



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

SÁVIO MATEUS FERREIRA PESSOA

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE BATERIAS TIPO AAA

Campina Grande – PB

2021

SÁVIO MATEUS FERREIRA PESSOA

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE BATERIAS TIPO AAA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador: Prof. Ronimack Trajano de Souza

Campina Grande – PB

2021

SÁVIO MATEUS FERREIRA PESSOA

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE BATERIAS TIPO AAA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido a
Coordenação de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Aprovado em ____/____/____

Adolfo Fernandes Herbster

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

Ronimack Trajano de Souza

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão, namorada e amigos que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Ele que me sustenta e me renova a cada dia, e me deu forças em todos os momentos difíceis durante minha graduação.

A minha família, meus pais Cristovão Filho e Anadelma, e meu irmão Cristovão Neto, que nunca mediram esforços para me apoiar em minha vida acadêmica, vocês são minha base, muito obrigado por todo apoio, compreensão e orações. Amo vocês.

Ao meu amor Rayane Alves, por sempre estar do meu lado e apoiar todas as minhas decisões, e ter paciência nos momentos em que precisei de tempo para dedicar aos estudos, você é luz em minha vida, amo você.

Aos meus amigos de infância e ensino médio, que sempre estiveram presentes ao meu lado me apoiando e torcendo por mim, Renê, Walter, Filipe, Jonas, Ewerton, muito obrigado a todos.

As famílias Ferreira e Pessoa, que sempre me apoiaram em todas as decisões, torceram por mim e se preocuparam comigo, em especial aos meus tios/padrinhos Bela e Lêdo, e meu primo/padrinho/irmão Leandro Ferreira, muito obrigado amo vocês.

Aos amigos que a UFCG me deu, Rhavel Batista, João Lennon, Paulo Roberto, Carine Mineto, Laís Souto, Otávio Neto, Bruna Eduarda, José Joseilton, João Vitor, Odenilson Leite, que estiveram na mesma luta diária durante esses 5 anos de graduação, vocês me apoiaram em vários momentos e merecem muito sucesso.

Ao professor Richard Senko, por me orientar em um Pibic e Pibiti durante a graduação e acreditar no meu potencial, me ajudou bastante no meu crescimento pessoal e científico me guiando nos caminhos da produção acadêmica, muito obrigado.

Ao professor Ronimack, que foi meu orientador durante a monitoria do laboratório de circuitos elétricos durante 3 períodos, e me orientou no desenvolvimento do TCC e relatório de Estágio, muito obrigado por todo apoio, palavras motivacionais e por repassar toda sua experiência profissional para nós graduandos.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram para minha caminhada, a instituição UFCG, ao departamento de engenharia elétrica e professores, carregarei com orgulho por onde for que fui formado por esta instituição e professores do DEE, muito obrigado.

*"Se você quiser descobrir os segredos do Universo, pense em termos de energia,
frequência e vibração."
(Nikola Tesla)*

RESUMO

A utilização de pilhas AAA já é algo comum em diversos equipamentos, porém existem diversas marcas e modelos disponíveis com custos variados. Entender e quantificar o funcionamento de cada tipo de pilha é necessário para auxiliar o consumidor na escolha correta. Com base nesse cenário, o presente trabalho avalia a capacidade de pilhas modelo AAA alcalinas e de zinco estabelecendo uma relação técnico/econômica entre os modelos de modo a identificar quais melhores opções para o consumidor final. Foram realizados testes de tensão em circuito aberto, resistência interna e capacidade estabelecendo, a partir do custo de cada modelo, uma relação entre o desempenho e o custo das principais fabricantes disponíveis na cidade de Campina Grande – PB.

Palavras chaves: Pilhas, Custos, Capacidade, Resistência Interna, Relação Técnico/Econômica.

ABSTRACT

The use of AAA batteries it's something ordinary in many equipment, however there is several brands and models available with different costs. To understand and quantifying the operation of each kind of battery is necessary to assist the consumer in the correct choice. Based on this cenary, the present work evaluate the capacity of AAA alkaline and zinc batteries, establishing a technical/economic relationship between the models in order to identify which are the best options for the final consumer. Were performed open circuit voltage, internal resistance and capacity tests to establish, from the cost of each model, a relationship between the performance and the cost of the main manufacturers available in the city of Campina Grande - PB.

Keywords: Battery, Costs, Capacity, Internal Resistance, Technical/Economic Relationship.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo da evolução das pilhas	16
Figura 2 – Representação esquemática da pilha de zinco	17
Figura 3 – Representação esquemática da pilha alcalina	18
Figura 4 – Tamanhos das pilhas	19
Figura 5 – Ensaio de descarga de pilhas.....	21
Figura 6 – Tira de latão com capsula de aço niquelado	22
Figura 7 – Zinco derretido em processamento	22
Figura 8 – Invólucros de aço com separador em processamento	23
Figura 9 – Pilha desmontada	24
Figura 10 – Produto finalizado	24
Figura 11 – Representação de uma fonte ideal	26
Figura 12 – Representação de uma fonte real	27
Figura 13 – Corrente de descarga em uma pilha AAA com carga constante	28
Figura 14 – Pilhas utilizadas	30
Figura 15 – Circuito utilizado na identificação da resistência interna	31
Figura 16 – Circuito de identificação da resistência interna montado em protoboard.....	31
Figura 17 – Circuito utilizado na identificação da capacidade	32
Figura 18 – Instrumentos de medição conectados ao circuito	33
Figura 19 – Circuito de determinação da capacidade montado em protoboard.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fabricantes selecionados.....	29
Tabela 2 – Preços das pilhas AAA em diversos estabelecimentos.....	35
Tabela 3 – Tensão de circuito aberto em pilhas novas.....	36
Tabela 4 – Resistência interna em pilhas novas.....	36
Tabela 5 – Resistência interna em pilhas descarregadas.....	37
Tabela 6 – Capacidade em pilhas novas.....	38
Tabela 7 – Relação da capacidade de pilhas alcalinas e de zinco de mesmo fabricante.....	38
Tabela 8 – Relação capacidade por real.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
C	Capacidade
DOD	<i>Depth Of Discharge</i>
f.e.m.	Força Eletromotriz
h	Hora (tempo)
LiPo	Íon de Polímero
mAh	Miliampere.hora (Capacidade)
NBR	Norma Brasileira
SOC	<i>State Of Charge</i>
VOC	<i>Open Circuit Voltage</i>

SUMÁRIO

Capítulo 1	14
Introdução	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivos Específicos	15
Capítulo 2	16
Fundamentação Teórica	16
2.1 Tipos de Pilhas	16
2.1.1 Pilhas de Zinco	17
2.1.2 Pilhas Alcalinas	18
2.1.3 Classificação Quanto ao Tamanho da Pilha	19
2.2 Aplicações das Pilhas	19
2.2.1 Pilhas de Zinco	20
2.2.2 Pilhas Alcalinas	20
2.3 Vida Útil das Pilhas	20
2.4 Processo de Fabricação	21
2.5 Terminologia Utilizada em Pilhas	24
2.5.1 Capacidade (C)	25
2.5.2 Estado de Carga (SOC)	25
2.5.3 Profundidade de Descarga (DOD).....	25
2.5.4 Tensão de Circuito Aberto (VOC).....	25
2.5.5 Resistência Interna	25
2.6 Características Avaliadas	26
2.6.1 Resistência Interna	26
2.6.2 Tensão em Circuito Aberto	27
2.6.3 Capacidade	27
Capítulo 3	29
Material e Métodos	29
3.1 Material	29
3.2 Métodos	30
3.2.1 Medição de Resistência Interna das Pilhas.....	30
3.2.2 Identificação da Capacidade de Pilhas	32

3.2.3	Tensão em Circuito Aberto	34
Capítulo 4	.....	35
Resultados e Discursões	.....	35
4.1	Custos de Cada Modelo.....	35
4.2	Teste de Tensão de Circuito Aberto.....	35
4.3	Teste de Resistência Interna	36
4.4	Teste de Capacidade	37
4.5	Relação Técnico/Econômica	39
Capítulo 5	.....	40
Conclusões	.....	40
5.1	Trabalhos Futuros	40
Referências	.....	42

Capítulo 1

Introdução

Pilhas e baterias são fontes de energia resultante de reações químicas. Atualmente as pilhas são utilizadas em diversos equipamentos do nosso cotidiano como controles remotos, calculadoras, relógios, rádios entre outros (NEVES, 2019). Este tipo de fonte de energia é consumido em larga escala em todo o mundo e, no Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), são comercializados aproximadamente 1,2 bilhão de produtos ao ano que utilizam pilhas e baterias (ABINEE, 2012).

