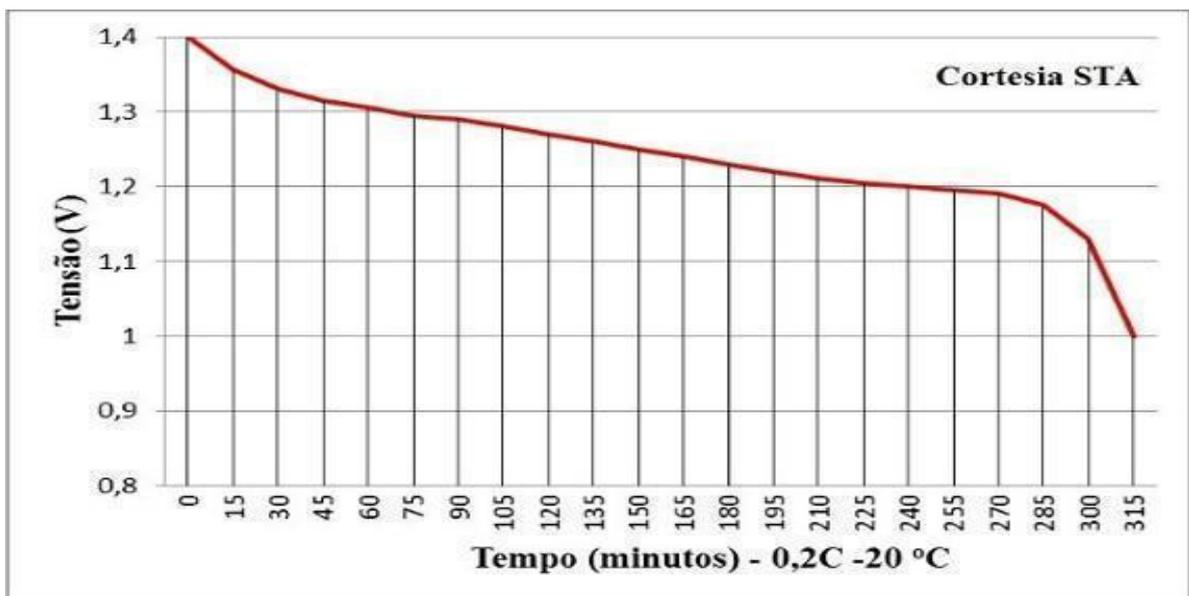
**Fonte:** (Sistemas e Tecnologia aplicada, 2020).

A tensão de circuito aberto das baterias em ambos os sistemas, têm uma oscilação de 1,25V a 1,35V. A tensão nominal é 1,2 V e a tensão final específica é 1V. Para baterias Ni-Mh, o melhor desempenho pode ser obtido entre 0°C e 40°C (STA, 2020).

Em temperaturas mais altas, as características de desempenho da bateria durante a descarga serão afetadas até certo ponto, mas serão reduzidas ainda mais nas temperaturas de descarga mais baixas, principalmente devido a elevação da resistência interna (STA, 2020).

As curvas de descarga específica de uma bateria cilíndrica de Ni-MH é mostrada no Gráfico 4 abaixo.

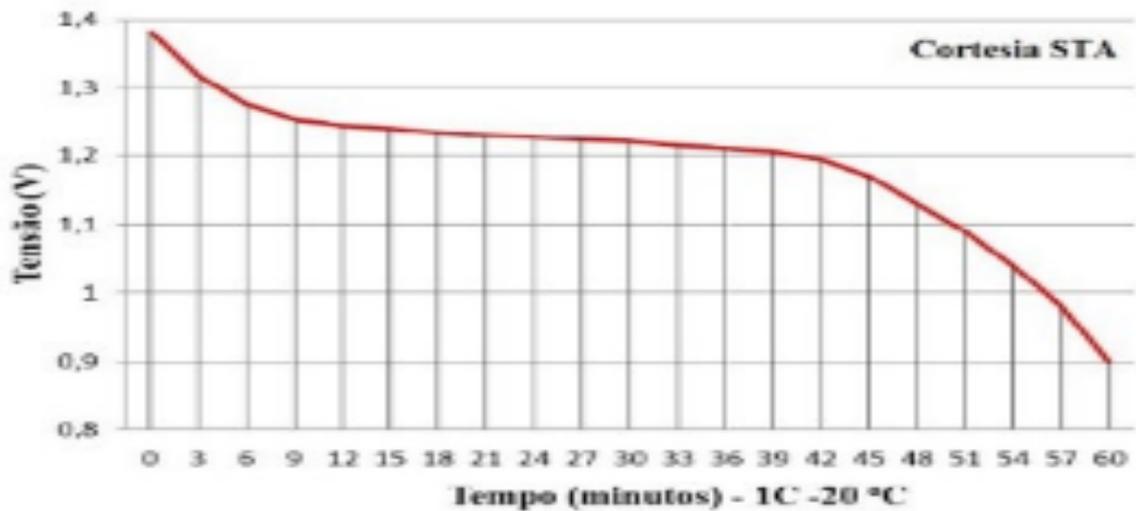
**Gráfico 4 – Curva específica de descarga lenta.**



**Fonte:** (Sistemas e Tecnologia aplicada, 2020).

Em uma descarga rápida, a seguir no gráfico 5, mostra a curva característica de descarga rápida.

**Gráfico 5 – Curva específica de descarga lenta.**



**Fonte:** (Sistemas e Tecnologia aplicada, 2020).

A descarga exagerada por um certo tempo, causará vaporização, aumento da pressão da célula, a abertura do respirador de segurança e uma danificação da célula (STA, 2020).

### **2.3.3 Precauções com os métodos de Carga e Descarga**

As baterias necessitam estar sempre em um seguimento de descarga e carga de acordo com suas composições químicas internas (PLETT, 2015).

É preciso estar atento a esses dois processos, mas o principal, é o carregamento, pois se a bateria estiver sobrecarregada ou carregada de forma irregular, podendo prejudicar a composição química, deteriorando do jeito incorreto, gerando gases que fazem a bateria inchar (exemplo na Figura 6); Uma vez que a composição química não pode ser recombinada, impossibilita o processo de carregamento do circuito convencional, para que não seja capaz de ser carregada (PLETT, 2015).

**Figura 6 – Bateria inchada com gases produzidos internamente**



Fonte:(Aprendafaz, 2020).

Na descarga, deve-se observar que o potencial da bateria não atinge um determinado nível, o que pode fazer com que a bateria envelheça mais rápido do que o esperado. Desta forma, o circuito deve desfrutar da energia, mas se responsabilizando que a bateria mantenha um elevado nível (PLETT, 2015).

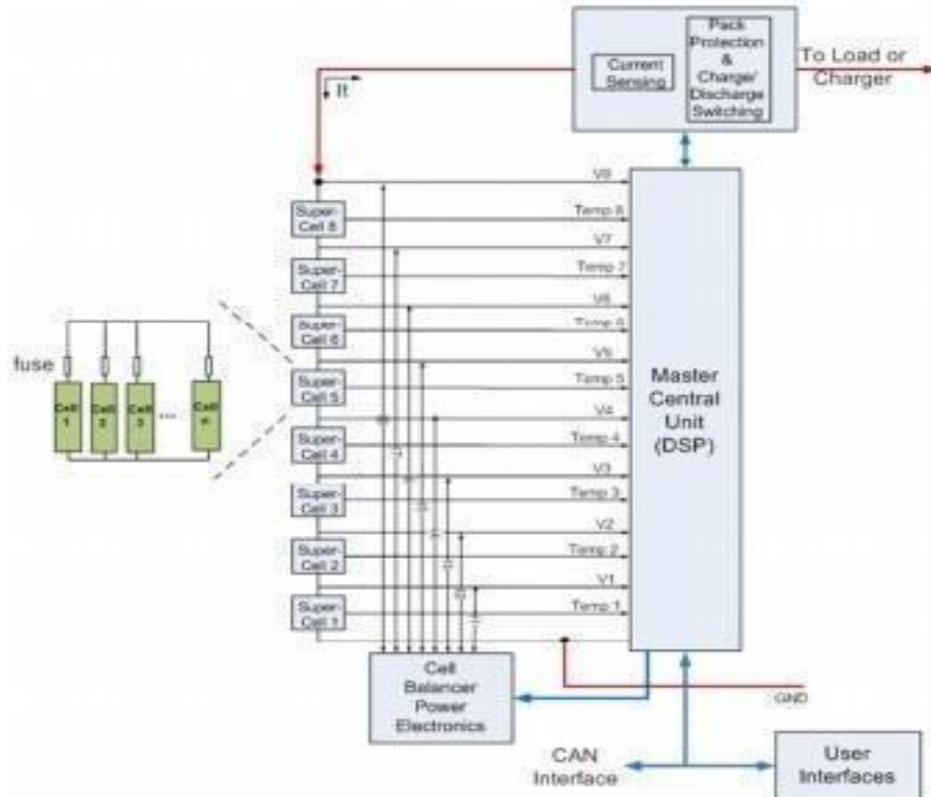
## **2.4 Sistemas de Gerenciamento das Baterias**

