

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

RODRIGO COSTA CALADO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

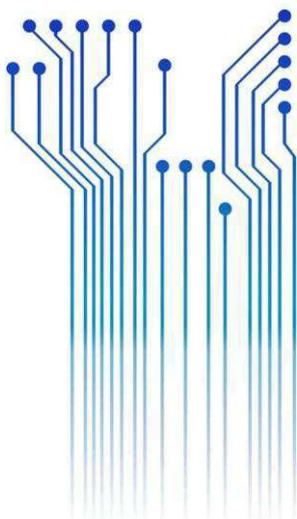


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

ESTADO DA ARTE DE ACUMULADORES DE ENERGIA SOLAR



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2018

RODRIGO COSTA CALADO

ESTADO DA ARTE DE ACUMULADORES DE ENERGIA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Coordenação do Curso de  
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: Geração de Energia Elétrica

Orientador: Professor Leimar Oliveira, D. Sc.

Campina Grande  
2018

RODRIGO COSTA CALADO

ESTADO DA ARTE DE ACUMULADORES DE ENERGIA SOLAR

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Coordenação do Curso de  
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: Geração de Energia Elétrica

Aprovado em        /        /

Professor Leimar Oliveira, D. Sc.  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Ubirajara Rocha Meira, D. Sc.  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar sempre me abençoando durante a trajetória acadêmica, guiando meus passos e me protegendo durante todos os dias, sem Ti Senhor, nada seria possível.

Agradeço e dedico essa vitória aos meus pais Domingos Sávio de B. Calado e Dyone Carmen C. Calado, por me incentivarem e se dedicarem ao máximo pela minha educação. A vocês meus pais, sou eternamente grato.

Dedico meus agradecimentos ao meu irmão Vinícius C. Calado, que na reta final do curso me apoiou e me incentivou, nos momentos em que mais precisei.

Externo meus agradecimentos a todos os meus familiares, em especial meus tios (as): Diógenes Coquita, Maria Aparecida Calado e Maria Isminia Calado, que tanto me apoiaram e acreditaram nesse sonho de conclusão de curso.

Dedico aos que não estão mais presentes fisicamente mas estão no meu coração, meus avós paternos e maternos, minha irmã Clarissa C. Calado (In memoriam), meus primos Ronaldo Calado (In memoriam) e Humberto Coquita (In memoriam).

Aos meus amigos que Campina Grande-PB me presenteou: Amaury, Amanda, Hestevão, Paulo, Rodrigo Rayton e Plínio, obrigado por fazarem da vossa amizade minha segunda família.

Aos amigos e integrantes da equipe Parahybaja, por terem me proporcionado 3 anos de muito aprendizado e desafios.

Ao departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, em especial a Adail, que sempre foi muito solícita em me ajudar e indicar os melhores caminhos para resolver os problemas burocráticos.

Ao professor Leimar, por ter aceitado ser meu orientador de conclusão de curso, e pelas boas conversas e ensinamentos.

Em especial, dedico esse projeto de conclusão de curso a todos aqueles que vivenciaram esse sonho comigo, os momentos de alegria e tristeza, de aprendizado e ensinamentos. Acredito que aqui está se encerrando um ciclo e começando outro e que Deus possa abençoar cada um de vocês, assim como Ele tem me abençoado.

“O sábio como astrónomo – Enquanto sentires  
as estrelas como algo que está por cima, não  
possuis ainda o olhar do homem que sabe”

**Friedrich Nietzsche**

Esta pesquisa tem por objetivo relatar o estado da arte de acumuladores de energia solar, tendo em vista que o mundo na atualidade está diretamente focado nos recursos e fontes de energias renováveis que causam o mínimo possível de impactos ambientais e que supram a necessidade da sociedade com a escassez das fontes primárias, para isso é preciso estudo e desenvolvimento de tecnologia possível de armazenar energia e que consiga executar com eficiência a sua aplicabilidade. Partindo do primeiro experimento de pilhas e passando por séculos distintos é notório a evolução que a pilha e baterias sofreram ao longo dos anos, na busca da otimização, as contribuições de Planté e Daniell foram significativas para compreendermos o funcionamento e as possíveis aplicações dos acumuladores. Por fim uma explanação a cerca do funcionamento dos acumuladores de energia solar, funcionamento, vida útil e planos futuros para desenvolvimentos tecnológicos que favoreçam sua expansão de mercado e aplicações.

Palavras Chaves: Pilha, Bateria, Acumuladores, Energia Solar.

# ABSTRACT

This his search that is interested in reporting the state of the art of solar energy accumulators, given that the world is currently focused on alternative energy resources and sources that cause the least possible environmental impact and suppresses society's need for shortage of primary sources, this requires the study and development of energy technology and to be able to efficiently execute its applicability. The first slide research experiment and decades of study was the launch of a series of batteries and long-term exercises in the years of age, in search of application optimization and application development for the work and the uses of the accumulators. Finally an explanation for the operation of the solar energy accumulators, function, useful life and future plans for technological developments that favor its expansion of market and applications.

**Keywords:** Battery, Batteries, Accumulators, Solar Energy

## Lista de Figuras

Figura 1: Curva da variação de radiação solar direta ao longo de um período de 24h. -----	13
Figura 2: Curva de distribuição espectral da radiação solar.-----	14
Figura 3: Pedaco de resina fossilizada de pinheiro, mais conhecida como Âmbar.- -----	15
Figura 4: Esfera de enxofre. Experiência de Otto, máquina elétrica.-----	16
Figura 5: Experimento de Galvani, utilizando a contração do músculo da rã com metais. -----	17
Figura 7: Modelo da Pilha de Daniell-----	18
Figura 8: Processo de transformação da célula de combustível-----	19
Figura 9: Bateria Chumbo-ácido.-----	21
Figura 10: Modelo de bateria criada por George Leclanché-----	21
Figura 11: Modelo de Pilha Seca Comercializada produzida por Carl.-----	22
Figura 12: Bateria de Lítio-----	24
Figura 13: Modelo de acumulador de energia solar-----	25
Figura 14 : Placas Positivas e Negativas em diferentes momentos de carga e descarga--- -----	26.
Figura 15: Gráfico de vida útil x retenção de capacidade (%)-----	27
Figura 16: Número de ciclos por profundidade de descarga-----	28