Em 1800, o cientista Alessandro Volta empilhou discos alternados de zinco e cobre separando-os por pedaços de tecidos embebidos em solução de ácido sulfúrico, criando assim a primeira pilha elétrica (FOGAÇA, 2009). Posteriormente surgiram as pilhas secas de Leclanché, pilha de níquel cádmio, e baterias de chumbo ácido e íon lítio (APPROBATO, 2019). Na época atual, novas tecnologias em baterias são desenvolvidas como as baterias de LiPo, e pilhas do tipo alcalinas que não utilizam elementos químicos poluentes como mercúrio, chumbo e cádmio e seu descarte não representa grandes problemas ambientais (DIAS; KARASINSKI, 2003).

Devido à importância das pilhas para o funcionamento de diversos equipamentos, faz-se necessário o estudo, desenvolvimento e comparação dos tipos de pilhas disponíveis no mercado nacional de modo a avaliar o desempenho e os custos relacionados as pilhas do tipo alcalinas e comuns (pilhas de zinco), uma vez que pouco se fez testes comparativos entre as diversas marcas e modelos de pilhas e não existe uma definição de qual deve ser a melhor opção para o consumidor final.

Na literatura, há diversas técnicas de monitoramento e diagnóstico de pilhas e baterias com o objetivo de identificar suas características e quantificar os dados resultantes. Exames como carga e descarga das pilhas e baterias bem como medição de impedância, condutância, resistência interna e tensão em circuito aberto são os mais utilizados para análise de desempenho (OLIVEIRA et al., 2019; CARIBÉ, 2011; ROSOLEM et al., 2003).

Diante do exposto, este trabalho possui como foco realizar implementações de técnicas de identificação dos parâmetros elétricos de pilhas do tipo AAA alcalinas e

de zinco, a fim de serem utilizados em comparativo estabelecendo uma relação técnico/econômica entre as pilhas.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é propor uma análise comparativa entre pilhas do tipo AAA alcalinas e de zinco de modo a avaliar suas capacidades.

1.1.1 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- Estabelecer uma relação técnico/econômica entre pilhas AAA alcalinas e de zinco de mesmo fabricante;
- Estabelecer uma relação técnico/econômica entre fabricantes de pilhas AAA alcalinas;
- Estabelecer uma relação técnico/econômica entre fabricantes de pilhas AAA comuns (zinco);

Capítulo 2

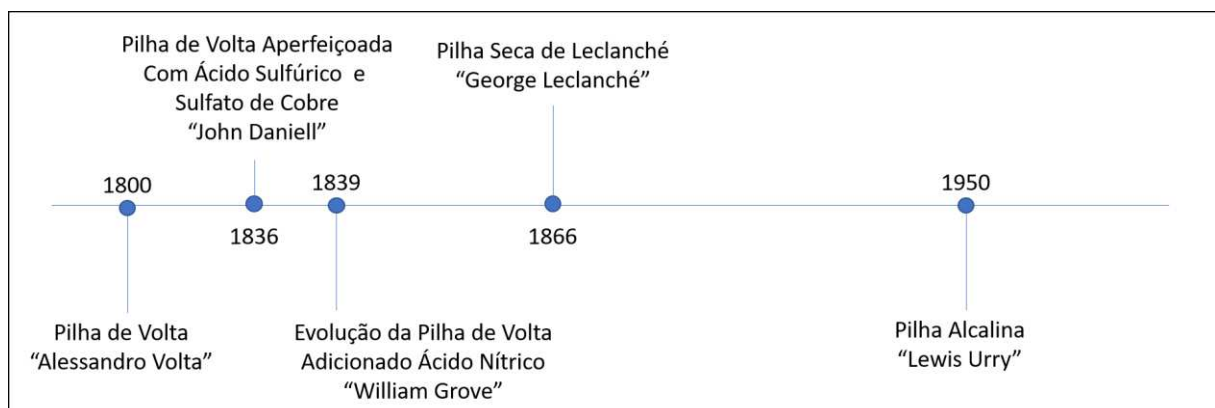
Fundamentação Teórica

Pilhas são fontes de energia resultantes de reações químicas em seu interior. O modelo pilha seca de Leclanché mais conhecido como pilha de zinco e Alcalina são os mais comuns e utilizados atualmente. Compreender os tipos de pilhas e como elas são constituídas permite avaliar sua capacidade de fornecimento de energia e fazer um comparativo entre estes dispositivos. Vários parâmetros podem ser avaliados e quantificados, como a capacidade, custos, vantagens, desvantagens e parâmetros construtivos de cada pilha, estabelecendo uma relação técnico/econômica dos modelos disponíveis no mercado.

2.1 Tipos de Pilhas

A evolução da pilha se deu em um período de 200 anos, iniciou-se com a pilha de Alessandro Volta com aperfeiçoamento de John Daniell, posteriormente o engenheiro eletricitista George Leclanché produziu a célula de Leclanché, base para o funcionamento das pilhas de zinco atuais, e o químico Lewis Urry desenvolveu a pilha alcalina e as baterias de lítio (SILVA, 2011).

Figura 1 – Linha do tempo da evolução das pilhas



Fonte: Adaptado (SILVA, 2011)

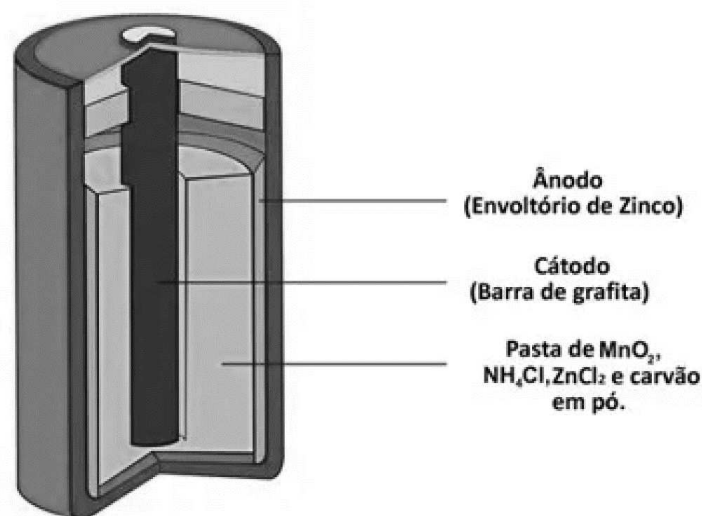
Alessandro Volta desenvolveu o primeiro modelo utilizando discos de cobre e zinco separados por papelão umedecido em solução salina, mas devido ao fenômeno de polarização, resultante do surgimento de bolhas de gás (H_2) na superfície dos discos de cobre, sua eficiência era limitada. Porém o químico John Daniell resolveu este problema ao construir uma pilha com eletrodo de zinco mergulhado em uma

solução de ácido sulfúrico diluído e um eletrodo de cobre em uma solução saturada de sulfato de cobre, separando estas soluções por uma ponte salina (SILVA, 2011).

2.1.1 Pilhas de Zinco

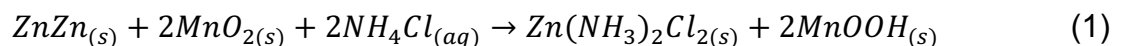
As pilhas de zinco possuem o princípio de utilizar dois metais, um com a tendência de perder elétrons e outro com a tendência de ganhar elétrons, quando os polos positivos e negativos são ligados externamente, o polo negativo libera elétrons que atravessam o circuito.

Figura 2 – Representação esquemática da pilha de zinco



Fonte: APPROBATO, 2019

Também chamado de pilha seca de Leclanché, a pilha de zinco é composto por zinco formando o ânodo, grafita como condutor e o cátodo contendo pasta de dióxido de manganês (MnO_2) que atua como agente despolarizante, cloreto de amônia (NH_4Cl), cloreto de zinco ($ZnCl_2$) e carvão em pó, resultando em uma diferença de potencial de 1,5V a 25°C entre seus terminais (APPROBATO, 2019; DIAS, 2021; MATTEDE, 2019). A reação química geral neste tipo de pilha é:



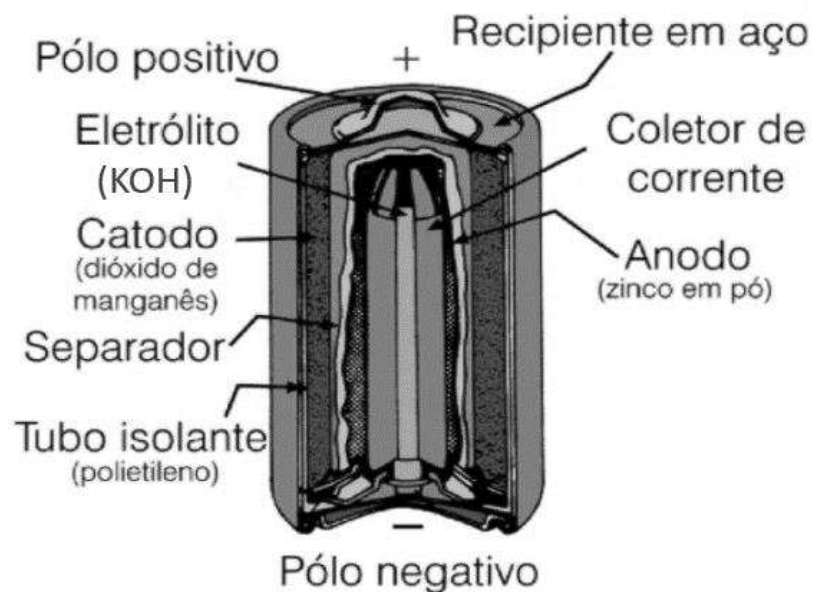
As reações paralelas que ocorrem no armazenamento deste tipo de pilha resultam em vazamentos, principalmente entre períodos distintos de descargas, uma das principais reações é entre o ânodo de zinco e o íon NH_4^+ , resultando na corrosão do primeiro. Esta pilha possui limitações como não ser adequada para aplicações de alto consumo, possuir uma faixa de temperatura de 20-40 °C e baixa densidade de energia em comparação com os modelos alcalinos (SILVA, 2011).