O BMS (*Battery Management System*) é um sistema que supervisiona a carga e descarga de acumuladores secundários (recarregáveis), na qual autoriza a bateria ser recarregada com o melhor SOC. E o uso do BMS pode dirigir os seguintes parâmetros: corrente, tensão, temperatura, descarga, carga com estrutura nas particularidades do produto, usufruindo ao máximo e tendo uma vida mais longa (SALAS-PUENTE; et al., 2018).

### **2.4.1 Gestão das Células**

O BMS gerência a bateria, conforme mostrado na Figura 7. A bateria pode ser composta por baterias em série, paralelas ou mistas, na qual deve proporcionar a melhor construção de cada execução, observando os níveis máximos de corrente e tensão (PILVELAIT; et al., 2013).

Figura 7 – Diagrama em blocos - BMS



**Fonte:** (Pack Level Performance Results for a Universal Lithium-Based Battery Management System, 2013).

O BMS inspeciona a tensão e a corrente em série do conjunto completo, por meio de um circuito auxiliares, que manda os sinais para o BMS, onde interpreta e processa as informações para entender o estado do conjunto. Os estados da bateria são distribuídos por: SOC, SOH, SOL e DOD (PILVELAIT; et al., 2013).

Para acrescentar as informações gerais do gerenciamento, o BMS possui circuitos que atua na disponibilidade de energia e do monitoramento da temperatura (PILVELAIT; et al., 2013).

#### 2.4.2 Módulos

O BMS é dividido em um módulo principal e um módulo auxiliar, e os sinais gerados nos componentes suplementares, são gerenciados na parcela principal. O módulo dominante é o microcontrolador, que contém um algoritmo interno que obtém sinais que serão processados, para discernir os estados das baterias.

E o microcontrolador, deve controlar a saída e se comunicar com determinados drivers responsáveis por transmitir dados da bateria. Os secundários, são módulos simples, drivers ou pequenos circuitos elétricos que adquirem informações para o módulo principal. Esses módulos são responsáveis pela transferência dos valores de: tensão, corrente e temperatura (PILVELAIT; et al., 2013):

**Tensão:** os circuitos de tensão podem ser divisores do mesmo, com medidas de resistência que são de conhecimento do microcontrolador, na qual processará e identifica o real valor de tensão na bateria (PLETT, 2015).

**Corrente:** esta informação não pode ser obtida diretamente da bateria, é necessário um circuito indireto para mensurar a corrente da bateria (PLETT, 2015).

Pode ser empregado um resistor de shunt de baixa resistência e então o microcontrolador realiza a medição de tensão, e correlaciona os valores lidos em com a corrente no circuito das baterias. O valor atual também pode ser obtido usando sensores de efeito Hall (PLETT, 2015).

**Temperatura:** Um divisor de tensão com um termistor de coeficiente de temperatura negativo (NTC) ou coeficiente de temperatura positivo (PTC) pode ser usados para obter informações de temperatura (PLETT, 2015).

### **2.4.3 Pontos de cuidados**

A BMS é responsável pelo gerenciamento de um grupo de baterias, mas mesmo baterias simples com suposições incorretas podem causar incêndios; isso devido ao vazamento térmico ou descarga desequilibrada da bateria. Se houver um problema com uma das baterias, pode afetar as outras baterias se não for controlado (MARQUES, 2014).

Um exemplo está na figura 8:

**Figura 8 – Bateria após de ser queimada**



**Fonte:** Battery Management System, 2014, mostra uma bateria que apresenta um problema de curto-circuito e pegou fogo.

Para um sistema mais robusto, os problemas de segurança devem ser divididos nas seguintes partes:

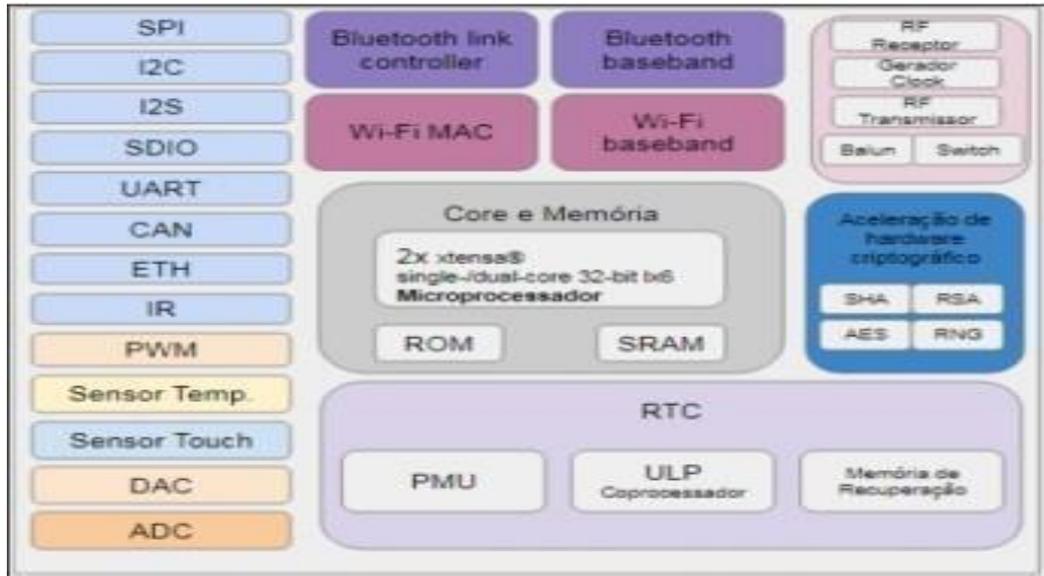
- BMS: deve estabelecer corretamente o estado da carga, a descarga da bateria, curto-circuito e sobrecargas.
- Bateria: deve ser bem isolada com sua própria caixa resistente.
- Refrigeração: deve incluir um sistema de resfriamento para evitar possível vazamento de calor (MARQUES,2014).

## 2.5 ESP32

O módulo ESP32-WROOM-32 (Microcontrolador Espressif) torna-se o substituto do ESP8266, devido às muitas funções que pode fornecer aos usuários, todavia ele está sendo usado em projetos de IoT (Internet of Things) em grande escala. Transformou-se muito popular, por sua competência de ter uma comunicação Wi-fi e Bluetooth incorporado na própria placa (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016).

Na Figura 9, podemos ver a distribuição dos componentes do ESP32.