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Objetivo.....	12
1.2	Estrutura do Trabalho .....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO .....	13
2.1	Energia Solar .....	13
	2.1.2 Radiação Solar:Captção e Conversão.....	14
2.2	Estado da Arte de Acumuladores.....	15
	2.2.1 Tales de Mileto .....	15
	2.2.2 Otto Von.....	16
	2.2.3 Luigi Galvani .....	16.
	2.2.4 Alessandro Volta .....	17
	2.2.5 Daniell.....	18
	2.2.6 Grove. ....	19
	2.2.7 Planté.....	20
	2.2.8 Leclanché.....	21
	2.2.9 Carl.....	22
	2.2.10 Waldemar .....	22
	2.2.11 Gilbert Lewis.....	22
2.3	Acumuladores de energia solar .....	23.
	2.3.1 Estutura física dos acumuladores.....	24
	2.3.2 Principio de funcionamento.....	24.
	2.3.3. Característica de Vida útil.....	26
	2.3.4 Dimensionamento de Energia Fotovoltáica.....	27
	2.3.5 Projetos Futuros.....	28
3.	Procedimentos Metodológicos.....	28
	3.1 Tipos de Pesquisa.....	28
4	Análise e Discursões.....	28
5.	Conclusão.....	29
6.	Anexos.....	30
7.	Referências Bibliográficas.....	32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1. A.C.....Antes de Cristo
2. Au.....Elemento Químico Prata
3. Cu.....Elemento Químico Cobre
4. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.....Ácido Sulfurico
5. Pb.....Chumbo
6. V.....Volts
7. Zn.....Zinco

# 1 INTRODUÇÃO

Nesse estudo evidencia-se o estado da arte de acumuladores de energia solar, partindo do princípio e origem dos primeiros acumuladores e que originalmente foram denominados de pilhas ou baterias, com a descoberta por volta do século XXVII, quando surge a eletrecidade.

Passados quatro séculos a tecnologia e a ciência continuam em busca da aprimoração do armazenamento de energia e sua geração, e com isso o estudo da arte faz uma análise da pilha de Tales de Mileto e seu processo de funcionamento bem como seus métodos e materiais utilizados, percorrendo toda a sua evolução, em décadas distintas e destacando a aplicabilidade das atuais baterias de chumbo-ácido.

Fazendo uma ligação com a evolução histórica da pilha, baterias e acumuladores, o estudo aplica as questões sócio-cultural, econômica e ambiental que os acumuladores são capazes de contribuir e a sua projeção de perspectiva futura, tendo em vista que o mundo globalizado esta cada vez mais investindo em fontes de energia alternativa e pesquisa em métodos e ferramentas capazes de aprimorar os acumuladores que hoje existem.

## 1.1 OBJETIVOS

Apresentar o desenvolvimento dos acumuladores no cenário mundial, focado no ramo atual de energias renováveis, desde o surgimento da pilha, baterias e dos acumuladores de grande porte até os modelos mais avançados de armazenamento de energia, com enfoque na sua otimização ao longo das décadas e suas diversas aplicações.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Estruturado em 5 capítulos, o presente trabalho retrata a evolução dos acumuladores, partindo do princípio da sua fonte de geração de energia até o armazenamento em acumuladores de energia solar. Abordando o conceito histórico e analisando a evolução dos acumuladores ao longo dos anos e enunciando suas respectivas aplicações.

No capítulo 2 é evidenciado de maneira introdutória o estudo da energia solar, comportamento dos raios solares e os sistemas de radiação.

No capítulo 3 é abordado o estado da arte dos acumuladores, partindo do princípio fundamental com os primeiros elementos criados para geração de energia a partir da pilha até os acumuladores utilizados na atualidade para armazenamento de energia oriunda da geração solar.

No capítulo 4 é discutido o dimensionamento e algumas análises e simulações de acumuladores de energia solar com nível elevado de otimização e disponibilidade de mercado.

Finalizando o estudo com as considerações finais e conclusões sobre a evolução das baterias no setor elétrico, destacando o armazenamento da energia solar.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### CAPÍTULO 2

#### 2.1 ENERGIA SOLAR

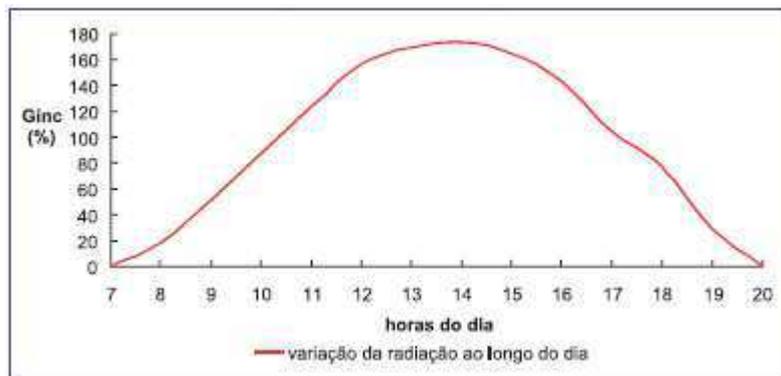
Quando se aborda a respeito da irradiação solar, vale salientar que existem meios nos quais a radiação atinge a terra, radiação direta, difusa ou global.

A radiação solar direta não sofre desvio que pode ser causado pela atmosfera, radiação essa formada no sol e percorre até a superfície terrestre. A radiação difusa, acontece quando existe um sombreamento parcial, ocasionado pela falta de conformidade da direção dos raios formados no sol. A soma das componentes radioativas, radiação direta e difusa é denominada de radiação solar global.

Devido ao movimento constante da terra em torno do seu eixo, movimentos de translação e rotação, influenciam diretamente na geração solar, ou seja, tornando uma geração não constante, pois varia de acordo com as estações do ano e até mesmo influenciando nos dias, meses, anos e localização (Hemisfério)

O estudo da energia solar tem impactado diretamente no avanço da tecnologia em busca de fontes alternativas de geração de energia. Em busca de diminuir a degradação e impacto ambientais, as pesquisas no setor elétrico direcionadas a captação de energia oriunda dos raios solares tem sido bastante correlatas as análises de comportamento do sol (sua variação de radiação ao longo do seus movimentos de rotações e translação) e o quanto de energia pode ser absorvida e aplicada no ramo da geração de eletricidade.

Figura 1: Curva da variação de radiação solar direta ao longo de um período de 24h.



Fonte: energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias(Acessado em 07 de Julho)

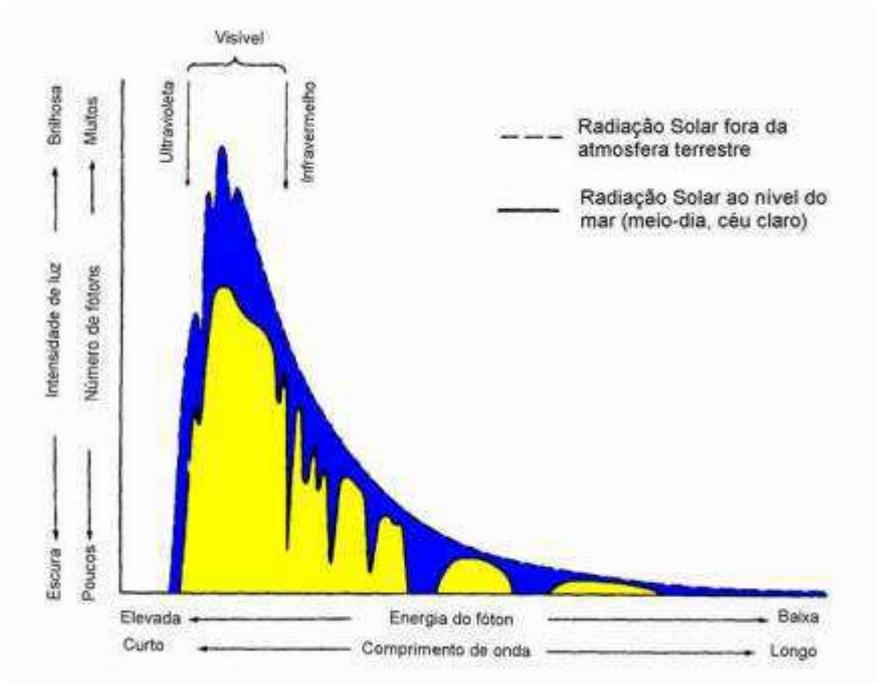
### 2.1.2 RADIAÇÃO SOLAR: CAPTAÇÃO E CONVERSÃO