2.1.2 Pilhas Alcalinas

As pilhas alcalinas diferem da pilha de Zinco devido a utilizar células eletroquímicas com materiais ativos de maior grau de pureza, o cloreto de amônia (NH_4Cl) da pilha de zinco é substituído pelo metal alcalino hidróxido de potássio (KOH) ou o hidróxido de sódio (NaOH).

O zinco é produzido por processos eletroquímicos com alto teor de pureza e grande área superficial, diminuindo a resistência interna da pilha. O dióxido de manganês de origem eletrolítica é misturado com grafite em pó diminuindo os problemas com corrosão, elevando a condutividade do cátodo, a faixa de temperatura e o nível de descarga, oferecendo maior segurança contra vazamentos e durabilidade em torno de quatro a dez vezes mais que as pilhas de zinco (SILVA, 2011). Na Figura 3 pode-se observar a disposição dos elementos na pilha alcalina.

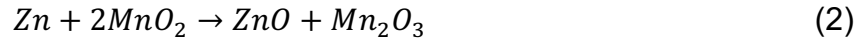
Figura 3 – Representação esquemática da pilha alcalina



Fonte: Adaptado LAZZAROTTO, 2020

Por possuírem alta densidade de energia, as pilhas alcalinas podem ser utilizadas em equipamentos que exigem mais energia em funcionamento, pois o hidróxido de potássio ou de sódio é melhor condutor eletrolítico, permitindo uma oxidação mais rápida e resistência interna muito menor em relação as pilhas de zinco (APPROBATO, 2019; LAZZAROTTO, 2020; DIAS, 2021), como também é possível armazenar mais energia por mais tempo.

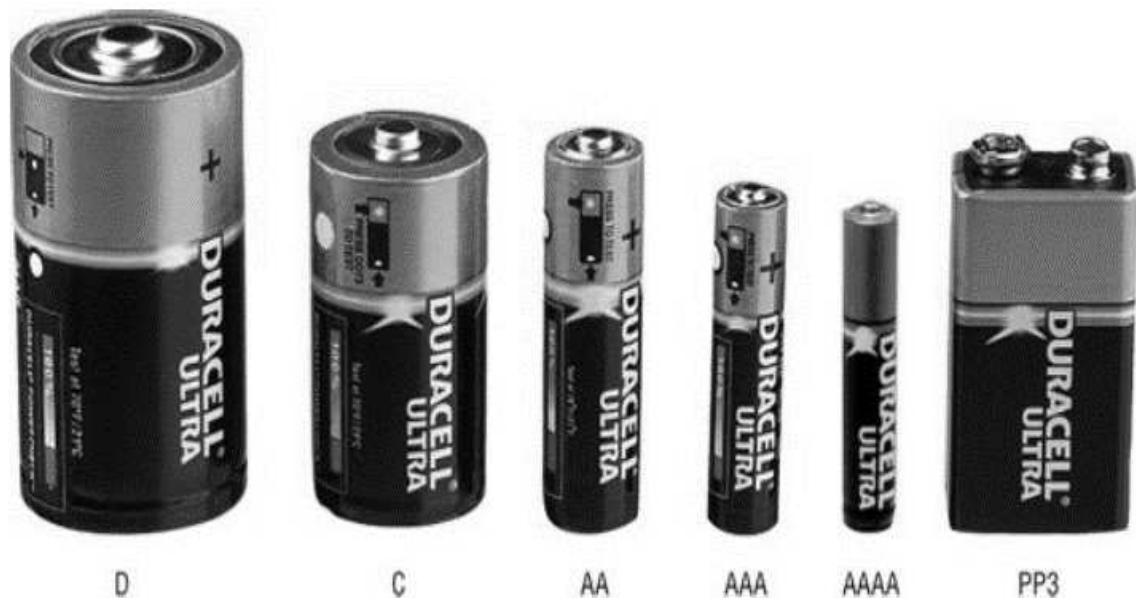
As pilhas alcalinas mantêm sua tensão de funcionamento constante em aproximadamente 1,54V a 25 °C (SILVA, 2011), e sua reação química resultante pode ser observada na equação (2).



2.1.3 Classificação Quanto ao Tamanho da Pilha

As pilhas são classificadas também com relação ao seu tamanho, visto que a indústria convencionou este tipo de classificação para padronizar os modelos, assim quanto maior o número de “A”s, menores são as dimensões da pilha, como observa-se na Figura 4.

Figura 4 – Tamanhos das pilhas



Fonte: MARTA, 2019

A capacidade de cada modelo é proporcional ao seu tamanho físico, possuem tensão nominal de 1,5 V exceto o modelo PP3, que é composto por uma associação em série de seis pilhas AAAA resultando em uma tensão de saída de 9V.

2.2 Aplicações das Pilhas

As pilhas permitem a portabilidade de diversos equipamentos elétricos e são importantes no nosso cotidiano, cada equipamento necessita de um tipo e tamanho distinto de modo a atender as necessidades físicas e elétricas do dispositivo. No Brasil, a pilha de tamanho médio do formato AA é a mais comum e presente na maioria das residências dos brasileiros (NEVES, 2019).

2.2.1 Pilhas de Zinco

Por possuírem baixa densidade de energia, as pilhas de zinco não suportam grandes esforços elétricos, sendo indicada para equipamentos que requerem descargas leves e contínuas com baixo consumo de energia, como lanternas, relógios, controles remotos, microfones e brinquedos.

2.2.2 Pilhas Alcalinas

Possuem alta densidade de energia devido ao hidróxido de potássio, que permite maior fluxo de elétrons armazenando maior quantidade de energia por mais tempo.

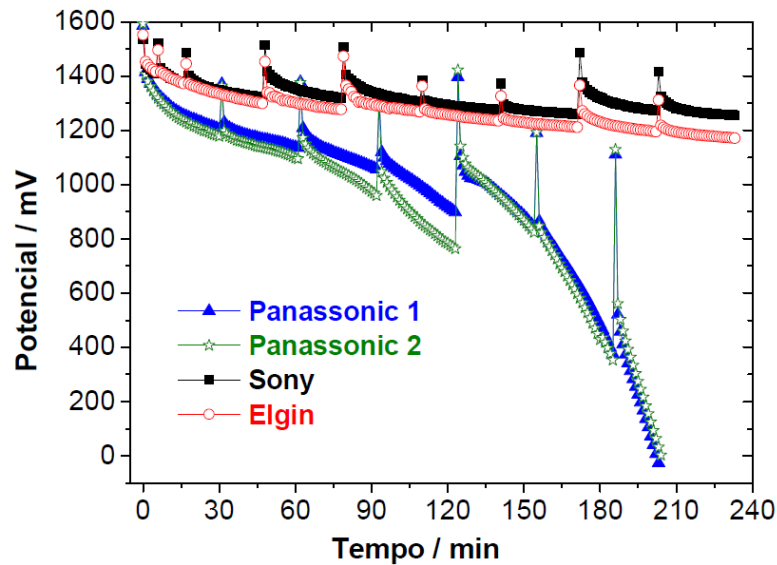
As pilhas alcalinas suportam grandes esforços elétricos, sendo indicadas para equipamentos que requerem descargas elevadas e irregulares como players de CD/DVD, MP3, rádios e câmeras digitais.

2.3 Vida Útil das Pilhas

Todas as pilhas devem ser armazenadas a uma temperatura entre 10°C e 25°C e nunca exceder 30°C por longo período de tempo, devem ser estocadas longe de radiações, aquecedores e luz do sol direta. Seguindo estas condições e garantindo um ambiente de utilização livre de umidade, as pilhas de zinco duram aproximadamente 2 anos e as alcalinas 10 anos. Considera-se o fim da vida útil quando a capacidade da pilha atinge 80% da capacidade nominal (CHAGAS, 2007).

