



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA  
LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**MUTUMBUA JOSÉ FERRÃO MANUEL**

**ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA PARA AS  
REDES ELÉTRICAS EM ANGOLA: UMA ANÁLISE DA SITUAÇÃO NO  
PAÍS E UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL**

**REDENÇÃO**

**2023**

MUTUMBUA JOSÉ FERRÃO MANUEL

ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA PARA AS REDES  
ELÉTRICAS EM ANGOLA: UMA ANÁLISE DA SITUAÇÃO NO PAÍS E UMA  
PROPOSTA EXPERIMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação da Graduação do Curso de Licenciatura em Física, da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial para a obtenção do Título de Licenciado.

Orientadora: Profa. Dra. Mylene Ribeiro Moura Miranda.

Coorientadora: Profa. Dra. Cinthia Marques Magalhães Paschoal .

REDENÇÃO  
2023

MUTUMBUA JOSÉ FERRÃO MANUEL

ENERGIA FOTOVOLTAICA COMO FONTE ALTERNATIVA PARA AS REDES  
ELÉTRICAS EM ANGOLA: UMA ANÁLISE DA SITUAÇÃO NO PAÍS E UMA  
PROPOSTA EXPERIMENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Coordenação da Graduação do Curso de  
Licenciatura em Física, da Universidade da  
Integração Internacional da Lusofonia Afro-  
Brasileira, como requisito parcial para a ob-  
tenção do Título de Licenciado.

Aprovada em 28/06/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Mylene Ribeiro Moura Miranda  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia  
Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. Aristeu Rosendo Pontes Lima  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia  
Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. João Philipe Macedo Braga  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia  
Afro-Brasileira (UNILAB)

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira**  
**Sistema de Bibliotecas da UNILAB**  
**Catálogo de Publicação na Fonte.**

---

Manuel, Mutumbua José Ferrão

A000p

Energia fotovoltaica como fonte alternativa para as redes elétricas em Angola: uma análise da situação no país e uma proposta experimental / Mutumbua José Ferrão Manuel. – Redenção, 2023.

46f :il.

Trabalho (conclusão de curso) - Curso de Licenciatura em Física - 2023.1, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2023.

Orientadora: Profa. Dra. Mylene Ribeiro Moura Miranda.

Coorientadora: Profa. Dra. Cinthia Marques Magalhães Paschoal .

1. Interdisciplinaridade. 2. Experimento. 3. Absorção da Luz. 4. Emissão da Luz. 5. Fluorescência. I. Título.

CE/UF/????

CDD:000.0

---

*A Deus todo  
poderoso. Aos meus  
Pais e irmãos,  
familiares, que me  
deram muita força  
durante esta  
caminhada. E, ao  
irmão que morreu  
em 2019. Obrigado  
pela força enquanto  
estiveste em vida.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus (Mt 7:7), aos meus pais, Guilhermina José Ferrão e José Mateus Manuel, aos meus irmãos Mateus Ferrão Manuel, Domingas Ferrão Manuel, António José Ferrão Manuel e Edeusio José Ferrão Manuel, ao primo irmão Henio Ferrão Rafael.

Aos amigos(as) Klisman Candido Figueira, Victor kibutamena, Alexandre Totela, António Monteiro, Silas Pires, André Fonseca, Januário Dala, Santos De Oliveira Manuel, António de Oliveira Manuel, Brena, Dona Maura, Kongo Lubaki, Messias Eduardo, Eng. Simão Fernandes, Lucilaneide L. Barbosa, Eng. António Cosmo, Marlene Weza, Avelino Cassule, Alfredo Gaspar, Geofísico Carlos Dias, Eng. Lourenço Gomes, Eng. Vicente M. Kimbamba, Economista Luís Clemente.

Às minhas professoras orientadoras Profa. Dra Cinthia M. M. Paschoal e Profa. Dra. Mylene R. M. Miranda, o meu muito obrigado pela paciência e aceitar me orientar, que Deus vós abençoe sempre. Aos Professores (a) do ICEN do curso de Física, Aristeu Lima, João Philipe M. Braga, Silvia H. R. De Sena, Aurélio W.T. De Noronha, Levi R. Leite e Michel L. Granjeiro.