Sabe-se que ao longo do ano, o planeta terra executa um movimento em torno do Sol, descrevendo uma trajetória elíptica ao plano que é inclinado com aproximadamente  $23,5^\circ$  em relação ao plano equatorial, fazendo com que essa inclinação seja responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte, causando assim a mudança de estações ao longo do ano.

A radiação solar que chega até a superfície terrestre é proveniente da região da fotosfera, uma camada tênue com aproximadamente 300 quilômetros de espessura e temperatura superficial na ordem de 5800 K. Estudos indicam que essa radiação não é constante, ou seja, não se tem uma regularidade de emissão ao longo do ano, pois as camadas externas do (Cromosfera e Coroa) influenciam na variação de temperatura e consequentemente na radiação.

Mesmo assim, com a variação da temperatura solar, é possível determinar um valor médio para o nível de radiação. Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) afirmam que o valor médio de incidência de radiação na superfície terrestre alcance cerca de  $1367 \text{ W/m}^2$ . Fórmulas matemáticas possibilitam o cálculo, a partir da constante solar de radiação ao longo do ano.

Figura 2: Curva de distribuição espectral da radiação solar.



Fonte: energiasrenovaveis.com/DetalheNoticias(Acessado em 07 de Julho)

## CAPÍTULO 3

### 3.1 ABORDAGEM HISTÓRICA

Quando menciona-se estado da arte, tem-se a definição de que se trata do mais alto nível de desenvolvimento, seja de uma técnica ou de uma aplicação em âmbito científico, pois o estado da arte retrata o estado do conhecimento e a sua constante evolução.

#### 3.2.1 TALES DE MILETO

Por volta do ano de 642 aC, na Grécia Antiga o filósofo Tales de Mileto, em uma atividade despreocupada esfregou uma resina fossilizada de pinheiro em um pedaço de pele de carneiro, após essa ação Tales notou que pedaços de madeira e palha tiveram atração pela resina fossilizada conhecida na época por âmbar. Após essa descoberta Tales de Mileto foi considerado o primeiro homem a fazer experiências com atração de corpos.

Com base no experimento de Tales, temos o surgimento da palavra Elektron, que no vocabulário da língua portuguesa é conhecido como elétron.

Figura 3: Pedaco de resina fossilizada de pinheiro, mais conhecida como Âmbar.



Fonte: Imagem cortesia de Steev,Selby; fonte da imagem:Wikimedia Commons

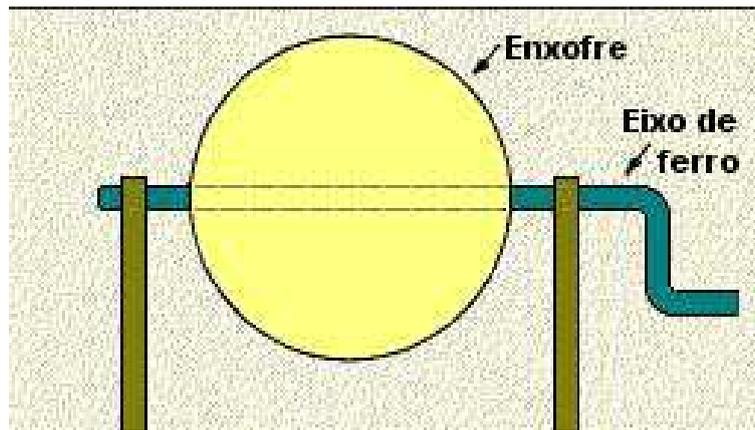
Tem-se então o surgimento de uma nova ciência, que em pouco tempo trouxe grande transformação da humanidade com o surgimento da Eletricidade.

### 3.2.2 OTTO Von GUERICKE (1672)

O físico e engenheiro Guericke, aguçado pela curiosidade sobre a experiência de atritos de Mileto, iniciou estudos sistemáticos sobre o tema e desenvolveu a primeira máquina geradora de cargas elétricas, a *Elektrisiermaschine*, na tradução para o português, máquina elétrica.

A máquina consistia em uma esfera sólida de enxôfre, montada sobre um eixo de ferro, encaixado em um suporte de madeira. O funcionamento se dava pela rotação da esfera com uma mão, e atritada pela outra. Dessa forma a esfera ficava eletrificada e Otto conseguia provar isso utilizando o método de perseguição de uma pena, que ora era atraída e ora era repelida pela esfera.

Figura 4: Esfera de enxofre. Experiência de Otto, máquina elétrica.



Fonte: *Electricity in the 17th and 18th centuries: a study of early Modern physics*

### 3.2.3 LUIGI GALVANI (1791)

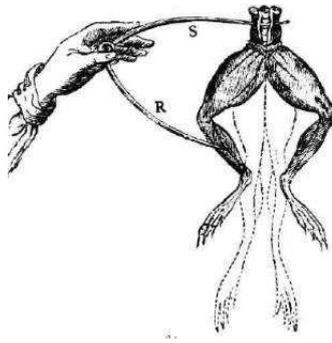
O médico, físico e filósofo italiano Luigi Galvani, observou em um de seus experimentos anatômicos, que ao dissecar a perna de uma rã e tocar com uma bisturi a mesma reagia com uma forte contração muscular, da mesma maneira ele observou que esse fenômeno acontecia quando a rã era colocada próxima a uma máquina elétrica em funcionamento. Galvani começou a enxergar a existência de uma descarga elétrica no aparelho toda as vezes em que havia aproximação do animal e assim começou a desenvolver seus estudos baseados no fenômeno da natureza.

Embasado pelas pesquisas de Benjamim Franklin, que enunciava que os raios eram fenômenos elétricos. Galvani resolveu realizar testes com as rãs dissecadas, pendurada por um latão, fixadas numa grade de ferro em seu jardim. Observou periodicamente e principalmente em dias de tempestades, pois ele acreditava que os efeitos de descarga atmosférica realizava as contrações musculares nas rãs.