Em casos de utilização das pilhas fora do prazo de validade ocorre uma diminuição do potencial elétrico muito maior do que as utilizadas dentro do prazo de validade (OLIVEIRA et al., 2019), como pode ser visto na Figura 5 em que Oliveira et al. (2019) submeteram pilhas AAA do tipo alcalinas à testes de descarga e carga. Os modelos *Panasonic 1* e *Panasonic 2* estavam a 28 meses fora do prazo de validade, enquanto as pilhas *Sony* e *Elgin* estavam dentro do prazo de validade.

Figura 5 – Ensaio de descarga de pilhas



Fonte: OLIVEIRA et al., 2019

Observa-se a redução do potencial elétrico bem mais acentuada ao longo do tempo nos modelos já vencidos devido a maioria das reações químicas das pilhas já terem ocorrido, diminuindo o tempo de vida útil.

Quando as pilhas chegam ao final de sua vida útil, devem ser coletadas e enviadas para unidades de recuperação e reciclagem, garantindo que seus componentes perigosos (metais e ácidos) fiquem afastados de aterros e do lençol freático. Atualmente, o Instituto de Pesquisas Toyota da América do Norte trabalha no desenvolvimento de pilhas à base de magnésio que podem causar maior densidade e baixo custo, prolongando ainda mais sua vida útil, os estudos e as pesquisas ainda estão em fase de testes (APPROBATO, 2019).

2.4 Processo de Fabricação

Nas indústrias, o processo de fabricação das pilhas passa por várias etapas até o produto final que consumimos. Essas pilhas funcionam como mini usinas portáteis em que a energia elétrica é produto de várias reações químicas dos componentes que a constituem. Para as pilhas alcalinas, ocorre a produção de eletricidade quando dois eletrodos imersos numa solução alcalina reagem em conjunto.

O processo de fabricação destes componentes é iniciado com a separação em tiras de 4 cm de um rolo de fio de latão, como pode ser visto na Figura 6, estas tiras serão utilizadas como eletrodo. Utiliza-se o latão devido a sua alta concentração de cobre em torno de 70% e 30% de zinco. Posteriormente, essas tiras são submetidas

a uma limpeza profunda com o objetivo de eliminar quantidades minúsculas de gordura e pó, visto que quanto mais puras melhor será o desempenho da pilha. Por fim, as tiras de latão são submetidas a uma máquina de encapsulamento para que seja soldado uma capsula de aço niquelado (SOARES, 2018; HOW DO WE DO IT, 2017).

Figura 6 – Tira de latão com capsula de aço niquelado



Fonte: Adaptado (HOW DO WE DO IT, 2017)

A fabricação do ânodo é baseada em zinco em pó, este zinco é recebido pela indústria em forma sólida e de grandes dimensões. Para adequá-lo as pilhas em fabricação, o zinco é submetido a um forno elétrico que o derrete e é encaminhado para um silo especial onde ocorre a centrifugação até este torna-se pó, como pode ser observado na Figura 7 (SOARES, 2018; HOW DO WE DO IT, 2017).

Figura 7 – Zinco derretido em processamento



Fonte: Adaptado (HOW DO WE DO IT, 2017)

Para reter o zinco e evitar o contato direto entre os eletrodos, utiliza-se um papel laminado chamado de separador, como pode ser observado na Figura 8, este permite fazer o isolamento da pilha e que os íons fluam entre os polos positivo e negativo no seu interior. Para formação do polo positivo, utiliza-se um eletrodo composto por dióxido de manganês que possui a função de reter os elétrons liberados pelo zinco, porém o dióxido de manganês não é um bom condutor, assim aplica-se o grafite para aumentar sua condutividade. É necessário várias peneiras e silos vibratórios para produção de pó de grafite e dióxido de manganês e comprimi-lo para encaixar no interior de uma pilha (SOARES, 2018; HOW DO WE DO IT, 2017).

Figura 8 – Invólucros de aço com separador em processamento



Fonte: Adaptado (HOW IT'S MADE, 2016)

Na última etapa de produção, invólucros de aço revestidos com níquel são transformados em tubos chamados de consoles e dão origem ao formato das pilhas. Esses tubos são utilizados para montagem dos componentes, onde posteriormente é inserido o separador seguido de pequenas quantidades de solução eletrolítica alcalina, após o líquido assentar, é inserido gel de zinco e a tira de latão coletora de corrente. Uma máquina de encapsulamento de alta velocidade é responsável por selar cada pilha utilizando uma prensa e cola quente (SOARES, 2018; HOW DO WE DO IT, 2017). Por fim, adiciona-se uma camada de papelão externa e a capa metálica, com as especificações do modelo. Uma pilha desmontada pode ser vista na Figura 9 com os componentes descritos.

Figura 9 – Pilha desmontada



Fonte: RIBAS et al., 2019

Após finalização do processo, as pilhas são separadas e embaladas por tipo e tamanho para serem distribuídas aos consumidores. O produto finalizado pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Produto finalizado



Fonte: DIAS, 2021

2.5 Terminologia Utilizada em Pilhas

Para análise do funcionamento de uma pilha é necessário conhecer suas principais terminologias. As descrições de itens fundamentais ao conteúdo estão expostas a seguir.

2.5.1 Capacidade (C)

A capacidade de uma pilha ou bateria define sua capacidade energética e é declarada em cada modelo. É expressa por ampère-hora (Ah), em que 1 Ah equivale a 3600 coulombs, logo para definir a carga presente no dispositivo é necessário o conhecimento da sua capacidade. Portanto a capacidade indica a autonomia da pilha e pode ser resumida na seguinte expressão:

$$\text{Capacidade (C)} = \text{Corrente de Descarga (I)} \times \text{Tempo de Descarga (t)} \quad (3)$$

A capacidade é medida experimentalmente e depende de fatores como a corrente elétrica utilizada, a tensão final de descarga permitida e a temperatura em que o teste foi realizado (CHAGAS, 2007). Caso uma pilha forneça 1 ampere de corrente (A) em uma hora, temos que a capacidade desta pilha é de 1Ah.

2.5.2 Estado de Carga (SOC)

O estado de carga (SOC, do inglês, State of Charge) é utilizado para informar a carga restante de uma pilha. Variando entre 0% e 100%, onde em 0% a pilha está descarregada e 100% completamente carregada (MELO, 2019).

2.5.3 Profundidade de Descarga (DOD)

O DOD (Depth of Discharge) é definido como a porcentagem de carga que é utilizada da pilha em relação a sua capacidade total carregada, em um ciclo de funcionamento (MELO, 2019).

2.5.4 Tensão de Circuito Aberto (VOC)

É a tensão nominal da pilha em seus terminais quando a mesma se encontra em repouso sem conexão a outros dispositivos. De acordo com a norma NBR 9517, a tensão máxima permissível que a pilha pode apresentar de modo a não danificar o equipamento que será depositada deve ser de 1,725V.

2.5.5 Resistência Interna

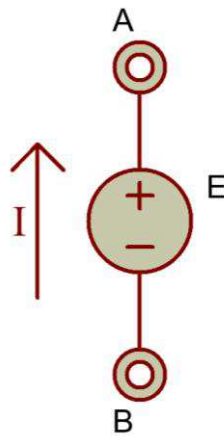
A resistência interna determina o desempenho e a vida útil da pilha e depende de alguns fatores como: idade, condição, temperatura, umidade e construção. Todos os elementos internos que bloqueiam o fluxo de corrente podem ser considerados como resistência interna. As reações químicas que ocorrem no interior da pilha ao longo do tempo aumentam a resistência interna e quanto maior essa resistência, menor será o desempenho da pilha.

2.6 Características Avaliadas

2.6.1 Resistência Interna

Uma fonte de energia ideal possui a característica de sempre manter uma diferença de potencial constante entre seus terminais, como pode ser observado na Figura 11, em que V_{ab} é constante independente se ela é percorrida por uma corrente elétrica ou não. A energia elétrica que uma fonte fornece é denominada f.e.m. (força eletromotriz), e no caso de uma fonte ideal, seu valor é igual ao módulo da diferença de potencial entre seus terminais.