Figura 9 – Diagrama dos componentes do ESP32

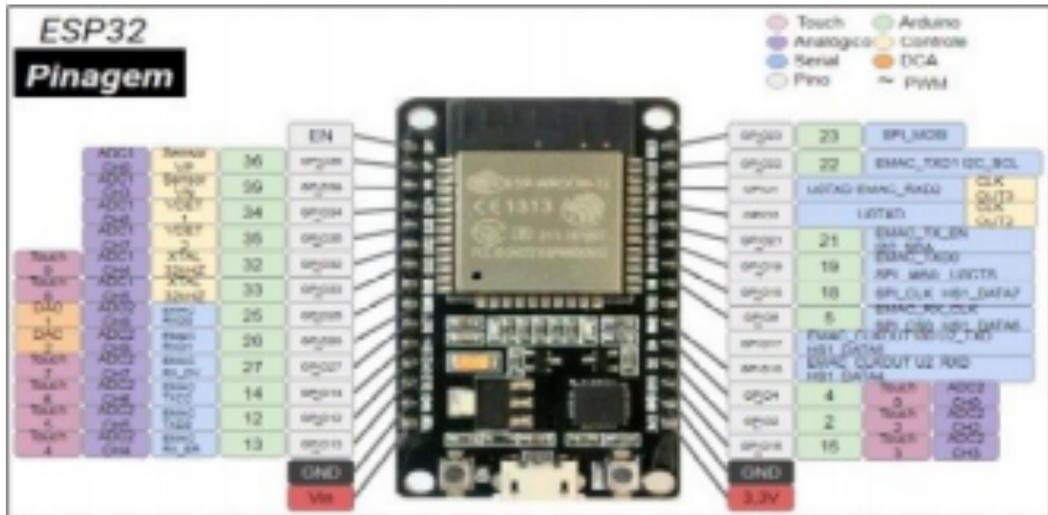


Fonte: (Curto Circuito).

É desenvolvido pela empresa Espressif, que possui diversos recursos de conexão (comunicação serial e wireless), que podem favorecer a transmissão de informações da rede entre os módulos conectados (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016). Especificações:

Na figura 10, dispomos da pinagem completa do módulo ESP32 com 30 pinos

Figura 10 – Pinagem do ESP32



Fonte: (Curto Circuito).

#### Particularidades da ESP32:

- CPU: Xtensa® Dual-Core 32 bit LX6;
- ROM: 448 KB;
- RAM: 520 KB;
- Flash: 4 MB;
- Clock máximo: 240MHz;
- Wireless padrão 802.11 b/g/n;
- Conexão Wi-fi 2.4GHz (máximo de 150 Mbps);
- Antena embutida;
- Conector micro-usb;
- *Wi-fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner mode e P2P Power Management;*
- Modos de Operação: STA/AP/STA+AP;
- Bluetooth BLE 4.2;
- GPIO com funções de PWM, I2C, SPI etc.;
- Tensão de operação: 4,5 ~ 9V;
- Taxa de transferência: 110 – 460800 bps;
- Suporta upgrade remoto de *firmware*;
- Conversor analógico digital (ADC);
- Distância entre pinos: 2,54mm;
- Dimensões placa: 52mm x 28mm x 5mm (desconsiderando os pinos).

Para programar, você pode usar vários IDEs (Ambientes de Desenvolvimento Integrado), como Arduino, Lua, CodeBlocks, NetBeans, etc. No entanto, o IDE do Arduino tem uma configuração mais simples para desenvolvimento de software (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016).

Cada pino da porta ESP32 GPIO pode fornecer apenas 12mA, portanto, para drivers que requerem maior corrente, é necessário construir um driver para conduzir a carga sem ter problemas.

A vários pinos que são utilizados para monitorar a saída, e são usados em canais ADC (*Analog to Digital Converter*), para adquirir informações da corrente, tensão e temperatura das células da pilha/bateria (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016).

A ESP32 WROOM 32 dispõe de 18 canais ADC, que são divididos em 2 grupos: ADC1 (8 canais) e ADC2 (10 canais), sendo possível ler 2 canais em paralelo. Um dos impasses encontrados no ADC2 é que como o canal compartilha o mesmo driver com o módulo de comunicação sem fio, ele não deve ser utilizado na conexão com Wi-Fi, pois o sinal pode gerar muito ruído, o que afeta a leitura do ADC (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016).

Além da leitura do ADC, alguns pinos também são usados para acionar transistores bipolares a fim de controlar a carga e descarga das células de baterias de acordo com a curva característica da pilha/bateria. Para a interface HMI, você pode usar um smartphone Android via Wi-fi com um módulo ESP32, para verificar os resultados das medições das células de carga (ESP32 SERIES – DATASHEET, 2016).

### 3. METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos propostos, foi realizado uma pesquisa descritiva, com intuito de detalhar os trabalhos que foram feitos para o desenvolvimento do projeto.

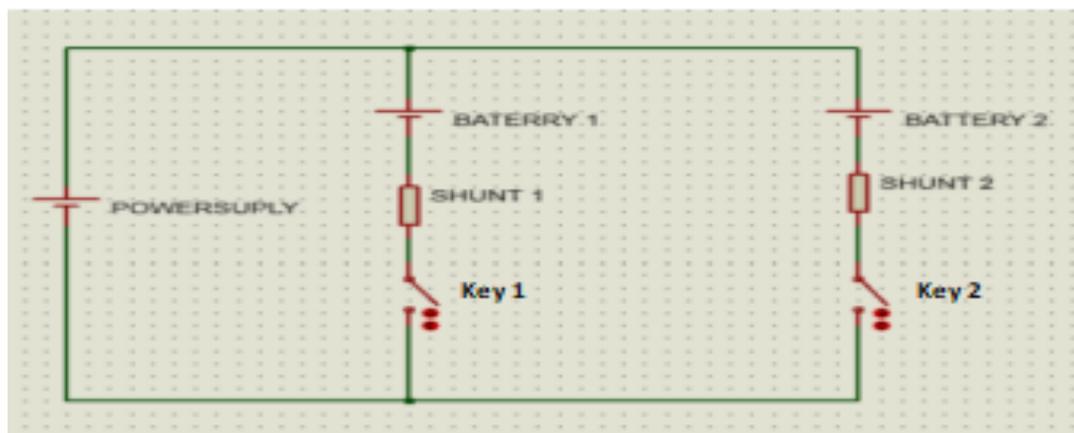
#### 3.1 Determinações

No começo, a concepção inicial era desenvolver um sistema de gerenciamento de bateria de chumbo-ácido, visando os gastos do projeto, foi definido a utilização das pilhas de Níquel Metal Hidreto (Ni-Mh) para autenticar o conceito do sistema, e futuramente empregar a estratégia no modelo proposto inicialmente.

O circuito utilizado de pilhas inclui um modelo de 4 células: 2 pares de células em série acoplados em paralelo (modelo 2S2P), onde se tenta discernir a tensão sobre a pilha, a corrente no ramo e a resistência interna de cada pilha. Para implementar o modelo definido, o circuito é dividido em três estágios.

Primeiro estágio, é autenticar um circuito com apenas duas pilhas em paralelo: No próximo circuito (Figura 11), as chaves "Key 1" e "Key 2" são fechadas, de forma que a corrente flua pelas pilhas e é carregada em seus respectivos ramos. Quando a pilha atinge seu limite de carga, a chave é aberta, e finda a circulação da corrente elétrica pela pilha.

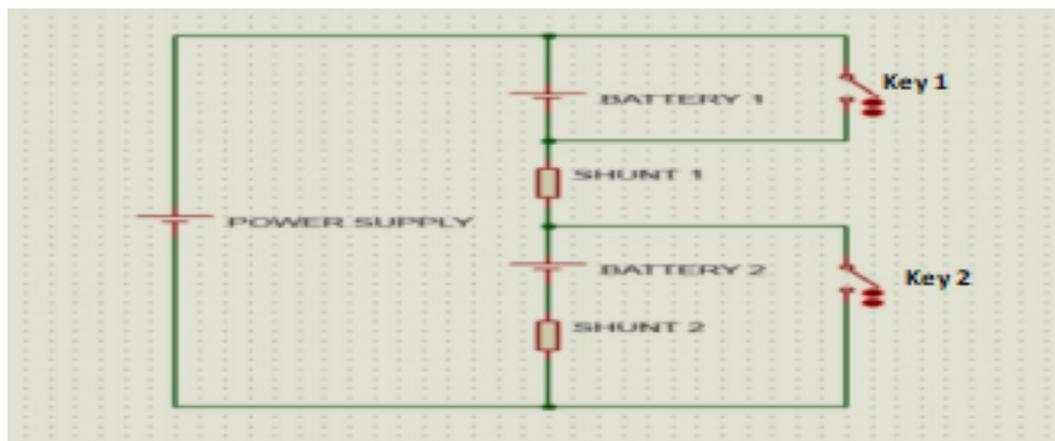
**Figura 11 – Representação do Modelo de Circuito Paralelo**



Fonte: Autor.