No entanto, foi observado que as rãs possuíam o mesmo comportamento em dias normais, indo de encontro com a teoria da descarga elétrica gerada pelas tempestades, Luigi então resolve conectar a medula da rã ao músculo da perna, com a utilização de condutores metálicos. Trata-se então de um experimento semelhante ao da descarga da máquina eletrostática, mas que ocorria sem nenhuma fonte de eletricidade associada.

Sem conseguir desenvolver uma explicação fundamentada, pois os resultados eram semelhantes aos ensaios anteriores, Galvani conseguiu detectar apenas um aspecto que no momento parecia insignificante, mas que contribui muito pouco tempo depois. Ele percebeu que ao conectar a medula da rã ao músculo da perna por diferentes metais, o fenômeno produzido era mais forte.

Figura 5: Experimento de Galvani, utilizando a contração do músculo da rã com metais.



Fonte: [asterisko.blogspot.com/2007/05/onfrio.html](http://asterisko.blogspot.com/2007/05/onfrio.html) ( Acessado em 12 de Julho,2018)

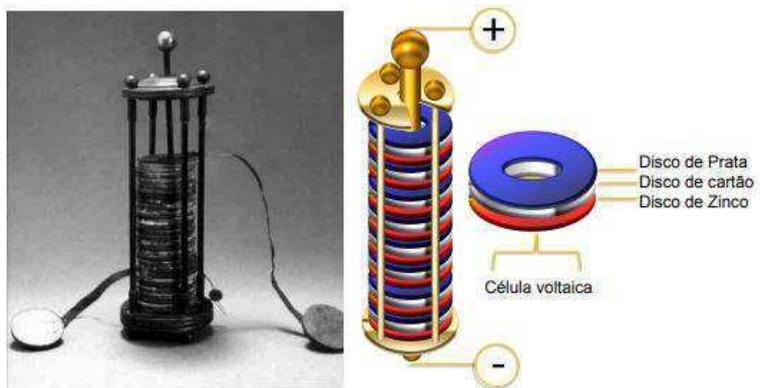
### 3.2.4 ALESSANDRO GIUSEPPE ANTONIO ANASTASIO VOLTA (1799)

Físico italiano, baseou-se pelos experimentos de Galvani, principalmente na utilização de dois metais diferentes no circuito que exercitava as contrações nos músculos da perna da rã. Volta então resolve fazer testes com condutores metálicos, colocando aos pares os elementos Zn e Au, e observou que cada metal ou substância condutora possui uma afinidade ou atração específica pela eletricidade. Enunciou-se que dois metais distintos, em contato mútuo, atraem formas diferentes a eletricidade neles contida. Em 1755, Volta desenvolve um aparelho capaz de produzir cargas elétricas, por um processo conhecido atualmente por indução eletrostática, esse aparelho foi batizado de eletróforo.

O eletróforo era composto por dois discos metálicos, e por uma garrafa de Leyden, e um dos discos era isolado por uma resina. O aparelho era capaz de detectar uma fraca tensão elétrica produzida por um par metálico, e com esses resultados, Volta conseguiu interpretar o fenômeno de que cada metal ou substância condutora possui afinidade ou atração específica pela eletricidade.

Em continuidade ao seus experimentos, Alessandro Volta decide produzir efeitos elétrico diretos e mais fortes, utilizando os pares metálicos distintos.

Figura6: Conjunto de discos metálicos distintos acoplados, primeira pilha.



Fonte: [http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/pilha/pilha\\_volta/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/pilha/pilha_volta/) (Acessado em 12 de Julho,2018)

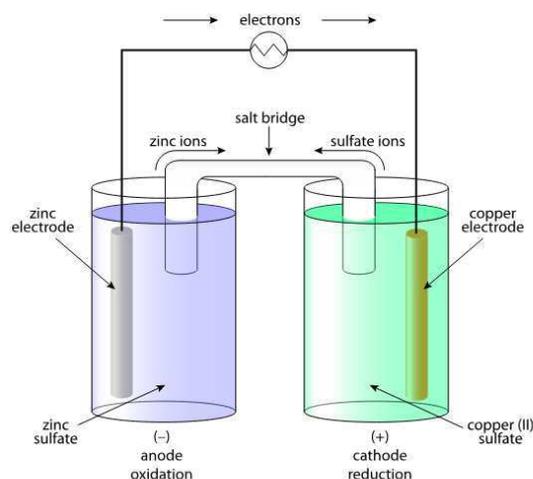
A partir do experimento acima, onde discos de Au e Zn ou em alguns casos foram ensaiados com discos de Zn e Cu, intercalados e separados por um papel molhado com água salgada, Volta consegue desenvolver o que foi chamado na época de primeira pilha.

Nos primeiros testes, fontes afirmam que a Pilha de Vola conseguia descargas fortes, capazes de serem sentidas como um choque, não se tem ao certo informações a respeito da grandeza de tensão e amperagem que a primeira Pilha conseguiu atingir, mas para o momento em que vivia a ciência,esse fenômeno foi revolucionário e tratado como o ponto de partida para o descobrimento e desenvolvimento de dispositivos capazes de gerarem eletricidade sem precisar do atrito entre elementos.

### 3.2.5 JOHN FREDIRC DANIELL (1836)

Em 1836, o químico e metereologista britânico John Frederic Daniell, em um de seus experimentos e em busca de uma fonte de corrente elétrica confiável e estável, Daniell utiliza dos preceitos básicos descobertos por Volta , utilizando os mesmos elementos químicos Zn e Cu, porém ao invés de serem colocados empilhados e separados por um papel de água salgada, os elementos eram dispostos em recipientes distintos e mergulhados a solução aquosa com seus respectivos composto e conectados por uma ponte salina.

Figura 7: Modelo da Pilha de Daniell



Fonte: [brasilecola.uol.com.br/quimica/pilha-daniell.htm](http://brasilecola.uol.com.br/quimica/pilha-daniell.htm) (Acessado 17 de Julho 2018)

As reações recorrentes da pilha de Daniell são:



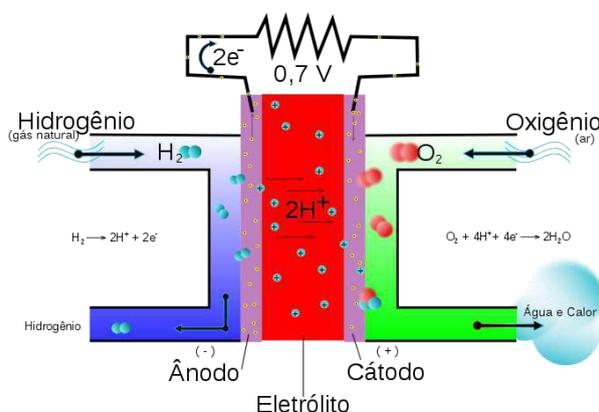
A reação acima mostra que o zinco metálico sofre oxidação, ou seja, há doação de dois elétrons para o cátion da solução e se transforma em  $\text{Zn}^{2+}$ . O processo inverso também pode ocorrer e o cátion zinco presente recebe dois elétrons doados pelo zinco e se transforma em zinco metálico, ocorrendo assim o processo de oxido-redução.