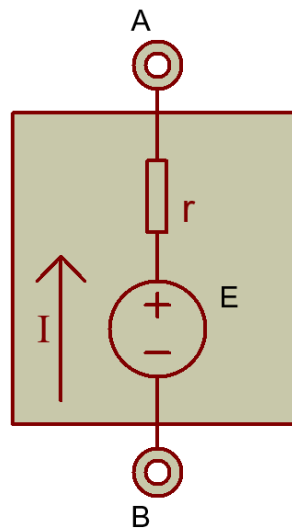
Figura 11 – Representação de uma fonte ideal



Fonte: Produzido no *software* PROTEUS DESIGN SUITE – Autoria Própria

Porém todas as fontes reais apresentam vários tipos de resistência interna devido seus materiais de fabricação, estas resistências podem ser simplificadas em uma única resistência representada conforme Figura 12. Ao circular uma corrente elétrica através de uma fonte real, ocorre uma queda de potencial no seu interior devido esta resistência, portanto, a diferença de potencial V_{ab} entre os terminais de uma fonte real é sempre menor que “E” quando a mesma está conectada a uma carga. Definir o valor da resistência interna em uma pilha permite obter o seu desempenho em carga, visto que quanto menor for esta resistência, melhor será o rendimento da pilha.

Figura 12 – Representação de uma fonte real



Fonte: Produzido no software PROTEUS DESIGN SUITE – Autoria Própria

Para o caso de uma fonte real, pode-se obter o valor de V_{ab} em função da f.e.m. da resistência interna e da corrente que circula na fonte ((4)). Com isto conclui-se que a f.e.m. da fonte real, cujo é denominada “E”, pode ser obtida quando não houver corrente circulando pela fonte ($i = 0$).

$$V_{ab} = E - ri \quad (4)$$

Assim, pode-se determinar a resistência interna de qualquer fonte de tensão real utilizando a (4 variando-se a corrente de saída da fonte e aferindo os valores de V_{ab} .

2.6.2 Tensão em Circuito Aberto

O teste de tensão de circuito aberto permite verificar se a tensão de circuito aberto (VOC) da pilha não ultrapassa o limite máximo permitido que, segundo o (INMETRO, 2011), deve ser 10% para pilhas alcalinas e 15% para pilhas de zinco, o que corresponde, respectivamente, ao valor máximo de 1,65V e 1,725V. Pilhas com valores de VOC elevados podem danificar os equipamentos que as utilizam, reduzindo sua vida útil.

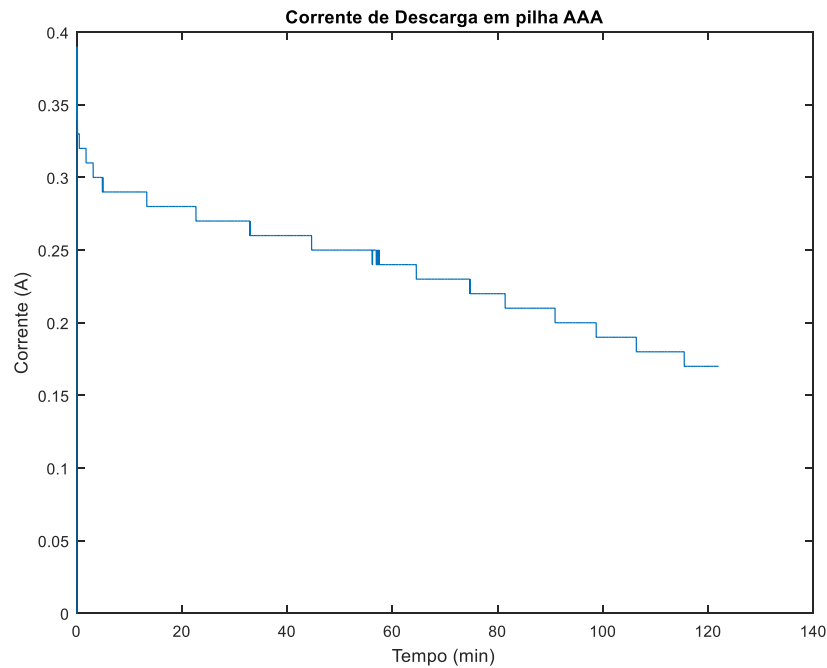
2.6.3 Capacidade

Para determinação da capacidade das pilhas deve-se utilizar a norma ISO/IEC 60.086-2/2006 para comparação dos valores encontrados, nela determina-se para pilhas do tipo AAA a capacidade mínima de uma pilha de zinco em 1,4Ah e alcalina em 5,0Ah, tomando como base a aplicação de uso de um rádio. Porém aplicar este

teste possui diversos fatores aleatórios que influenciam no resultado final. Com isto será utilizado o que determina a NBR 9517 sobre ensaios de descarga em pilhas e baterias, em que a tensão final de descarga é de 0,8V para pilhas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986).

A curva de descarga de uma pilha normalmente aproxima-se com a vista na Figura 13, em que devido à redução da tensão terminal ao longo do tempo, a corrente de descarga é reduzida proporcionalmente até atingir o zero. Como visto, pode-se calcular a capacidade da pilha utilizando o gráfico da Figura 13, porém é necessário um cálculo integral para determinar a área da curva da corrente em função do tempo, o que exige um processo computacional elevado. Como forma de contornar este problema, pode-se utilizar um circuito de descarga com corrente constante.

Figura 13 – Corrente de descarga em uma pilha AAA com carga constante



Fonte: Produzido no software MATLAB – Autoria Própria

Capítulo 3

Material e Métodos

Este capítulo descreve o material e os métodos empregados na determinação e validação de parâmetros como capacidade, tensão em circuito aberto e resistência interna de pilhas AAA.

O trabalho compreende cinco etapas, assim distribuídas:

- Levantamento de custos das pilhas
- Ensaio para verificação da tensão em circuito aberto
- Ensaio para determinação da resistência interna antes e após um processo de descarga.
- Ensaio para verificação da capacidade das pilhas analisadas
- Estabelecer uma relação técnico/econômica entre as pilhas

3.1 Material

No desenvolvimento desta pesquisa selecionou-se 5 fabricantes e adquiriu-se 4 unidades do mesmo tipo/fabricante de modo a realizar os testes e encontrar uma média de desempenho de cada modelo. Os fabricantes selecionados estão na Tabela 1, a escolha destes fabricantes foi devido a serem os mais comercializados na região e de fácil acesso.

Tabela 1 – Fabricantes selecionados

Duracell
Elgin
Panasonic
Rayovac
OuroLux

Fonte: Autoria Própria

Os modelos adquiridos estão na Figura 14, como a fabricante *Duracell* não disponibiliza modelos do tipo comum (zinco), apenas o modelo alcalina foi utilizado para este fabricante. Concluindo então a quantidade de 20 pilhas do tipo alcalina (4 por fabricante) e 16 pilhas do tipo zinco (4 por fabricante) totalizando 36 unidades.

Figura 14 – Pilhas utilizadas



Fonte: Autoria Própria

3.2 Métodos

O procedimento de análise consistiu em anotar os custos de cada modelo considerando a melhor oferta disponível no dia da pesquisa, realizar a aquisição dos modelos e iniciar os testes. Primeiramente o teste de tensão em circuito aberto foi realizado nas 4 unidades de mesmo modelo/fabricante, em seguida duas dessas unidades foram utilizadas para o teste de resistência interna, e as outras duas para o teste de capacidade, por último as duas unidades que passaram pelo teste de capacidade foram submetidas ao teste de resistência interna de modo a observar sua resistência interna após a descarga realizada.

Por fim, é estabelecido uma relação técnico/econômica entre os modelos de modo a avaliar qual tipo e fabricante é o mais indicado de acordo com a aplicação da pilha pelo consumidor final.

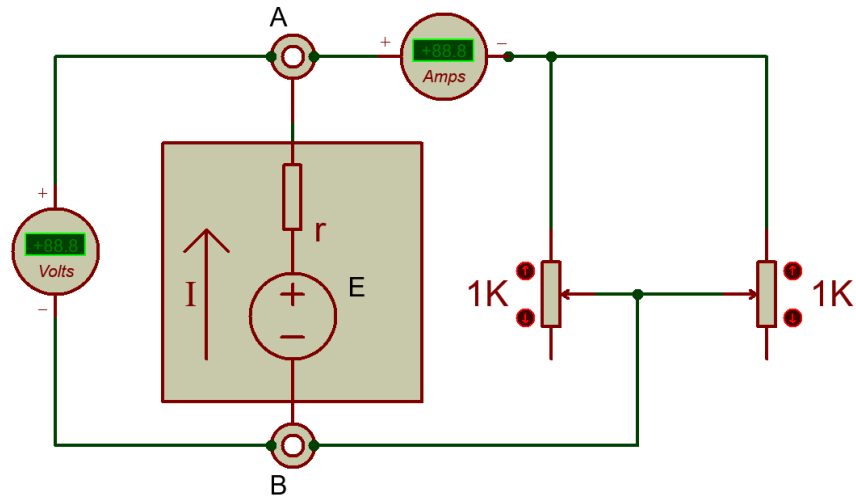
3.2.1 Medição de Resistência Interna das Pilhas

O ensaio de medição de resistência interna permite definir qual valor desta resistência em fontes de tensão reais.