Segundo estágio, é validar um circuito composto por duas pilhas em série: no circuito seguinte (Figura 12), há duas chaves no ramo, sendo que a princípio, elas são ativadas, fazendo com que a corrente flua pelas pilhas e carregando até o limite de tensão elétrica que a pilha pode aguentar. Depois que as pilhas estiverem carregadas, as chaves "Key 1" e "Key 2" são abertas e interrompem o fluxo de corrente.

**Figura 12 – Representação do Modelo de Circuito Série**



**Fonte:** Autor.

E por fim o terceiro estágio, que corresponde à junção dos dois circuitos especificados anteriormente. Este estágio, cobre a definição do componente que será usado para realizar o chaveamento eletrônico, através da CPU para alterar os estados, e o conjunto de software que fará a leitura em vários pontos do circuito para estabelecer o estado das pilhas.

As seções posteriores, especificam a modelagem do circuito para chegar a um protótipo válido.

### **3.2. Explicação sobre a Tensão de Operação**

Devido às limitações de alguns componentes, a tensão de operação do projeto, necessitou de um estudo e uma definição.

ESP32 que é a CPU optada para executar os trabalho embarcados, é alimentada com 5V de tensão via USB (Universal Serial Bus).

Em todos os processos de testes, foi utilizado o regulador de tensão LM7805 que fornece uma tensão de 5V, mas devido à medição em alguns pontos, a tensão

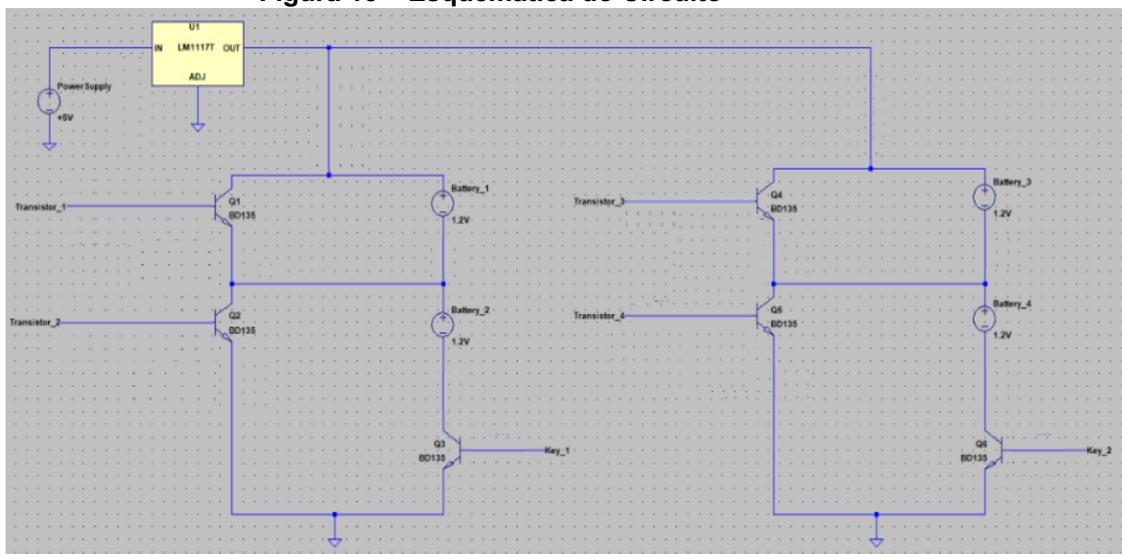
coleta pelo ESP32 transcendia o limite suportado.

Contudo foi determinado a utilização do regulador de tensão LM1117T, pois ele fornece uma tensão de saída de 3,3V e uma corrente máxima de 800mA, sendo essencial para alimentar e executar os carregamentos, todavia evitando a queima do pino de leitura da CPU.

### 3.3 Itens para o Chaveamento Eletrônico

Ao realizar alguns testes entre o transistor MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) e transistor TJB (*Bipolar Junction Transistor*), ficou determinado a utilização dos TJB NPN BD135, por ser mais executável para esta prática. E como há três transistores conectados em série em cada ramificação do circuito (Figura 13), na qual a soma das quedas de tensões entre VCE (Tensão de coletor a emissor) são inferiores que as quedas referentes ao MOSFET tipo N, entre o dreno (*drain*) e a fonte (*source*).

Figura 13 – Esquemática do Circuito



Fonte: Autor.

Um outro aspecto que nos levou a não utilizar o MOSFET, é a frequência de chaveamento da carga.

A regulação de tensão de alimentação dos circuitos é realizada com o regulador de tensão (LM1117T).

### 3.4 Estruturação Série x Paralelo

O arranjo das células em uma estrutura conjunta é o ponto mais importante do BMS, pois a partir dessas definições podemos saber como ela se comporta e atua no sistema.

Ao longo do processo de desenvolvimento prático, testamos em dois modelos de circuitos, um com células apenas em série e outro com células em paralelo, ambos são convenientes e viáveis para o carregamento. Mas em grande escala, por exemplo: 100 células, usar apenas um formato de circuito (série ou paralelo) torna-se uma complicação.

Um aspecto muito importante é a fonte de energia que irá carregar as células, pois possui limitações de tensão e corrente. Portanto, se for introduzido muitas pilhas e forem colocadas em série a tensão se tornará um problema, ou se forem conectadas em paralelo, a corrente será uma complicação.

Portanto, para obter harmonia entre a fonte, o circuito e as células, deve-se ser utilizado ambos formatos de circuitos (série e paralelo) para alcançar o melhor desempenho.

O próximo passo é a definição da unificação dos dois circuitos, então os seguintes aspectos devem ser considerados:

- O tratamento das células em paralelo é mais simples, e cada componente é isolado para facilitar a ativação e leitura.

- O gerenciamento das células em séries é mais complexo, pois uma célula atinge a outra diretamente, portanto deve-se tomar cuidados para que o tratamento de uma não atinja no carregamento e descarregamento da outra. Contudo, a corrente é a mesma para todo o circuito.

- A união desses dois circuitos (série e o paralelo) deve ser mais cautelosa, pois deve verificar as condições da fonte e se de fato o fornecimento e gerenciamento é adequado para cada ramo..

- Como mencionado anteriormente, todos os pontos do circuito devem ser verificados e testados, mas ambos modelos de circuitos funcionam e são válidos, sendo em: série, paralelo e mista.

### 3.5 Aplicação da ESP32

A ESP32 é uma pequena CPU com uma variedade de ferramentas que podem ajudar em diferentes tarefas, e por ser tão ágil, tem algumas limitações que acabamos deparando com uma certa dificuldade para contornar.

Ao examinar o conjunto de periféricos do ESP32, um dos periféricos que foi mais relevante, foi os canais ADC. Pois além de ser utilizado para obter informações (corrente, tensão e temperatura), alguns pinos são utilizados para acionar os transistores bipolares de forma a obter o controle das células de baterias em sua carga e descarga, seguindo a curva característica da pilha/bateria.

O projeto em desenvolvimento exigia o uso de saídas para acionar transistores, e entradas para a leitura da tensão em determinados pontos do circuito.