### 3.2.6 WILLIAN ROBERT GROVE (1843)

Advogado, juiz e físico britânico, antecipou a teoria da lei de conservação de energia e foi pioneiro no desenvolvimento de célula combustível. A primeira célula de combustível era formado por compostos eletroquímicos, transformando energia química em energia elétrica

Grove desenvolveu uma membrana eletrolítica polimérica (PEM) de célula de combustível, utilizando a mesma idéia da pilha de Daniell de colocar os elementos separados, o processo de transformação da célula pode ser observado na imagem a seguir.

Figura 8: Processo de transformação da célula de combustível



Fonte: : [brasilescola.uol.com.br/quimica/pilha-grove.htm](http://brasilescola.uol.com.br/quimica/pilha-grove.htm) (Acessado 17 de Julho 2018)

A reação acima mostra que em cada lado há um eletrodo de lâmina de carbono revestido com um catalisador de platina.

No lado esquerdo da reação, o hidrogênio flui para o catalisador onde são formados os prótons e elétrons. Utilizando a membrana como meio facilitador, os prótons são transportados para o cátodo e os elétrons são forçados a percorrer um circuito externo, liberando água e calor na sua reação.

### 3.2.7 GASTON PLANTÉ (1859)

Físico francês, inventor da Bateria chumbo-ácido, considerada a primeira bateria a ser recarregável e comercializada. Denominada na época como acumulador de Chumbo, a bateria chumbo-ácido, é uma associação em série de pilhas cuja a tensão de cada pilha é aproximadamente 2 volts. Diferente das Pilhas de Daniell e Volta, o conjunto de pilhas encontrado na bateria de Planté é composta por eletrodos: monóxido de chumbo esponjoso e dióxido de chumbo em pó, ambos em solução com ácido sulfúrico com densidade próxima de  $1,28\text{ g/mL}$ , conectados por uma malha de liga de chumbo-antimônio.

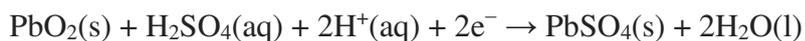
A importância da liga de chumbo, se dá pelo fato de resistência a corrosão, pois o elemento químico chumbo puro, é mais corrosivo do que a liga dopada de antimônio. Assim como os experimentos passados, a bateria é composta por um ânodo e um cátodo, determinando os polos da bateria.

As reações recorrentes são dadas nas equações a seguir:

**Reação na parte negativa:**



**Reação na parte positiva:**



**Reação Total:**

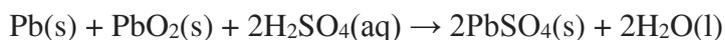
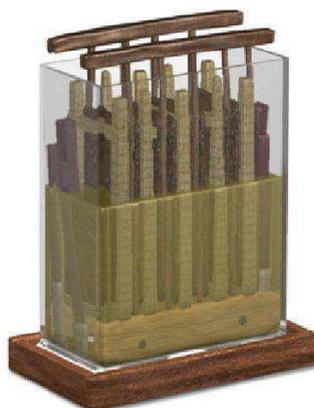


Figura 9: Bateria Chumbo-ácido.



Fonte: Manual de baterias Moura Clean

### 3.2.8 GEORGE LECLANCHÉ ( 1868)

Engenheiro francês, George desenvolveu uma pilha constituída por cloreto de amônio, suas placas negativas eram formadas por metais de Zinco, enquanto que as placas positivas eram compostas por carvão esmagado e dióxido de manganês.

A configuração dos elementos dispostos na bateria, eram similar a bateria de Planté, em busca do aperfeiçoamento George, investiu uma década seus estudos em busca de uma tecnologia que pudesse lhe permitir uma bateria eficiente e econômica, porém depois de muitos investimentos e resultados insatisfatórios, George decidiu encerrar sua pesquisa no desenvolvimento e otimização da bateria.

Figura 10: Modelo de bateria criada por George Leclanché



Fonte: [wikipedia.org/wiki/Pilha\\_de\\_Leclanché](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pilha_de_Leclanch%C3%A9)(Acessado 18 de Julho 2018)

### 3.2.9 CARL GASSNER (1887)

Alemão e Professor de Engenharia, Carl aperfeiçoou a pilha de Leclanché, e conseguindo produzir a primeira pilha seca comercializada, a famosa pilha Zinco-Carbono.

Na pilha de Carl, a solução eletrolítica é substituída por uma pasta úmida, trazendo tamanha contribuição para a evolução das pilhas e baterias, pois em pleno século XXI as pilhas secas existentes são derivadas das pilhas de Carl Gassner. No Brasil em 1954 foram instaladas as fábricas Eveready e Microlite, hoje mais conhecida como Ray-o-Vac, seus primeiros lotes de fabricação eram destinados apenas para aplicação de lanternas elétricas portáteis.

Figura 11: Modelo de Pilha Seca Comercializada produzida por Carl.



Fonte: [wikipedia.org/wiki/Pilha\\_de\\_Gassner](https://pt.wikipedia.org/wiki/Pilha_de_Gassner)(Acessado 18 de Julho 2018)

### 3.2.10 WALDEMAR JUNGNER (1899)

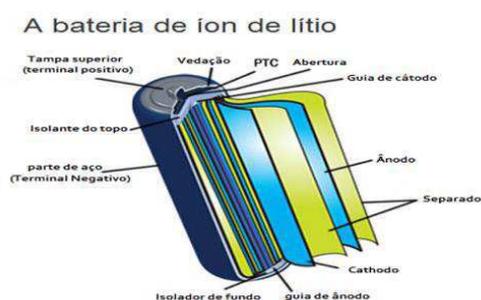
O sueco Waldemar Jungner, cria a primeira pilha composta por níquel cádmio, relacionando um meio alcalino (KOH) em eletrodos de níquel e cádmio, fazendo com que essa reação fosse um pouco mais rápida do que a encontrada na pilha de Carl e possibilitando uma recarga.

### 3.2.11 GILBERT NEWTON LEWIS (1920)

Químico e físico norte-americano, Gilbert realizou pesquisas com o metal lítio nos eletrodos das pilhas, conseguindo obter um excelente resultado, no que diz respeito ao processo de geração de energia e custo benefício.

Em 1970 as pilhas de Lewis começam a ganhar espaço no mercado com o surgimento dos aparelhos: Relógios, rádios, calculadoras e os primeiros componentes de computadores, entre outros dispositivos.