O circuito utilizado para verificação da resistência interna está na Figura 15 e pode ser visto montado na Figura 16, que utiliza dois potenciômetro de $1k\Omega$ para ajuste fino da carga conectada a pilha, possibilitando a variação da corrente de saída. A primeira aferição deve ser com a pilha em circuito aberto, neste caso obtém-se o valor de “E” que será fixo para as próximas aferições.

Posteriormente deve-se variar a carga do sistema obtendo valores V_{ab} diferentes, limitando o estado de carga (SOC) da pilha no máximo em 95%. Em posse do valor de V_{ab} e da corrente i em n aferições, obtém-se n valores de r , com isto pode-se encontrar a média destes valores e definir a resistência interna da pilha.

Figura 15 – Circuito utilizado na identificação da resistência interna



Fonte: Produzido no software PROTEUS DESIGN SUITE – Autoria Própria

Figura 16 – Circuito de identificação da resistência interna montado em protoboard



Fonte: Autoria Própria

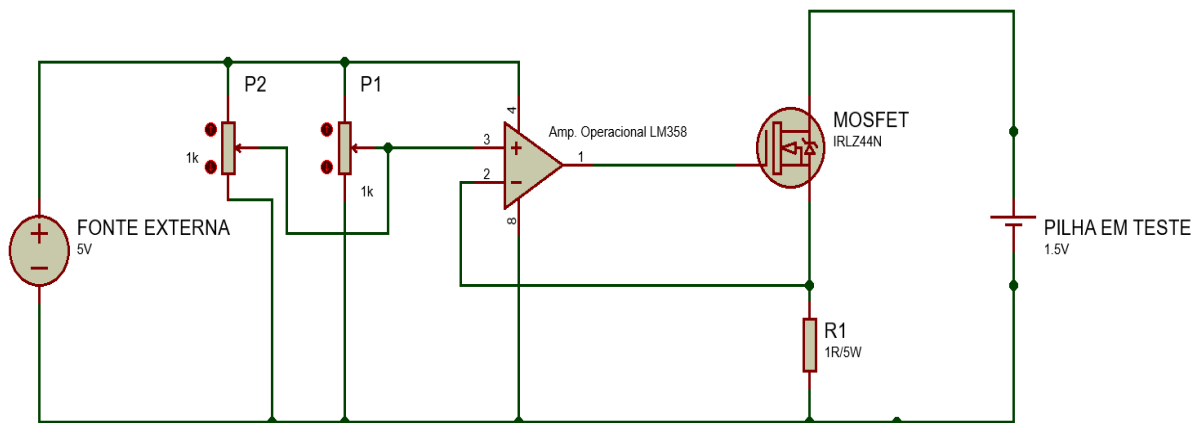
3.2.2 Identificação da Capacidade de Pilhas

Para a avaliação da capacidade das pilhas fez-se necessário desenvolver um circuito oscilador capaz de provocar uma descarga nas pilhas com corrente constante, eliminando o cálculo integral necessário. Na Figura 17 pode-se observar o circuito utilizado para produzir uma descarga constante, que utiliza dois potenciômetros como reguladores da corrente de descarga e um amplificador operacional para chavear o circuito utilizando um *mosfet*, criando assim uma carga variável capaz de manter a corrente de descarga constante.

O circuito é composto por:

- 1- Fonte externa 5V para alimentação do circuito de controle;
- 2- Potenciômetro 1k Ω ;
- 3- Amplificador Operacional – LM358;
- 4- *Mosfet* IRLZ44N;
- 5- Resistência 1 Ω /5W.

Figura 17 – Circuito utilizado na identificação da capacidade

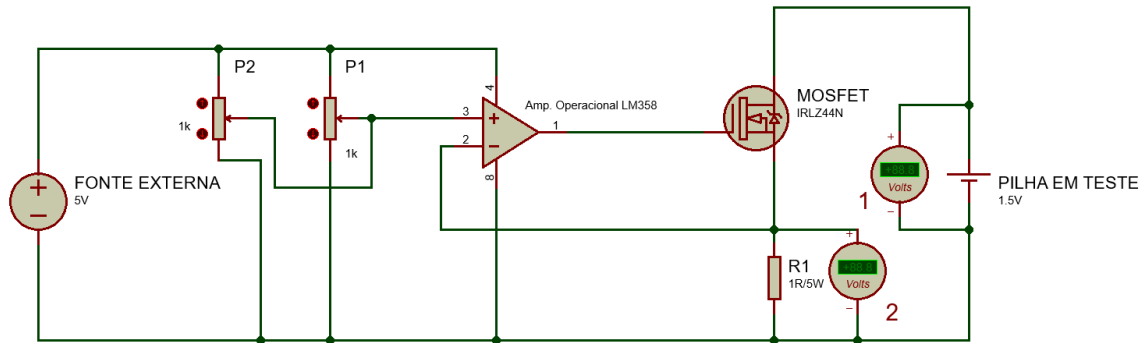


Fonte: Produzido no software PROTEUS DESIGN SUITE – Autoria Própria

Para verificação das variáveis de interesse, utilizou-se dois multímetros, em escala para medição de tensão contínua, conforme pode ser visto na Figura 18 e Figura 19, a medição da corrente de descarga é realizada aferindo a tensão na carga “R1”, como esta possui resistência de 1 Ω , o valor lido é a corrente que percorre esta carga e conseqüentemente a corrente de descarga da pilha. Para determinação da capacidade da pilha, a mesma foi inserida no circuito na posição especificada e anotou-se o valor de tensão inicial aferido pelo multímetro 1 e regulou-se a corrente

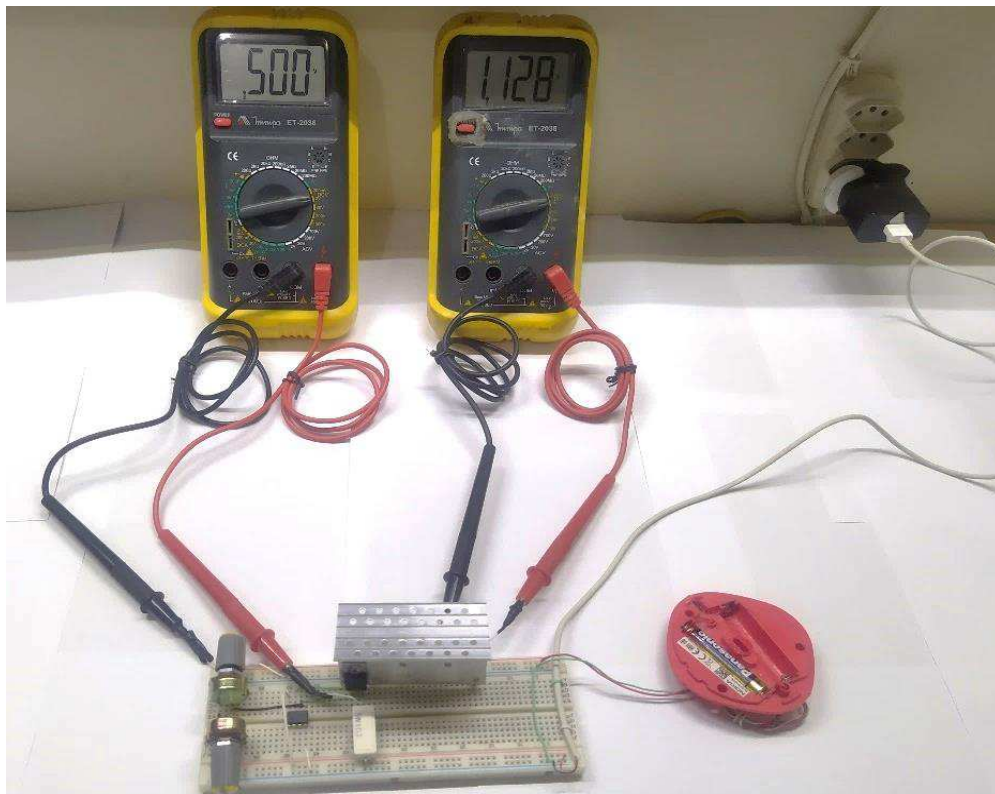
de descarga em 500 mA utilizando os potenciômetros “P1” e “P2” para o ajuste fino da corrente de descarga.

Figura 18 – Instrumentos de medição conectados ao circuito



Fonte: Produzido no software PROTEUS DESIGN SUITE – Autoria Própria

Figura 19 – Circuito de determinação da capacidade montado em protoboard



Fonte: Autoria Própria

Posteriormente, o estado de carga (SOC) da pilha é reduzido até atingir o valor de tensão mínima especificado (0,8V), então anotou-se o tempo de duração do teste, determinando o valor da capacidade da pilha a partir da (5).

$$\text{Capacidade (mAh)} = \text{Corrente de Descarga (mA)} * \text{Tempo do teste (h)} \quad (5)$$

Observa-se como é possível a determinação da capacidade das pilhas de forma direta utilizando um circuito regulador de corrente de descarga, com isto pode-se fazer um comparativo da capacidade de cada fonte de energia entre diversos fabricantes como também verificar se a capacidade informada na embalagem do produto realmente é o valor real.