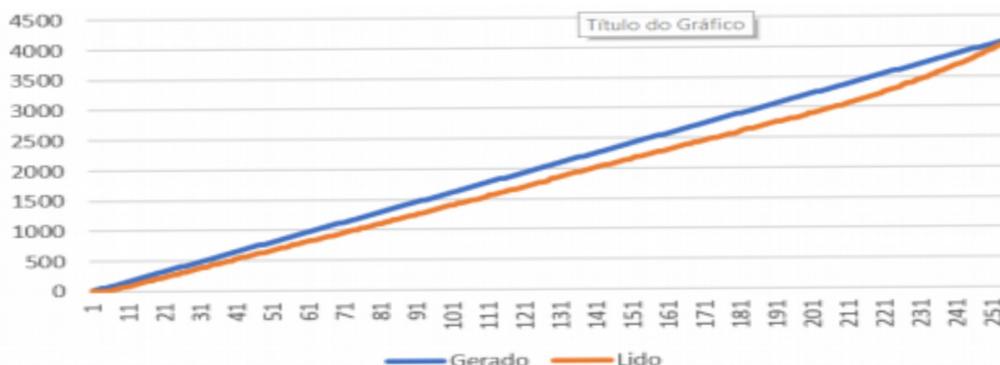
O programa foi desenvolvido utilizando a linguagem C em conjunto com um RTOS (*Real Time Operating System*). O *framework* de desenvolvimento é a IDE do Arduino em conjunto com as bibliotecas para ESP32.

### 3.6 Regulação do ADC da ESP32

Durante os primeiros experimentos com a leitura do ADC, foi percebido que as leituras atingidas não correspondiam ao valor real. Por exemplo, a CPU precisaria reconhecer uma tensão de 2,5 volts, mas o valor lido era de 2,1 volts, uma diferença significativa para um projeto que necessita de um desvio de +/- 10 mV.

Baseado nessa informação, foi utilizado o software Excel para verificar os dados obtidos de leitura igualando com o gerador, concluímos que toda a curva ESP32 exige de uma correção (Gráfico 6).

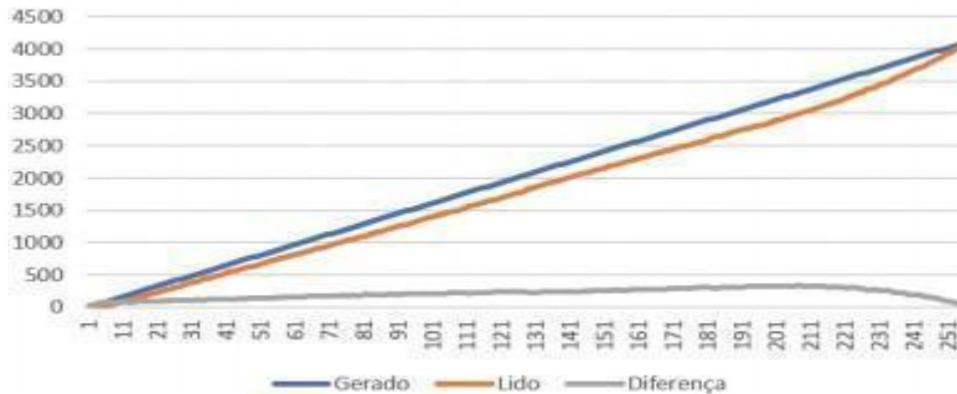
Gráfico 6 – Leitura ADC: Gerado x Lido



Fonte: Autor.

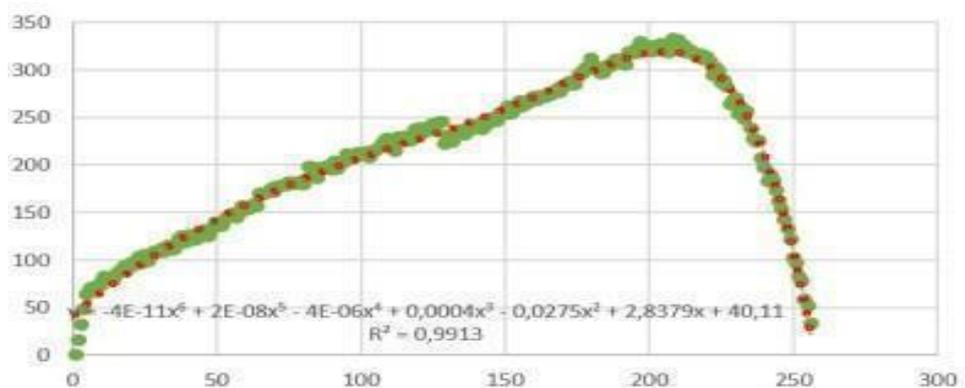
Para a estabilização da leitura, foi realizado uma média de cada 10 valores de cada ponto lido, e tendo esses valores, foi verificado a desigualdade entre as duas curvas (Gráfico 7 e Gráfico 8). Usando a desigualdade (Gráfico 6) para corrigir o valor lido.

**Gráfico 7 – Leitura ADC: Gerado – Lido = Diferença**



Fonte: Autor.

**Gráfico 8 – Leitura ADC: Diferença**

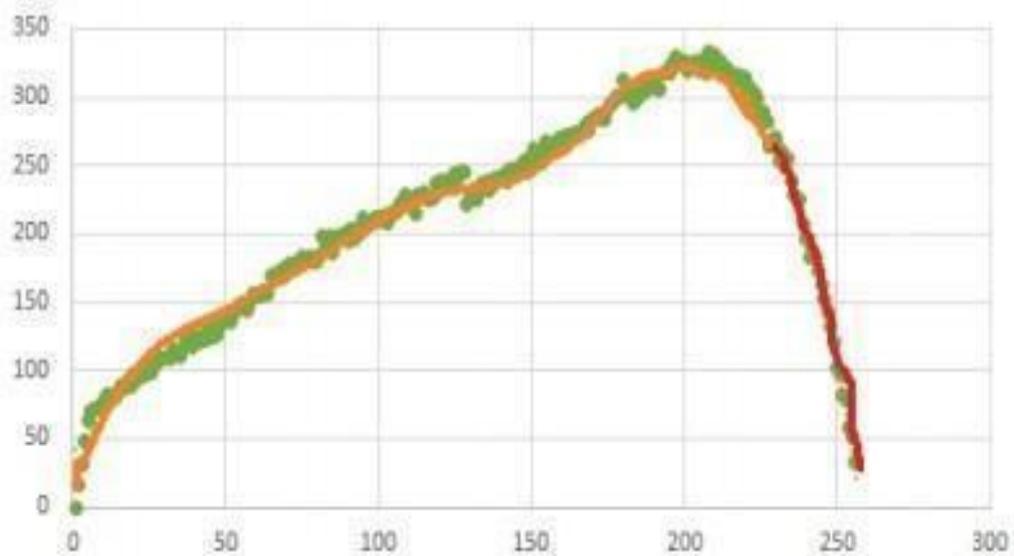


Fonte: Autor.

Dessa forma foi obtida a equação de correção, para futuramente ser usado no programa e relacionado novamente as leituras. No entanto, notou-se que a diferença reaparece no último trecho da leitura. Portanto, foi necessário a divisão da curva em duas partes, para ter uma equação para cada trecho (Equação 3 e Equação 4, no Gráfico 9).

Através destas duas equações, obtivemos uma leitura que seria válida ao projeto, e alguns pontos isolados na leitura não correspondem ao valor original, mas por serem pontos diferentes não serão afetados na obtenção das informações.

Gráfico 9 – Leitura ADC: Diferença divididas em trechos



Fonte: Autor.

Portanto, pode ser determinado que se a leitura for menor ou igual a 3320 (o valor em ADC), então a Equação 3 (trecho laranja) será usada, quando maior seria utilizado a Equação 4 (trecho vermelho).

#### Equação 3 – Correção do ADC da ESP I

$$Valor_{corrigido} = x + 8x10^{-9} * x^3 - 5x10^{-5} * x^2 + 0,1581 * x + 44,049$$

#### Equação 4 – Correção do ADC da ESP II

$$Valor_{corrigido} = x - 6,18x10^{-4} * x^2 + 4,2382 * x - 7002,1$$

Observação:  $x = Valor_{lido}$

O último ponto que deve ser levado em consideração ao usar o ADC da ESP32, é a sensibilidade em baixas tensões. O sistema não consegue medir valores de tensão menores que 35mV.