Aos irmãos que a UNILAB me deu, Faria Cusseta Samuel Francisco, Hamilton F. Catraio Nhime. Ao Gapar Luis, por ter me acolhido na minha vinda em 2018, e residemos durante 3 anos juntos tornou irmão mais velho para mim e tudo de bom para ele. Aos colegas Angolanos e Guineses e Brasileiros da Unilab, especial ao amigo Doutorando Midana Baial Sambú. Besna, Mauro Jorge, Domingos Fernandes, Átila, Luana, Tayane, Alexandra Alves, Luis Davi, Sermos Domingos, Floriano, Mateus Mussunda. Aos grupos de pesquisa Física Médica, Gases quânticos dipolares, Gedife e ao núcleo de explicação N.E.E.A.(Angola). A Profa. Dra. Mara R. D. De Oliveira meu muito obrigado. Aos meus amigos de Infância e a minha entrada de ingresso a UNILAB 2018.1. A UNILAB.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo abordar sobre energia fotovoltaica, uma possível fonte alternativa de energia para Angola. Para isso, falaremos sobre o país Angola, suas características gerais e seu perfil energético, incluindo suas limitações. Abordaremos sobre a energia fotovoltaica e citaremos o potencial do seu uso na cidade de Viana, assim como trataremos a instalação de Biopio como um modelo a ser seguido. Apesar de alguns lugares do país já estarem utilizando os painéis solares para a eletrificação, ainda há a necessidade de se investir em energia solar de forma a atender o setor industrial e o consumo doméstico para todo território nacional, uma vez que, impressionantemente, nossa pesquisa verificou que 40 % da população em Angola não tem acesso a energia elétrica. Um dos benefícios da energia solar ao meio ambiente é a redução de combustíveis fósseis, o que é um dos objetivos do governo angolano. Vale destacar que em Angola existe uma grande incidência de raios solares, logo a implementação de energia solar como forma de energia alternativa é bastante favorável. Por fim, trataremos uma proposta experimental, que envolve o uso de LEDs como célula fotovoltaica, a fim de exemplificar a obtenção de energia elétrica através da luz solar, sendo este circuito um equipamento de mediação didática nas escolas ao tratar de energia fotovoltaica.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. Angola. Experimentação.

## ABSTRACT

The present work aims to approach about photovoltaic energy, a possible alternative source of energy for Angola. For this, we will talk about the country Angola, its general characteristics and its energy profile, including its limitations. We will discuss photovoltaic energy and cite the potential of its use in the city of Viana, as well as we will show the Biopio fotovoltaic instalation as a modelo to follow. Although in some parts of the country solar panels are already being used for electrification, there is still a need to invest in solar energy in order to serve the industrial sector and domestic consumption throughout the country, once our study verified that, impressive 40 % of Angola's people do not have access to electric energy. One of the benefits from solar energy to the environment is the reduction of fossil fuels, which is one of the government's goals. It is important to mention that in Angola there is a high incidence of sunlight, so the implementation of solar energy as an alternative form of energy is quite favorable. Finally, we bring an experimental proposal, which involves the use of LEDs as a photovoltaic cell, in order to exemplify obtaining electric energy through sunlight, which might be helpfull to mediate the teaching process in schools when approaching the sunlight energy.

**Keywords:** Photovoltaic energy. Angola. Experimentation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Materiais para o Experimento.	13
Figura 2 – Circuito montado na placa <i>board</i> .	14
Figura 3 – Mapa de Angola.	16
Figura 4 – Painéis Solares do município de Kilamba Kiaxi.	18
Figura 5 – Mapa de Viana e fronteiras.	22
Figura 6 – Viana-Comuna de Calumbo (Zango).	23
Figura 7 – Consumo mundial de energia entre 1990 e 2040.	24
Figura 8 – A quantidade máxima de energia e o histórico da quantidade de energia de corte planeada (Sistemas Norte).	25
Figura 9 – Usina fotovoltaico em Biopio, município da Catumbela, a norte da província de Benguela.	26
Figura 10 – Componente de um sistema fotovoltaico autônomo.	29
Figura 11 – Sistema conectado à rede.	29
Figura 12 – Estrutura atômica de materiais de silício: monocristalino, policristalino e amorfo	30
Figura 13 – Bandas de condução e valência de um isolante, um semicondutor e um condutor.	32
Figura 14 – (a) Representação bidimensional de um cristal de Silício. (b) Quando um átomo de fósforo é adicionado a rede ele disponibiliza um elétron, que fica livre para se mover pelo cristal (semicondutor tipo N). (c) Se for adicionado um átomo de Gálio, haverá a falta de um elétron (buraco). Como um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este buraco, o efeito final é o de uma carga positiva se movendo pelo cristal (semicondutor tipo P).	33
Figura 15 – Estrutura atômica do (a) silício, (b) germânio e (c) gálio e arsênio.	34
Figura 16 – Ligação covalente do átomo de silício.	34
Figura 17 – Estrutura da célula fotovoltaica no momento da captação de energia.	37
Figura 18 – Detalhes internos da estrutura do LED.	39
Figura 19 – Uma fotocélula semicondutora em um circuito. Quanto mais intensa- mente a luz incide sobre a fotocélula, maior a condutividade da fotocélula e maior a corrente medida pelo amperímetro (A).	40
Figura 20 – Funcionamento do experimento.	41