3.2.3 Tensão em Circuito Aberto

Para fazer a aferição da VOC das pilhas, é necessário utilizar um multímetro na escala de tensão contínua e conectar os terminais positivo e negativo aos respectivos polos da pilha.

Capítulo 4

Resultados e Discursões

4.1 Custos de Cada Modelo

Os modelos selecionados foram adquiridos no dia 05/05/2021 após pesquisa de preços em vários estabelecimentos. Na Tabela 2 observa-se os preços de cada modelo analisado levando em consideração o seu valor unitário em cinco diferentes estabelecimentos.

Tabela 2 – Preços das pilhas AAA em diversos estabelecimentos

Estabelecimento	A		B		C		D		E	
	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc
Marca\Tipo	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc	Zn	Alc
Duracell (R\$)	-	4,49	-	4,75	-	-	-	4,59	-	4,55
Elgin (R\$)	-	-	-	-	1,25	3,45	-	2,35	-	-
Panasonic (R\$)	1,97	3,65	-	-	2,05	3,85	2,19	3,74	-	-
Rayovac (R\$)	2,09	4,69	1,99	4,49	2,15	4,69	-	-	2,79	4,89
OuroLux (R\$)	-	-	-	-	-	-	-	4,99	2,99	4,99

Fonte: Autoria Própria

Os modelos não são comercializados em todos os estabelecimentos, pode-se observar que a marca *Duracell* e *Rayovac* são as mais disponíveis para os consumidores enquanto marcas como *Elgin* e *OuroLux* são mais difíceis de serem encontradas. Os valores destacados na tabela foram os escolhidos para aquisição considerando que são os mais baixos do mercado em Campina Grande PB. Todos os modelos adquiridos estão dentro do prazo de validade e em boas condições de temperatura e armazenamento no estabelecimento. Assim, pode-se realizar um comparativo levando em consideração os custos de cada modelo e seu desempenho.

4.2 Teste de Tensão de Circuito Aberto

O primeiro teste realizado permite verificar os níveis de tensão nas pilhas quando novas e analisar se está dentro do limite especificado por norma. Na Tabela 3 tem-se os valores da VOC aferidos para cada pilha utilizando-se dois multímetros na escala de tensão DC conectados em paralelo a pilha. Cada aferição foi realizada a partir da média dos valores lidos por cada multímetro e em todos os casos não ocorreu diferença de aferição maior que 0,007V entre os multímetros.

Tabela 3 – Tensão de circuito aberto em pilhas novas

Pilha	1	2	3	4	Média
Panasonic Zinco (V)	1,618	1,624	1,625	1,616	1,620
Panasonic Alcalina (V)	1,628	1,628	1,628	1,627	1,628
Elgin Zinco (V)	1,645	1,647	1,643	1,646	1,645
Elgin Alcalina (V)	1,644	1,646	1,644	1,642	1,644
Rayovac Zinco (V)	1,670	1,671	1,672	1,670	1,670
Rayovac Alcalina (V)	1,615	1,617	1,616	1,618	1,616
Ourolux Zinco (V)	1,615	1,621	1,624	1,616	1,619
Ourolux Alcalina (V)	1,614	1,615	1,615	1,611	1,614
Duracell (V)	1,624	1,622	1,624	1,625	1,623

Fonte: Autoria Própria

Observa-se que os valores estão dentro da faixa especificada (até 1,65V para pilhas alcalinas e 1,725 para pilhas de zinco) e os desvios médios das aferições foram na ordem de 0,004V que pode ser explicado devido a margem de medição dos multímetros que possuem uma precisão de aproximadamente 0,5% em torno do valor real.

4.3 Teste de Resistência Interna

As aferições da resistência interna das pilhas utilizando o esquema da Figura 15 estão na Tabela 4, o teste foi realizado com as pilhas 1 e 3, as pilhas 2 e 4 foram reservadas para o teste de capacidade pois a determinação da resistência interna provoca uma descarga leve capaz de modificar os resultados do teste de capacidade. Foram realizadas cinco aferições com carga iniciando com a corrente de 5 mA e variando em passos de 5 mA até alcançar 25 mA. A média das resistências internas encontradas em cada aferição foi considerada com a resistência interna da pilha.

Tabela 4 – Resistência interna em pilhas novas

Pilha	1	3	Média entre 1 e 3
Panasonic Zinco (Ω)	1,580	1,470	1,525
Panasonic Alcalina (Ω)	1,135	1,235	1,185
Elgin Zinco (Ω)	1,445	1,435	1,440
Elgin Alcalina (Ω)	1,025	1,035	1,030
Rayovac Zinco (Ω)	1,755	1,615	1,685
Rayovac Alcalina (Ω)	0,775	0,895	0,835
Ourolux Zinco (Ω)	1,855	1,595	1,725
Ourolux Alcalina (Ω)	0,910	0,885	0,898
Duracell (Ω)	0,880	0,935	0,908

Fonte: Autoria Própria

Após os testes de capacidade, as pilhas 2 e 4 de cada modelo/fabricante foram submetidas ao teste de resistência interna para comparação deste após o processo de descarga, os resultados estão na Tabela 5.

Tabela 5 – Resistência interna em pilhas descarregadas

Pilha	2	4	Média	Aumento (%)
Panasonic Zinco (Ω)	1,935	2,162	2,048	34,32
Panasonic Alcalina (Ω)	1,209	0,957	1,083	14,49
Elgin Zinco (Ω)	3,053	1,812	2,432	68,91
Elgin Alcalina (Ω)	1,182	1,099	1,141	10,74
Rayovac Zinco (Ω)	4,007	4,257	4,132	145,20
Rayovac Alcalina (Ω)	1,145	1,000	1,072	28,42
Ourolux Zinco (Ω)	2,247	2,465	2,356	36,60
Ourolux Alcalina (Ω)	1,085	1,087	1,086	21,04
Duracell (Ω)	1,000	1,075	1,038	14,34

Fonte: Autoria Própria

Fica evidente o quanto a resistência interna da pilha é elevada após o processo de descarga provocado pelo teste de capacidade. No teste com as pilhas novas, o modelo da *Rayovac* e *OuroLux* alcalinas obtiveram os melhores resultados seguidas de perto pelo modelo alcalino da *Duracell* e *Elgin*. A maior elevação percentual da resistência interna da pilha após teste de descarga foi encontrada no modelo *Rayovac* de zinco.

De um modo geral as pilhas de zinco obtiveram maior taxa de elevação com destaque para o modelo da fabricante *Rayovac*, e o modelo alcalino da *Elgin* obteve o menor percentual, indicando a melhor opção quando se trata da análise da resistência interna após um período de descarga.

4.4 Teste de Capacidade

A determinação da capacidade das pilhas utilizando o esquema da Figura 18 está na Tabela 6, o teste foi realizado com as pilhas 2 e 4 pois as pilhas 1 e 3 foram utilizadas para determinação da resistência interna e já possuem um SOC menor que 100%.

Tabela 6 – Capacidade em pilhas novas

Pilha	2	4	Média
Panasonic Zinco (mAh)	137,361	144,444	140,903
Panasonic Alcalina (mAh)	557,500	562,778	560,139
Elgin Zinco (mAh)	131,667	145,972	138,819
Elgin Alcalina (mAh)	761,389	807,639	784,514
Rayovac Zinco (mAh)	175,139	166,806	170,972
Rayovac Alcalina (mAh)	716,667	669,167	692,917
Ourolux Zinco (mAh)	114,028	97,639	105,833
Ourolux Alcalina (mAh)	638,889	665,000	651,944
Duracell (mAh)	603,611	597,778	600,694

Fonte: Autoria Própria

Os resultados encontrados na Tabela 6 evidenciam a capacidade elevada de pilhas alcalinas em relação as pilhas de zinco. Na Tabela 7 é exposto quantas vezes a capacidade das pilhas alcalinas é superior as pilhas de zinco de mesmo fabricante. Com isto pode relacionar quantas pilhas de zinco seriam necessárias para suprir a mesma descarga fornecida com apenas uma pilha alcalina.

Tabela 7 – Relação da capacidade de pilhas alcalinas e de zinco de mesmo fabricante

Marca	Relação
Panasonic	3,975
Elgin	5,651
Rayovac	4,053
Ourolux	6,160
Duracell	-

Fonte: Autoria Própria

A maior relação encontrada foi o modelo *Ourolux*, que são necessárias 6,160 pilhas de zinco para fornecer a mesma capacidade de uma pilha alcalina deste fabricante. A partir destes dados, pode-se relacionar qual melhor opção para aquisição pelo consumidor final, entre pilhas de zinco e alcalinas e a marca com o melhor custo/benefício.