### 3.7 Constatação da corrente pelo Resistor Shunt

A utilização do resistor *shunt* é um parâmetro para medir a corrente que flui pelo resistor, exercendo uma leitura indiretamente da tensão, ou seja, quando a corrente circula pelo resistor há uma diferença de potencial sobre o componente.

Usando o valor conhecido do shunt, se fez o uso da lei de Ohm (Equação 5) para adquirir a corrente elétrica no circuito

#### Equação 5 – Lei de Ohm.

$$I = V/R$$

Inicialmente foi estabelecido a utilização de um resistor *shunt* de 100mΩ para a medição da corrente nos ramos do circuito, mas ao realizar uso do ADC da ESP32 para ler a tensão sobre o resistor, percebeu que não era possível obter nenhum valor válido. Portanto, é necessário a aplicação de um circuito de ganho de tensão para que os valores de tensão lidos pela ESP32 possam ser interpretados corretamente.

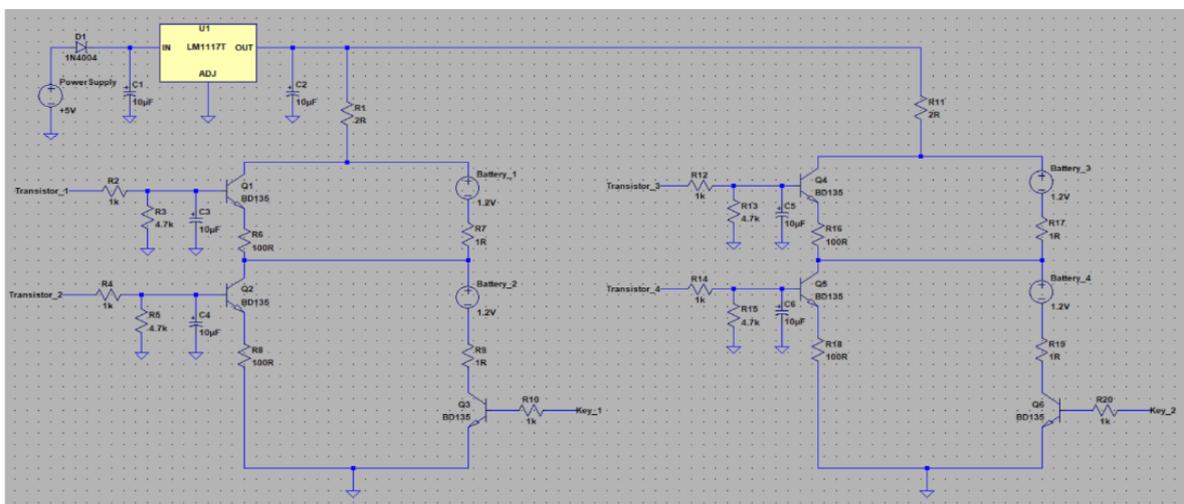
Abaixo estão as possíveis formas de correção:

- Uso de um amplificador operacional com ganho não inversor para aumentar o valor de entrada em 10 vezes; uso de um ADC externo com maior precisão.
- Substituição do resistor de *shunt* para um de 1Ω, e com isso irá manter o circuito desenvolvido.

### 3.8 Desfecho da Estrutura do Hardware

Após realizar diversos testes dos componentes e compatibilidade com as definições iniciais, na Figura 14, podemos observar o circuito final:

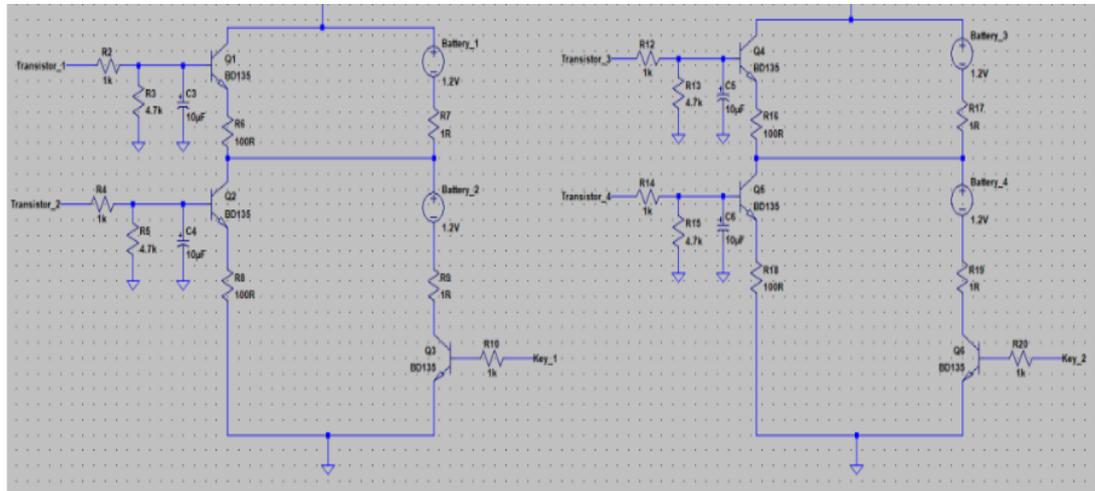
Figura 14 – Desfecho do Circuito



Fonte: Autor.

O circuito final, possui quatro células com duas ramificações diferentes, ou seja, cada ramo dispõe de um par de células (Figura 15).

**Figura 15 – Quatro células com duas ramificações**



**Fonte:** Autor.

Verificando cada célula individualmente, existe um transistor TJB (*Bipolar Junction Transistor*) tipo NPN (Negativo-Positivo-Negativo), que atua como desvio de corrente para quando a célula estiver carregada.

Uma vez que o limite máximo de carga seja alcançado, o transistor funcionará na região de saturação, permitindo a passagem de corrente. Nessa célula, existem dois pontos de leitura de tensão, um é usado para identificar a tensão positiva da pilha em associação ao terra (*ground*) e o outro é usado para reconhecer indiretamente a corrente através do resistor shunt.

Para cada ramo, há um transistor geral que conceda a passagem de corrente, carregando assim as células.

O circuito por inteiro, temos uma fonte de alimentação externa, que é regulada por um regulador de tensão em 3300mV, essencial para a chaveamentos, leitura e carregamento das células sem ter possibilidades de intervenções. A base dos transistores tem filtros capacitivos, para que não haja flutuações durante o processo de ativação (*snubber*), e está sendo utilizado um resistor de *pull-down* para segurar o nível lógico 0 na base do transistor, que só é ativado por ESP32 com um nível lógico 1. Há um resistor de base nos transistores, que junto com os resistores de *pull-down*, formam um divisor de tensão.

Usando este modelo de circuito, o carregamento e o descarregamento da pilha podem ser avaliados, na qual para carga da primeira pilha o transistor Q1 deve está

em corte e o transistor Q2 em saturamento, e a segunda carga é semelhante ao processo descrito antes, de forma contrária. Agora para descarga, os dois transistores são ativados (nível lógico "1") e sucede o monitoramento da impedância interna das pilhas, de forma que analise se as células estão em bom estado.

### 3.9 Estrutura do Software

A estrutura do software, está realizando as seguintes funções:

- Leitura dos pontos de ADC disponibilizado no hardware;
- Conversão dos dados obtidos pelo ADC para: tensão de cada célula, corrente em cada ramo e sua resistência interna.
- Modificação dos transistores.
- Upgrade dos dados via display 16x2 caracteres.

Cada ponto referenciado como função é dividido em várias partes, que são executadas um a um no escalonamento de funções.

Onde funcionará da seguinte forma;

O programa irá fazer uma configuração do *hardware* e do *display*, logo em seguida vai analisar se o microcontrolador está ok; estando funcional o microcontrolador, será feito uma apresentação do estado inicial da pilha no *display*. Com isso o programa executará um carregamento de 2 minutos e um descarregamento de 2 minutos.