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	12
<b>2.1</b>	<b>A pesquisa bibliográfica</b>	12
<b>2.2</b>	<b>O experimento</b>	12
<b>3</b>	<b>ANGOLA E SUAS CARACTERÍSTICAS</b>	16
<b>3.1</b>	<b>Angola e suas características geográficas</b>	16
<b>3.2</b>	<b>Angola: perfil energético e limitações</b>	17
<b>3.3</b>	<b>Perspectivas sobre o uso da energia fotovoltaica em Angola</b>	20
<b>3.4</b>	<b>Energia fotovoltaica e a sustentabilidade: o potencial de Viana e o exemplo da cidade de Catumbela</b>	21
<b>4</b>	<b>A ENERGIA FOTOVOLTAICA</b>	27
<b>4.1</b>	<b>Um breve histórico sobre os materiais semicondutores</b>	30
<b>4.2</b>	<b>O efeito fotovoltaico</b>	35
<b>5</b>	<b>UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL</b>	38
<b>5.1</b>	<b>O LED como célula fotovoltaica</b>	38
<b>5.2</b>	<b>Montagem e Procedimento do experimento</b>	40
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	42
	<b>REFERÊNCIAS</b>	44

## 1 INTRODUÇÃO

Na época contemporânea com o avanço das tecnologias e o desenvolvimento da ciência, a utilização da energia elétrica é muito importante para o cotidiano, sendo que atualmente há necessidade de investir no setor da energia.

À vista disso, o presente trabalho tem por objetivo mostrar como é utilizada a energia fotovoltaica em Angola como fonte alternativa de redes elétricas com foco na importância de investimentos na energia fotovoltaica para o país no cobrimento da necessidade de grandes dificuldades na produção de eletricidade. Vale ressaltar que o país tem um grande potencial em energia renováveis para redes elétricas, para melhorar o consumo de energia elétrica da população.

Para o embasamento teórico deste trabalho, na metodologia se utilizou de revisão bibliográfica sobre as questões energéticas, com consulta a teses, dissertações e artigos científicos em portais e jornais de periódicos nacional e internacional, sobre as questões energéticas renováveis em Angola. Além disso, houve a montagem de um experimento de baixo custo com LEDs e capacitor que funciona como placa solar.

Como estudante de Licenciatura em Física na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) e em face ao cenário atual dos municípios de Luanda que ainda carecem de energia elétrica por falta na ampliação das fontes de energia elétrica, e também pela queima de cabos elétricos na via de transporte de energia elétrica, contadores, entre outros, me motivei a pesquisar e estudar este assunto em meu trabalho de conclusão de curso.

Ciente do cenário apresentado no parágrafo acima, o Ministério da Energia e Água não tem medido esforços para o melhoramento da energia elétrica em Luanda através do domínio do programa energia para todos, principalmente nas zonas de difíceis acessos.

O presente trabalho traz ainda um experimento didático que mostra diodos emissores de luz (LED) como micro geradores de energia elétrica, utilizando estes dispositivos como uma células fotovoltaicas, criando uma placa solar que exemplifica a obtenção de energia elétrica através da luz solar. Os fótons de uma lâmpada que simula as radiações do sol incidem nos LEDs montados na placa *board*, ligados no circuito em paralelo com um capacitor que serve para armazenar cargas elétricas, que é a energia necessária para fazer funcionar uma calculadora científica que funciona com 1,5 V.