Figura 12: Bateria de Lítio



Fonte: [wikipedia.org/wiki/Pilha\\_de\\_Lewis](http://wikipedia.org/wiki/Pilha_de_Lewis) (Acessado 18 de Julho 2018)

## CAPÍTULO 4

### 4.1 ACUMULADORES DE ENERGIA SOLAR

A ciência e tecnologia estão cada dia mais focados no desenvolvimento de fontes de energia renováveis que tenham um impacto próximo de zero ao meio ambiente, vale salientar que nenhuma fonte de energia é totalmente limpa, pois todos os procedimentos ou fabricação dos equipamentos que serão utilizados na construção de uma fonte renovável termina gerando poluentes que agredem indiretamente o meio ambiente. Exemplo das placas fotovoltaicas utilizadas para captar a luz solar e transformar em energia elétrica, é uma fonte de energia “limpa” pelo fato do seu processo de atuação não gerar poluentes, se comparada com uma termoelétrica ou até mesmo uma hidroelétrica que atingem diretamente a fauna e a flora do ecossistema, porém no seu processo de fabricação as placas fotovoltaicas são produzidas em uma indústria que libera poluentes, ou utilizam materiais que ao serem descartados incorretamente contribuem para o aumento do índice de poluição.

É visando a diminuição do índices de poluentes e em busca da otimização e expansão da fonte de energia solar que os pesquisadores e as grandes indústrias investem em tecnologia para

armazenamento de energia solar. Não muito diferente dos acumuladores automotivos, originado da evolução da pilha, os acumuladores de energia solar vem ganhando espaço no mercado e destaque no cenário mundial, devido ao fato das ações de consciência ambiental constantemente e a escassez de fontes primárias de energia.

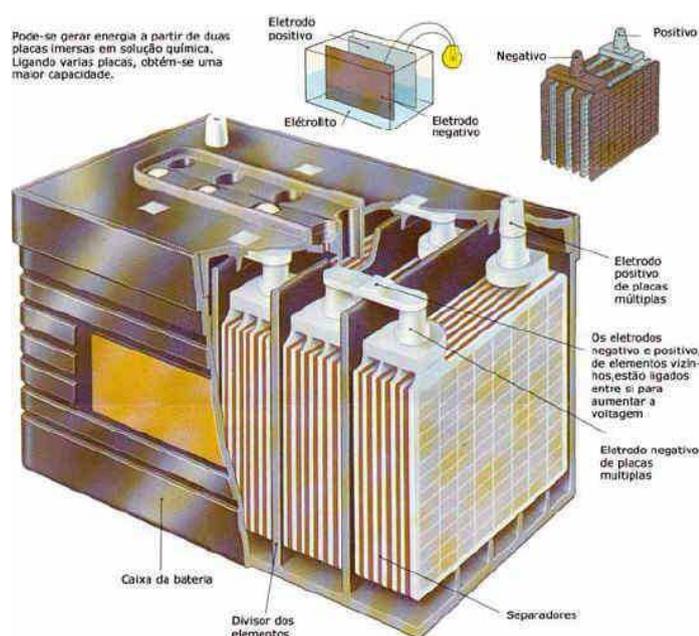
O armazenamento de energia solar, atualmente tem sido aplicado por grandes empresas e indústrias que buscam uma forma de diversificar suas fontes de energia, em busca da redução de gastos, eficiência energética e contribuição para o meio ambiente. No Brasil cerca de 17% das indústrias no ano de 2017 receberam incentivos fiscais por desenvolverem projetos voltados ao meio ambiente.

#### 4.1.1 ESTRUTURA FÍSICA DOS ACUMULADORES

Os acumuladores de energia solar, possuem uma característica própria e distinta dos acumuladores mais convencionais automotivos, porém seguem o mesmo princípio de armazenamento e geração de energia de Planté ,pois a reação química é a mesma, mudando apenas a sua estrutura física e disposição dos seus elementos.

Na bateria automotiva a disposição das placas positivas e negativas, estão organizadas em 6 elementos , contendo cerca de 5 a 6 placas negativas e positivas. Já os acumuladores de energia solar, possuem um número mais elevado de 10 a 12 placas por elemento.

Figura 13: Modelo de acumulador de energia solar.



Fonte: Manual Moura Clean 2009.

#### 4.1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento da bateria chumbo-ácido consiste de um número de elementos que estão interligados eletricamente em paralelo, contendo os eletrodos positivos e negativos imersos em uma solução aquosa de ácido sulfúrico, denominado eletrólito.

Os eletrodos são fabricados por estruturas de chumbo com a intenção de fornecer resistência mecânica e condutividade de corrente elétrica, levando em consideração também que as placas submersas concentram materiais ativos em sua composição.

A tabela a seguir exemplifica o comportamento do material ativo nas condições de carga e descarga do acumulador.

Figura 13: Condições de Carga e Descarga do material ativo.

CONDIÇÃO DE CARGA	MATERIAL ATIVO		
	Eletrodo Positivo	Eletrólito	Eletrodo Negativo
<b>Carregada</b>	Dióxido de Chumbo (PbO <sub>2</sub> )	Solução de Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Chumbo Esponjoso (Pb)
<b>Descarregada</b>	Sulfato de Chumbo (PbSO <sub>4</sub> )	Água (H <sub>2</sub> O)	Sulfato de Chumbo (PbSO <sub>4</sub> )

Fonte: Manual Moura Clean 2009.

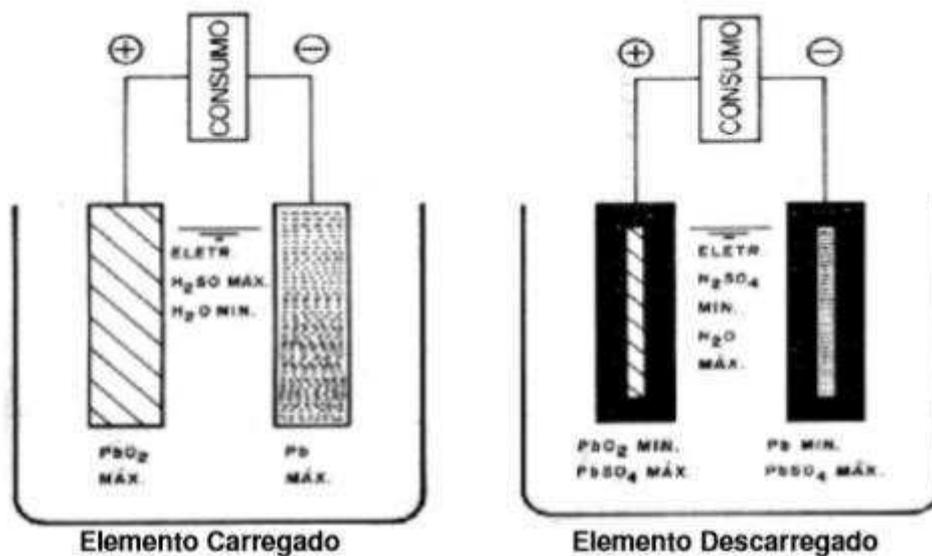
I) Reação de funcionamento:



Uma explicação básica dessa reação é possível perceber que o óxido de chumbo das placas positivas e o chumbo poroso das placas negativas reagem com o ácido sulfúrico, e a medida que a reação vai ocorrendo há formação de sulfato de chumbo e liberação de água.