Vale salientar que o teste para determinação da capacidade das pilhas foi realizado sob alta corrente de descarga (500 mA), portanto, não representa a capacidade real do produto para todos os casos de utilização, mas sim para a condição de utilização em cargas de alto consumo na ordem de 500 mA. Como os ensaios foram realizados sob as mesmas condições para todas as pilhas, pode-se estabelecer uma relação entre elas.

4.5 Relação Técnico/Econômica

Para relacionar o custo aos benefícios de cada modelo, é definido um coeficiente de benefício, que relaciona a capacidade do modelo e seu preço. Este coeficiente indica quanto de capacidade é possível obter por uma unidade de real, quanto maior esta capacidade melhor será o benefício da pilha em relação ao seu custo.

O coeficiente pode ser definido como:

$$\text{Relação Benefício Custo (mAh/R\$)} = \frac{\text{Capacidade (mAh)}}{\text{Custo (R\$)}} \quad (6)$$

Na Tabela 8 é exposta esta relação que foi calculada utilizando os custos da Tabela 2 e a capacidade média das pilhas da Tabela 6.

Tabela 8 – Relação capacidade por real

Pilha	Relação (mAh/R\$)
Panasonic Zinco (mAh)	71,343
Panasonic Alcalina (mAh)	153,463
Elgin Zinco (mAh)	111,056
Elgin Alcalina (mAh)	333,410
Rayovac Zinco (mAh)	85,572
Rayovac Alcalina (mAh)	154,153
Ourolux Zinco (mAh)	35,301
Ourolux Alcalina (mAh)	130,441
Duracell (mAh)	133,636

Fonte: Autoria Própria

É possível observar a melhor relação na pilha alcalina da marca *Elgin*, em que cada real investido em sua aquisição retorna 333,410 mAh de capacidade para suprir uma carga, enquanto o modelo de zinco da fabricante *Ourolux* obteve o pior desempenho, visto que este modelo entrega apenas 35,301 mAh de capacidade por real investido.

Nos modelos de pilhas de zinco, a fabricante *Elgin* também obteve melhor resultado, entregando 111,056 mAh de capacidade por real investido, aproximando do desempenho de um modelo alcalino da fabricante *Ourolux* que obteve 130 mAh/R\$.

Capítulo 5

Conclusões

- Neste trabalho foi desenvolvida uma abordagem para correlacionar parâmetros elétricos e os custos das principais pilhas utilizadas pelos consumidores. Em função dos resultados obtidos, pode-se concluir que: Após os ensaios de tensão em circuito aberto, os modelos de pilhas AAA alcalinas e zinco atendem aos critérios exigidos para máxima tensão em circuito aberto de modo a não danificar os equipamentos em que são inseridas
- O ensaio de resistência interna evidenciou o esperado aumento nesta resistência após o processo de descarga, com o modelo alcalino da *Elgin* obtendo o melhor resultado com apenas 10,74% de aumento.
- Os valores comerciais praticados em estabelecimentos de Campina Grande PB são bastante variados dependendo do modelo da pilha e fabricante, os modelos de menor custo são as pilhas de zinco e os fabricantes predominantes no comércio são *Duracell* e *Rayovac*, presente em quatro dos cinco estabelecimentos consultados.
- Após ensaios de capacidade, foi possível identificar o modelo alcalino da *Elgin* com o melhor resultado enquanto para os modelos de zinco, a fabricante *Rayovac* foi superior. Porém apenas a capacidade do modelo não é o único fator relevante para análise, seus custos devem ser levados em consideração. Assim definiu-se uma relação entre o custo do modelo e sua capacidade onde o modelo alcalino da *Elgin* obteve o melhor resultado com 333,410 mAh/R\$ sendo considerado a melhor opção para o consumidor final.
- Pilhas alcalinas são indicadas para aparelhos com consumo elevado, para o caso de aparelhos de baixo consumo como controle remoto e relógio de parede, pode-se utilizar modelos de zinco, e em nossa relação o modelo mais indicado é também da fabricante *Elgin* que entrega 111,056 mAh/R\$.

5.1 Trabalhos Futuros

Como sugestão para próximas pesquisas, pode-se realizar as mesmas análises para outros modelos de pilhas e fabricantes e realizar análises mais detalhadas das

pilhas comercializadas no Brasil com relação as dimensões, composição química e relação técnico/econômica/ambiental, como também verificar o desempenho de pilhas dentro e fora do prazo de validade.

Referências

- ABINEE. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade**. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/imagens/abinee20.pdf>>. Acesso em: 24 mai. 2021.
- APPROBATO, B. **Qual a origem das pilhas e baterias que alimentam suas ferramentas?**. [S.I.] 2019. Disponível em: <<https://apaixonadosporferramentas.com.br/pilhas-e-baterias-das-suas-ferramentas/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Pilha Elétrica R-6 – Método de Ensaio: NBR 9517**. Rio de Janeiro, 1986.
- CARIBÉ, J. A. S. **Relatório sobre análise em pilhas alcalinas e zinco - manganês**. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO. 2011.
- CHAGAS, M. **Novas Tecnologias Para Avaliação de Baterias**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – IEP/LACTEC. Curitiba. 2007.
- DIAS, D. L. **Pilhas**. Manual da Química, 2021. Disponível em: <<https://www.manualdaquimica.com/fisico-quimica/pilhas.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- DIAS, E. S.; KARASINSKI, C. A. **Guia para Aplicação e Manutenção de Banco de Baterias**. UTFPR. 2003.
- FOGAÇA, J. **Alessandro Volta**. Brasil Escola, 2009. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/alessandro-volta.htm>>. Acesso em: 11 mar. 2021.
- HOW DO WE DO IT? Duracell batteries - Courtesy of Discovery Channel**. Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=_6Q_HGZvCcY&t=120s>. Acesso em: 25 de mar. 2021. 0:05:38
- HOW IT'S MADE Duracell Batteries**. Youtube, 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=rukRZwL7b_E>. Acesso em: 25 de mar. 2021. 0:05:38
- IEC 60086-2- Primary batteries – Part 2: Physical and electrical specifications. 2006.
- INMETRO – Programa de Análise de Produtos – **Relatório sobre análise em pilhas alcalinas e zinco - manganês**. Rio de Janeiro, 2011.

- LAZZAROTTO, J. **A Química das Pilhas**. UTFPR, 2020. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2020/03/27/a-quimica-das-pilhas/>>. Acesso em: 18 mar. 2021.
- MARTA, J. **Por que é que as pilhas se denominam AA, AAA, e AAAA?**. [S.I.] 2019. Disponível em: <<https://pt.quora.com/Por-que-%C3%A9-que-as-pilhas-se-denominam-AA-AAA-e-AAAA>>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- MATTEDE, H. **Principais tipos de pilhas e suas características**. Mundo da Elétrica, 2019. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/principais-tipos-de-pilhas-suas-caracteristicas/>>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- MELO, A. C. L. **Simulação Computacional para Avaliação do Uso de Baterias para Redução do Pico de Consumo de Energia**. TCC (Graduação em Engenharia Elétrica) – UFCG. Campina Grande. 2019.
- NEVES, G. **Tudo o que você precisa saber sobre os tipos de pilhas**. [S.I.] 2019. Disponível em: <<http://blog.elgin.com.br/blog/tipos-de-pilhas/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.
- OLIVEIRA, K. G.; GIARETA, R.; SCHERER, H. F.; SALGADO, J. R. C. **Avaliação de carga e descarga de pilhas**. Revista Brasileira de Iniciação Científica. 2019.
- RIBAS, M. C.; OLIVEIRA, A. P.; DUARTE, A. M.; BARP, G.; SILVEIRA, W. **Reciclagem de pilhas e recuperação de zinco para a produção de catalisadores**. 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. 2019.
- ROSOLEM, M. F. N. C.; CARVALHO, S. G.; ROZA, P. C. M.; JUNIOR, J. T. B.; BECK, R. F. **Metodologias Alternativas para Avaliação de Baterias: Uma Experiência na LIGHT**. II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. 2003.
- SILVA, B. O.; CÂMARA, S. C.; AFONSO, J. C. **Série Histórica da Composição Química de Pilhas Alcalinas e Zinco-Carbono Fabricadas entre 1991 e 2009**. Quím. Nova [online]. 2011.
- SOARES, L. F. **Como é feita a pilha?**. Diário do grande ABC, 2018. Disponível em: <<https://www.dgabc.com.br/Noticia/2902565/como-e-feita-a-pilha>>. Acesso em: 24 mar. 2021.