Este trabalho está dividido em cinco capítulos onde o primeiro é esta introdução; o segundo capítulo aborda o panorama geral sobre Angola; o terceiro capítulo

fala sobre a energia fotovoltaica; o quarto capítulo apresenta uma proposta experimental que é uma parte muito interessante do trabalho; e o quinto capítulo são as considerações finais, no qual apresento, resumidamente, tudo que se fez durante a escrita do trabalho desde a introdução, objetivo do trabalho até o experimento apresentado.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 A pesquisa bibliográfica

Para o embasamento teórico deste trabalho, na metodologia se utilizou de revisão bibliográfica sobre as questões energéticas gerais e renováveis em Angola, com consulta a teses, dissertações e artigos científicos em portais e jornais de periódicos nacional e internacional. Primeiro, a pesquisa buscou descrever as características de Angola que impactam no uso da energia fotovoltaica. Assim, iniciamos descrevendo as características geográficas do país. Depois disto, procurou-se entender o perfil energético e as limitações da produção de energia elétrica. Neste momento, houve o cuidado de catalogarmos dados recentes para refletir melhor a situação atual de Angola. Também foi realizada uma pesquisa sobre a perspectiva sobre o uso de energia fotovoltaica, onde percebeu-se um grande esforço e investimento do governo não apenas na melhoria, mas também na transição para fontes de energias renováveis. Finalizamos nossa pesquisa sobre Angola, apontando a cidade de Viana como um local de grande potencial energético devido a incidência solar e trazendo a impressionante instalação de uma usina fotovoltaica em Biopio, na cidade de Catumbela, como modelo a ser seguido.

Após esta pesquisa direcionada a Angola, partimos para um estudo do funcionamento básico do circuito da energia fotovoltaica e da física que explica este fenômeno. Assim, pesquisei sobre os princípios fundamentais da Física que tratam da energia dos fótons, sobre como a conversão ocorre dentro de materiais semicondutores, seguido por um histórico a respeito do desenvolvimento destes materiais e suas estruturas atômicas e também do efeito fotovoltaico em si.

O objetivo geral do trabalho é apresentar um panorama geral dos problemas energéticos que Angola apresenta e apontar como uma possível solução a aplicação da energia renovável fotovoltaica, tendo como base o alto potencial energético de algumas regiões no país. Como objetivo específico, apresentamos um experimento de baixo custo que usa diodos emissores de luz (LED), como micro geradores de energia elétrica, produzindo uma placa solar ou célula fotovoltaica, que detalharemos a seguir.

### 2.2 O experimento

Além da pesquisa bibliográfica, houve a montagem de um experimento de baixo custo utilizando dispositivos simples e baratos como LEDs e capacitor que, após associados, fazem o circuito funcionar como uma placa solar. A principal ideia desta

proposta foi exemplificar a obtenção de energia elétrica através da luz solar.

Para o experimento utilizei os seguintes materiais:

- Uma placa *board*;
- Três LEDs vermelhos de encapsulamentos transparentes;
- Calculadora (KK-402.ELETRONIC CALCULATOR), que suporta uma bateria tipo AA de 1,5 V;
- Lâmpada Halógena, (70 W, 220 V);
- Um capacitor (250 V, 85°C, 10  $\mu$ F).
- Luminária de mesa clássica (127-220 V);
- Multímetro Digital (DT-830 D).

A Figura 1 mostra estes materiais.

Figura 1 – Materiais para o Experimento.

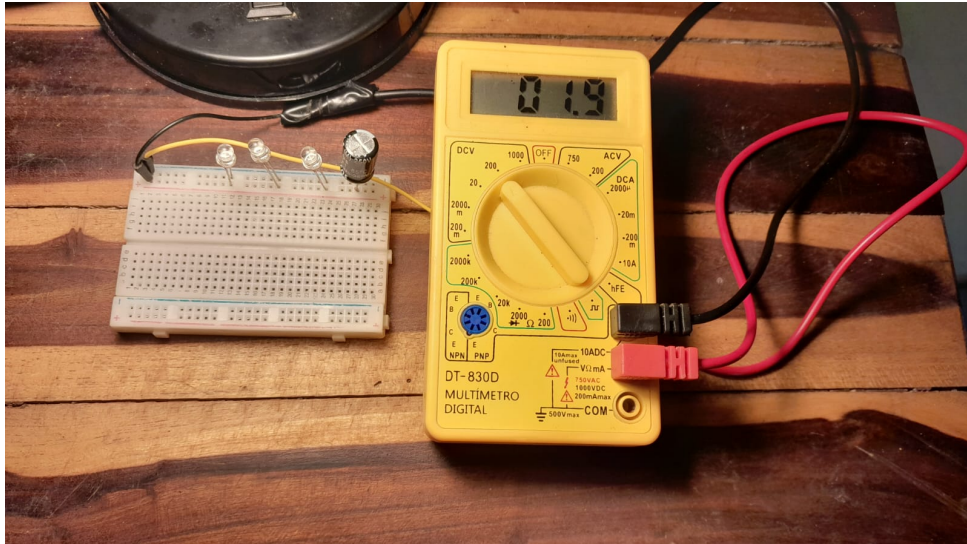


Fonte: Acervo do autor (2023).