No processo inverso, o material ativo positivo e negativo transformado em sulfato de chumbo, percorrem o caminho contrário e formando dióxido de chumbo e chumbo poroso. Durante o processo de carga e descarga ocorrem variações nos materiais ativos, que podem ser vistos no ilustrativo a baixo:

Figura 14 : Placas Positivas e Negativas em diferentes momentos de carga e descarga.



Fonte: Manual da Química. Steve Pronds, 5ªed.

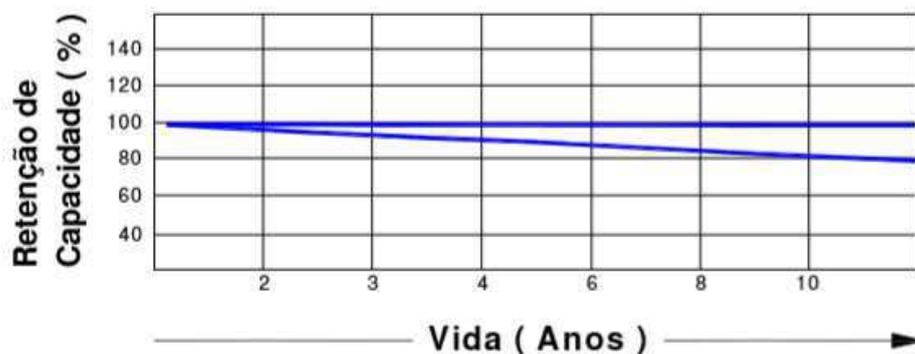
#### 4.1.3 CARACTERÍSTICAS DE VIDA ÚTIL

Todo e qualquer produto no setor de acumuladores é marcado pelo sua capacidade e eficiência, porém uma das características mais sublimes na escolha de um acumulador está relacionado ao seu tempo de vida útil.

Em condições normais de temperatura  $25^\circ C$  e dentro dos padrões de configuração de utilização, as baterias podem variar seu tempo de vida útil de acordo a aplicação do projeto.

De acordo com um fabricante nacional, o acumulador de energia solar utilizado no mercado possui o seguinte gráfico de acordo com um projeto de médio porte de retenção de capacidade.

Figura 15: Gráfico de vida útil x retenção de capacidade (%)



Fonte: Moura Clean, 2009.

Um dos fatores que também afetam a vida útil da bateria é a temperatura, dessa maneira os fabricantes optam por utilizar projetos de circuitos que realizam a correção de tensão de flutuação pela temperatura.

Figura 15 : Expectativa de vida em relação a temperatura de operação.

Temperatura (°C)	Expectativa de Vida (Anos)	
	Sem Compensação	Com Compensação
25	>10	-
30	7	8,0
35	5	6,0
40	3,5	4,0
45	2,5	3,0
50	>1	<1,0

Fonte: Moura Clean, 2009.

#### 4.1.4 DIMENSIONAMENTO PARA ENERGIA FOTOVOLTÁICA

Partindo do princípio que um banco de acumuladores de placas fotovoltaicas possuem painéis solares com uma carga alimentada de 1,5 A e autonomia de 100 horas de operação e um sistema de tensão nominal de 24V. Sabe-se que a bateria possui tensão nominal de 12,25V confirmado pelo fabricante e possui um fator de envelhecimento de 1,25 ao banco de baterias, levando em consideração a quantidade de ciclos que a bateria irá fazer. Ciclos são os momentos de carga e descarga que a bateria sofre ao longo de um determinado período.

Figura 16: Número de ciclos por profundidade de descarga



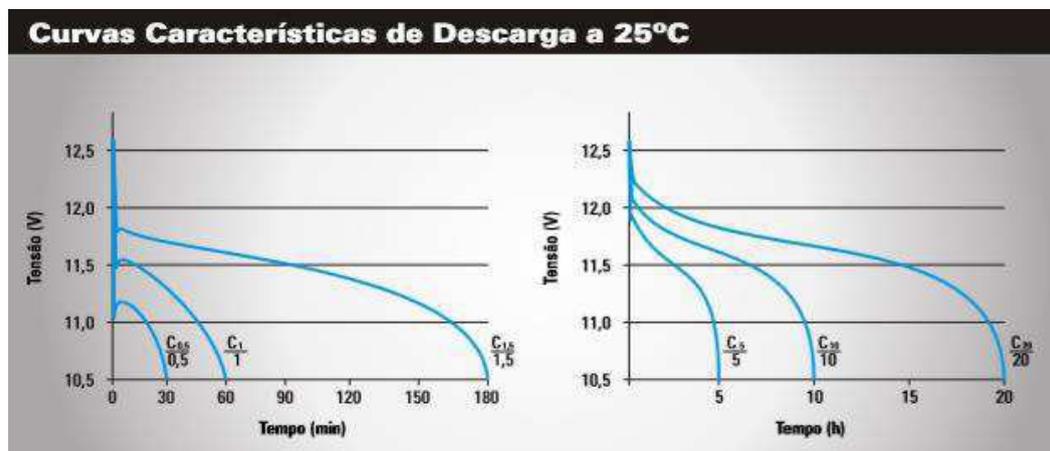
Fonte: Moura Clean, 2009.

No cálculo levam-se em consideração que a tensão nominal do sistema é de 24V e que cada bateria tem tensão nominal de 12V.

A corrente aplicada é de  $1,5A \times 1,25$  (fator de envelhecimento) = 1,875A

Tabela 1 em anexo.

Figura 17: Curvas Características de Descarga



Fonte: Moura Clean, 2009.

#### 4.1.5 PROJETOS FUTUROS

Em busca da aprimoração e maior durabilidade as indústrias fabricantes de acumuladores de energia solar, estão cada vez mais investindo em P&D, com colaboração de instituições e patrocinadores o objetivo é projetar baterias com maior eficiência e vida útil possível, com diminuição de peso e tamanho, tornando o custo do projeto mais vantajoso.

O Brasil atingiu a marca histórica de 252MW de potência instalada em sistemas de microgeração e minigeração. São mais de 27 milhões de sistemas de energia fotovoltaicos on-grid. Além da conscientização ambiental este número proporciona economia de R\$ 1,9 bilhão de investimentos acumulados desde 2012.

## 5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 5.1 TIPO DA PESQUISA

A natureza da pesquisa foi aplicada, com o propósito de gerar conhecimento de efeito prático, orientada para aplicações em problemas específicas. Quanto a forma de abordagem foi sobre um estudo de caso. Fonseca (2002) afirma que, um estudo de caso é a interpretação pragmática ou interpretativa, onde apresenta uma perspectiva

global de forma mais completa e coerente possível, e assim averiguar o porquê de uma situação específica para diversos aspectos correlacionados (FONSECA, 2002).