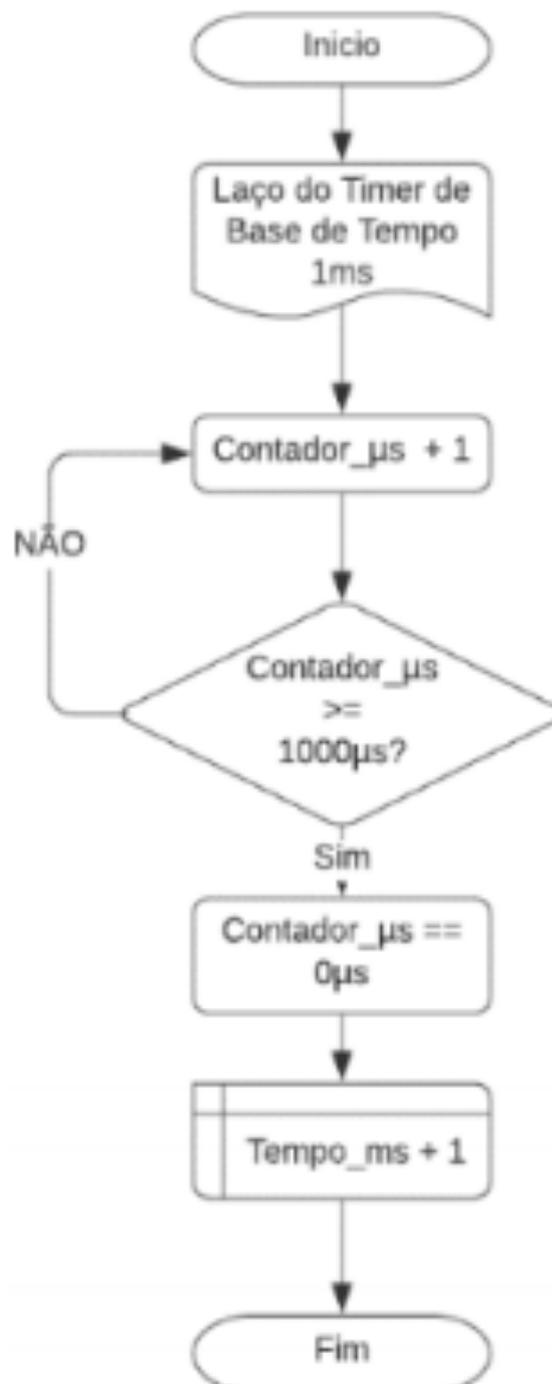
Durante o processo de carga, os terminais dos transistores (TJB NPN BD135), serão acionados (circuito fechado) de forma que as pilhas sejam carregadas e então possam ser lidos os valores de tensão e corrente que estão passando neste instante.

Agora ao descarregar, os terminais dos transistores (TJB NPN BD135), serão abertos (circuito aberto), desviando assim a corrente fornecida pela fonte das pilhas, evitando de carregá-las. Neste instante, além da tensão e corrente em descarga, a resistência interna das pilhas também podem ser identificada.

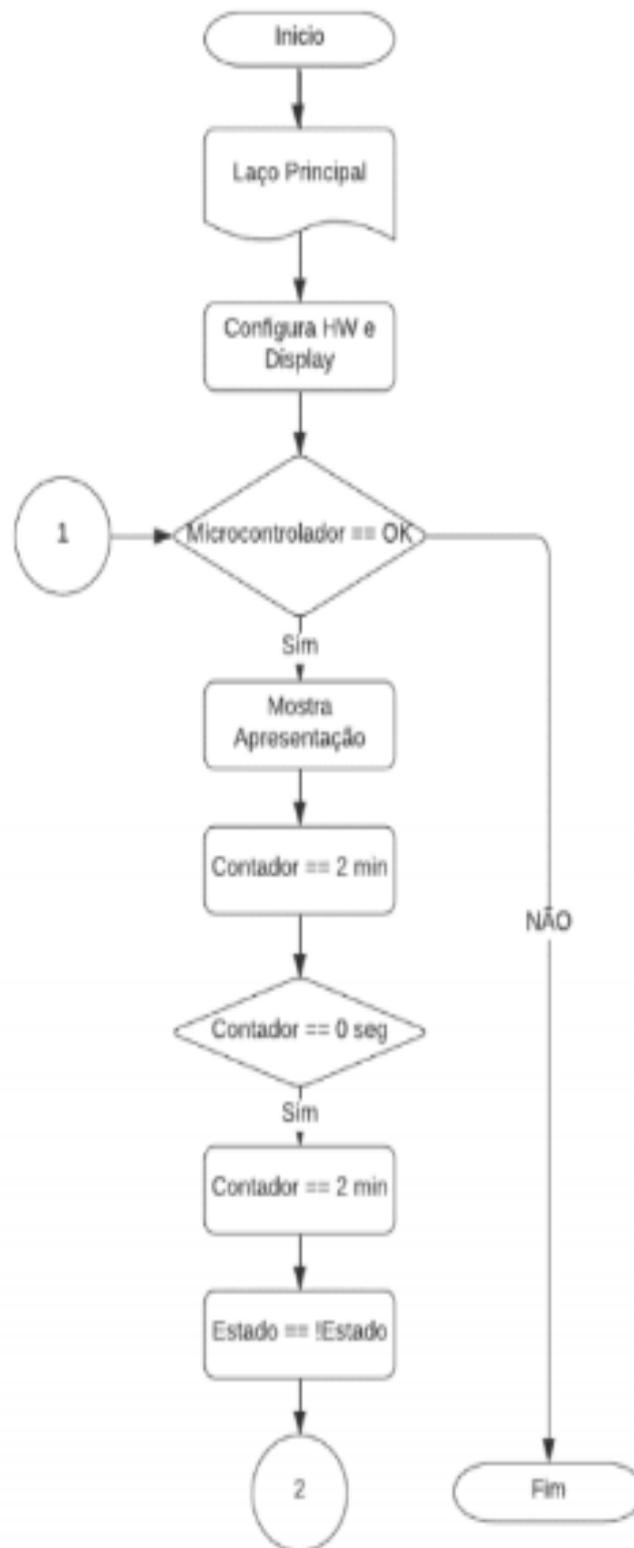
Todavia ambos processos (carga e descarga) realizados serão armazenados no microcontrolador e mostrado os valores no *display*.

Em seguida está o fluxograma geral do software (Figura 16), que está sendo executado.

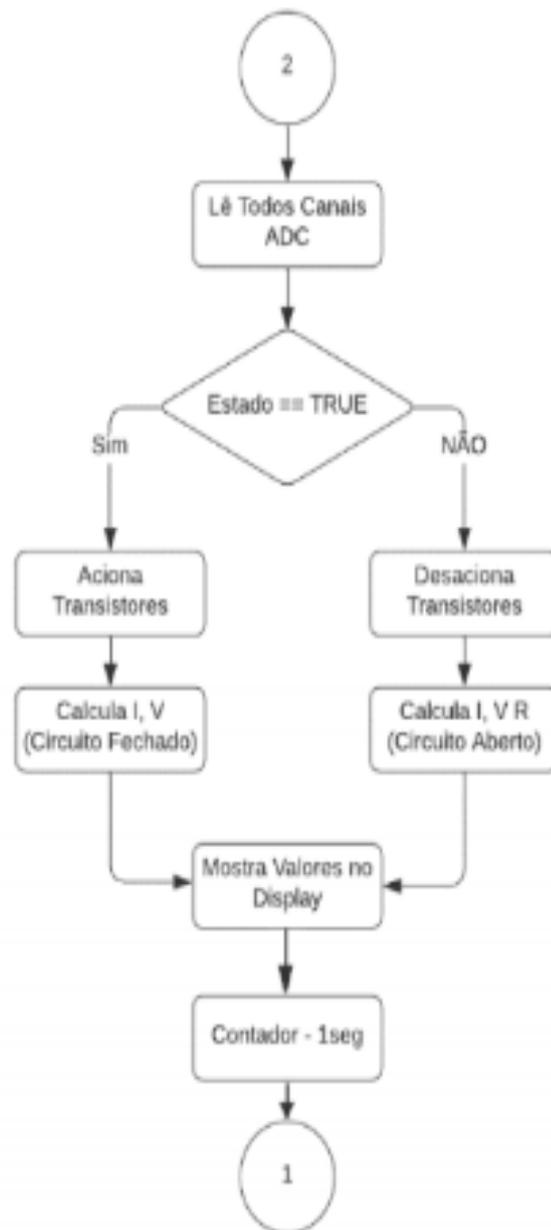
Figura 16 – Fluxogramas do Desfecho do Programa



Fonte: Autor.



Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

#### 4. CONCLUSÃO

Por meio de pré-ajustes e da nossa meta traçada, obteve-se um modelo próximo ao que era aguardado, mas devido ao momento delicado a qual estamos passando, que neste caso está sendo, o Covid-19 (Coronavírus Disease 2019).

Vale ressaltar, que devido ao alto custo do projeto inicial, que seria aplicação de bateria chumbo-ácido, a mesma não pôde ser executada.

Mas a princípio, o sistema apresentado neste trabalho é capaz de controlar e identificar as variáveis mais importantes em processo de carga e descarga de uma bateria chumbo-ácido, que seriam: corrente, tensão, temperatura e resistência interna.

Com isto, alcançamos a nossa meta através da substituição do material, aplicando o modelo; Pilhas de Níquel Metal Hidreto.

Neste caso, os pontos alcançados ao decorrer do trabalho é possível o aperfeiçoamento do projeto, para uma implementação final do que o mesmo proceda cada vez mais com um BMS.

## 5. PROPOSTAS FUTURAS

Esperamos que o conceito do protótipo possa ser aplicado diretamente em baterias do tipo chumbo-ácido com o objetivo de se desenvolver um produto com nível profissional.

Sugerimos que se acrescente mais variáveis de controle como por exemplo: o controle da temperatura das baterias. Pois por meio deste, é possível regular a corrente de carregamento das baterias evitando o superaquecimento; também testar o tempo de carga, carga de duas baterias em série ou paralelo e os estados da bateria (SOC, SOH, SOL e DOD).

Por fim, recomendamos o uso de um meio de comunicação wireless com o sistema de gerenciamento, o que permitiria o monitoramento de forma remota e ainda a aquisição de dados para um possível tratamento posterior, possibilitando um gerenciamento muito mais robusto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMBROSIO, R. e TICIANELLI, E. , “Baterias de níquel-hidreto metálico, uma alternativa para as baterias de níquel-cádmio,” Química Nova, vol. 24, nº 2, p. 243-246, 2001.

CARNEIRO, Rafael Luiz; MOLINA, J. et al. Aspectos essenciais das baterias chumbo-ácido e princípios físico-químicos e termodinâmicos do seu funcionamento. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 3, p. 889-911, 2017.

CURTO CIRCUITO, esp32 - Datasheet. Disponível em: <<https://www.curtocircuito.com.br/blog/conhecendo-esp32>>. Acesso: 11 de outubro de 2020.

EDUCAÇÃO, globo. Enem Revisão. Disponível em:

<<http://educacao.globo.com/provas/enem-revisao/questoes/1.html>>. Acesso: 22 de outubro de 2020.

EXERCÍCIOS BRASIL ESCOLA. Disponível em:

<<https://exercicios.brasilecola.uol.com.br/exercicios-quimica/exercicios-sobre-baterias-chumbo.htm>>. Acesso: 23 de outubro de 2020.

ESPRESSIF SYSTEMS. “ESP32 Series – Datasheet”. 8 de outubro de 2016.

Disponível em: <[https://cdn.sparkfun.com/datasheets/loT/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/loT/esp32_datasheet_en.pdf)>. Acesso: 11 de novembro de 2020.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Bateria de chumbo dos automóveis"; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/bateria-chumbo-dos-automoveis.htm>>. Acesso: 10 de outubro de 2020.

IDEATEK. "Estado de carga (State of Charge ou SOC) das baterias". Disponível em: <<https://www.ideatek.com.br/estado-de-carga-das-baterias/>>. Acessado em: 7 de julho de 2020.

IBER. Disponível em : <[https://issuu.com/felipelimajc/docs/boletim\\_trimestral\\_iber\\_2\\_edi\\_o\\_\\_2\\_](https://issuu.com/felipelimajc/docs/boletim_trimestral_iber_2_edi_o__2_)>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

LARISSA DA SILVA F., Paula; Kenedy Moreira, Pedro e Henrique Janelato de O., Sérgio. Trabalho de Conclusão : Sistema de Controle e Gerenciamento para Banco de Baterias de Chumbo Ácido. Ano: 2018. 110 folhas. Graduação: Engenharia Elétrica.

LEMONS, Ronaldo. Brasilagro, "O futuro do transporte é elétrico", 2019. Disponível em: <<https://www.brasilagro.com.br/conteudo/o-futuro-do-transporte-e-eletrico-por-ronaldo-lemons.html>>. Acesso: 29 de outubro de 2020.

LINDEN, D.; REDDY, T. B.; Linden's Handbook of Batteries, 3. ed. New York: McGrawHill Professional Ed., 2002.

LUQUE, Antonio; HEGEDUS, Steven (Editores). Handbook of photovoltaic Science and engineering, 2011.

MARQUES, J., Battery Management System (BMS),Coimbra: Universidade, 2014.

NEWMAX . Breve histórias das baterias. 2019. Disponível em: <<https://newmax.com.br/breve-historia-das-baterias/>>. Acesso: 28 de outubro de 2020.

PILVELAIT, Bruce et al. “Pack level performance results for a universal lithium-based battery management system.”, p. 1 ao 12, 2013.

PLETT, Gregory L. Battery management systems, Volume I: Battery modeling. Artech House, 2015.

PERGHER, Rafael. Trabalho de Conclusão: Estimativa do Estado de Saúde de Baterias Chumbo-Ácido Seladas, Aplicadas em Sistemas de Emergência de Elevadores. Ano: 2018. 47 folhas. Graduação: Engenharia de Controle e Automação.

ROBERTO DOS S., Caio; BATISTA DE S., Eduardo e DUARTE B., Thiago. Trabalho de Conclusão: Sistema de Gerenciamento de Bateria para Baterias Chumbo-Ácido. Ano: 2020. 52 folhas. Bacharel em Engenharia Elétrica.

SALAS-PUENTE, R. et al.“Practical Analysis and Design of a Battery,” Energies.p. 31, 2018.

SISTEMAS e Tecnologia Aplicada (STA). “Artigo: Baterias em Geral, Disponível em: informações Básicas, "História das Baterias". Disponível em: <<http://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-em-geral/informacoes-basicas/a-historia-das-baterias>>. Acesso em: 15 de abril de 2020.

SISTEMAS e Tecnologias Aplicada (STA), artigo: Baterias recarregáveis, “Como Carregar uma Bateria NiMh”.Disponível em: <[https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-nimh/como-carregar-uma-bateria-nimh#:~:text=As% 20baterias%20de%20NiMh%20devemde%20NiMh%20em%20modo%20lento](https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-nimh/como-carregar-uma-bateria-nimh#:~:text=As%20baterias%20de%20NiMh%20devemde%20NiMh%20em%20modo%20lento)>. Acesso: 29 de outubro de 2020.

SISTEMAS e Tecnologias Aplicadas (STA). Artigo: Baterias Recarregáveis, “Vantagens e limitações das baterias de lítio-íon. Disponível em: <<https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/vantagens-e-limitacoes-das-baterias-de-litio-ion>>. Acesso: 28 de outubro de 2020.

STEPHONSAYS. Diferença entre as células primárias e secundárias. Disponível em: <<https://pt.strephonsays.com/difference-between-primary-and-secondary-cells>>. Acesso: 12 de outubro de 2020.

TRINDADE, Rafael Heleno Ladeira. Estudo das características de baterias recarregáveis possíveis de serem utilizadas no projeto Satélite Universitário, ITASAT.XII Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA XII ENCITA, 2006.