O estudo de caso descrito no trabalho é o estado da arte de acumuladores de energia solar, voltado para o conhecimento da evolução da pilha, surgimento de baterias e as aplicações dos atuais acumuladores no que diz respeito ao armazenamento de energia provinda de recursos renováveis.

## 6 ANÁLISE E DISCURSÃO

Com o estudo realizado é possível perceber que desde meados do século 17 o homem vem desenvolvendo pesquisas e experimentos a respeito da geração de energia, e com o passar dos anos a aprimoração da geração de energia elétrica e o surgimento dos acumuladores de chumbo-ácido foram tomando conta do mercado.

Uma análise histórica e evolutiva do surgimento da pilha, formação de baterias e origem dos acumuladores permite-se o entendimento de como foi o processo gradativo e o caminho percorrido evidenciados no Capítulo 3 do estudo.

Por fim o surgimento de acumuladores no cenário de fontes de energia solar, proposto no Capítulo 4, evidenciando a sua composição, funcionalidade e aplicabilidade, bem como ressaltando a importância do desenvolvimento dessa fonte de energia para o meio ambiente.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo abordar o estado da arte de acumuladores, levando em consideração o foco dos dias atuais com relação a fontes renováveis de energia, e a não degradação do meio ambiente. Abordando no primeiro momento um estudo de comportamento da energia solar, com relação ao comportamento do sol ao longo de diferentes períodos do ano.

Ressalta-se a evolução histórica dos acumuladores desde o surgimento da primeira pilha envolvendo ensaios e teste com os mais diversos procedimentos, em busca da otimização e geração de energia, físicos e filósofos são lembrados até os dias de hoje pela grande contribuição nas pesquisas relacionadas armazenamento e geração de energia.

Conclui-se que o armazenamento de energia, está cada vez mais em alta no cenário das energias renováveis, contribuindo para a redução dos impactos ambientais. Sugere-se uma evolução contínua nesse estudo para que os próximos acumuladores possuam elevados ciclos de carga e descarga, melhorando a sua eficiência e vida útil.

## ANEXO 1- Tabela Efeito da Temperatura na Capacidade

T (C°)	1 hora		3 horas		5 horas		10 horas	
	95%	100%	95%	100%	95%	100%	95%	100%
5	00:45:38	00:48:00	02:30	02:38	04:10	04:24	08:21	08:48
6	00:45:56	00:48:36	02:31	02:39	04:12	04:25	08:25	08:51
7	00:46:40	00:49:12	02:32	02:40	04:14	04:27	08:28	08:55
8	00:47:01	00:49:48	02:33	02:41	04:15	04:29	08:31	08:58
9	00:47:44	00:50:24	02:34	02:42	04:17	04:31	08:35	09:02
10	00:48:27	00:51:00	02:35	02:43	04:19	04:33	08:38	09:06
11	00:48:47	00:51:36	02:36	02:44	04:21	04:34	08:42	09:09
12	00:49:31	00:52:12	02:37	02:45	04:22	04:36	08:45	09:13
13	00:49:51	00:52:48	02:38	02:47	04:24	04:38	08:48	09:16
14	00:50:35	00:53:24	02:39	02:48	04:26	04:40	08:52	09:20
15	00:51:18	00:54:00	02:40	02:49	04:27	04:42	08:55	09:24
16	00:51:38	00:54:36	02:41	02:50	04:29	04:43	08:59	09:27
17	00:52:22	00:55:12	02:42	02:51	04:31	04:45	09:02	09:31
18	00:52:42	00:55:48	02:43	02:52	04:33	04:47	09:06	09:34
19	00:53:26	00:56:24	02:44	02:53	04:34	04:49	09:09	09:38
20	00:54:09	00:57:00	02:45	02:54	04:36	04:51	09:12	09:42
21	00:54:29	00:57:36	02:46	02:55	04:38	04:52	09:16	09:45
22	00:55:13	00:58:12	02:47	02:56	04:39	04:54	09:19	09:49
23	00:55:33	00:58:48	02:48	02:57	04:41	04:56	09:23	09:52
24	00:56:17	00:59:24	02:49	02:58	04:43	04:58	09:26	09:56
25	00:57:00	01:00:00	02:51	03:00	04:45	05:00	09:30	10:00
26	00:57:34	01:00:36	02:52	03:01	04:46	05:01	09:33	10:03
27	00:58:04	01:01:12	02:53	03:02	04:48	05:03	09:36	10:07
28	00:58:24	01:01:48	02:54	03:03	04:50	05:05	09:40	10:10
29	00:59:08	01:02:24	02:55	03:04	04:51	05:07	09:43	10:14
30	00:59:51	01:03:00	02:56	03:05	04:53	05:09	09:47	10:18
31	01:00:11	01:03:36	02:57	03:06	04:55	05:10	09:50	10:21
32	01:00:55	01:04:12	02:58	03:07	04:56	05:12	09:53	10:25
33	01:01:15	01:04:48	02:59	03:08	04:58	05:14	09:57	10:28
34	01:01:58	01:05:24	03:00	03:09	05:00	05:16	10:00	10:32
35	01:02:42	01:06:00	03:01	03:10	05:02	05:18	10:04	10:36
36	01:03:02	01:06:36	03:02	03:11	05:03	05:19	10:07	10:39
37	01:03:46	01:07:12	03:03	03:12	05:05	05:21	10:11	10:43
38	01:04:06	01:07:48	03:04	03:14	05:07	05:23	10:14	10:46
39	01:04:50	01:08:24	03:05	03:15	05:08	05:25	10:17	10:50
40	01:05:33	01:09:00	03:06	03:16	05:10	05:27	10:21	10:54

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRESESB. Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica - Princípios e Aplicações. Centro Pesquisa de Energia Elétrica. Brasília, p. 28. 2012.

PLORENZO M. – O lado positivo da pilha

<<https://marianaplorenzo.com/2010/10/10/o-lado-positivo-da-pilha-%E2%80%93-parte-i-historico-e-situacao-atual/>>  
Acesso em : 12 Junho 2018

FONSECA, J. J. S. Metodologia da pesquisa científica. Universidade Estadual do Ceara. Fortaleza, p. 33. 2002.

PROF200 – Historia das pilas

<<https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/historia-das-pilhas>>  
Acesso em : 19 de Julho

Figura 6: Conjunto de discos metálicos distintos acoplados, primeira pilha.  
Rev. Virtual Quim. |Vol 9| |No. 3| |889-911

Manual Moura Clean. Technology

< [https://moura-portal.s3.amazonaws.com/uploads/2017/07/MANUAL\\_CLEAN\\_NANO\\_V13\\_06\\_DEZ\\_16.pdf](https://moura-portal.s3.amazonaws.com/uploads/2017/07/MANUAL_CLEAN_NANO_V13_06_DEZ_16.pdf)>  
Acesso em: 28 de Julho

Manual Moura Baterias Estacionárias

<[https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/moura\\_baterias\\_estacionarioas\\_clean\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/moura_baterias_estacionarioas_clean_pt.pdf)>