O multímetro, que é uma ferramenta profissional que realiza a medição e a avaliação de diferentes grandezas elétricas, serviu neste experimento para testar os dispositivos eletrônicos (o capacitor e os LEDs) além de medir a tensão obtida com nossa

célula fotovoltaica caseira. Os dispositivos são ligados no circuito em associação paralela na placa *board*, gerando uma corrente contínua que passa no circuito e gerando uma diferença de potencial que pode ser medida pelo voltímetro, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Circuito montado na placa *board*.



Fonte: Acervo do autor (2023).

O público alvo do trabalho com este experimento sobre o efeito fotovoltaico como gerador de energia elétrica é a população Angolana (Luanda), nomeadamente o município de Viana baseando em painéis solares ou energias fotovoltaicas na implementação dos mesmo painéis solares para suprir a demanda na distribuição elétricas nas zonas de difíceis acessos ou seja rurais e periurbanas, e por outras as escolas do Ensino politécnicas ou profissionais podem observar que os LEDs funcionam como painéis solares, que pode se transformar em energia limpa e renováveis.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), é um documento de caráter normativo que define o conjunto organico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidade da educação básica, fundamental e ensino médio, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento (BNCC, 2023).

Segundo BNCC (2023), a habilidade EF08CI01 consiste em identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades. Esta habilidade sendo direcionada aos alunos de ensino medio, possibilitando que o professor realize experimentos que ajudem no entendimento de assuntos da fisica de semicondutores.

O experimento não se restringe apenas a estudantes da educação básica. O professor pode usá-lo em sequência sobre transformações de energia. Ou seja, o professor

pode realizar oficinas com os estudantes de graduação onde a física de semicondutores pode ficar mais atrativa com experimento que surpreende nosso senso comum.

Mais detalhes da montagem e funcionamento são apresentados no capítulo 5.



### 3 ANGOLA E SUAS CARACTERÍSTICAS

#### 3.1 Angola e suas características geográficas

Angola está localizada no sudoeste da África, na região do Atlântico Sul. O país apresenta uma extensão territorial de 1.246.700 km<sup>2</sup>, que é equivalente ao estado brasileiro do Pará, e faz fronteira com a Namíbia, Botsuana, Zâmbia e a República Democrática do Congo (ANGOLA, 2014). A Figura 3 mostra o mapa político de Angola.

Figura 3 – Mapa de Angola.



Fonte: Mapas do Mundo (ANGOLA, 2014)

Aproximadamente 65% do território está situado a uma altitude entre 1000 e

1600 metros. A moeda oficial é o Kwanza (Kz). “A Língua Oficial é o Português, existindo ainda diversas línguas nacionais como o Kikongo, Kimbundo, Tchokwe, Umbundo, Mbunda, Kwanyama, Nhaneca, Fiote e Nganguela.” (REPUBLICA, 2020).

O Clima em Angola tem duas estações: a das chuvas, período mais quente que ocorre entre os meses de setembro a maio, e a do cacimbo. A estação do cacimbo ou seca é menos quente e vai de maio a setembro. O país possui uma situação geográfica peculiar por estar na zona intertropical e subtropical do hemisfério sul, registando temperaturas médias de 27 °C de máxima e 17 °C de mínima. O principal rio de Angola é o Kwanza, que dá o nome a moeda nacional com 1000 km de longitude, mas apenas 240 km são navegáveis. Em seguida, o Cubango com 975 km, o Cunene com 800 km e, finalmente, na lista dos quatro principais rios, o Zaire com 150 km de longitude, sendo todo ele navegável. (DUMBA, 2015).

Atualmente, uma transição energética de energias não renováveis para o uso de recursos renováveis tem sido ressaltada e avaliada considerando a inclusão de energia fotovoltaica nos setores energéticos de Angola.

### 3.2 Angola: perfil energético e limitações

É imprescindível que a produção de energia elétrica em Luanda passe por um desenvolvimento dentro do contexto das tecnologias de implementação de energias renováveis devido a limitação da energia hidroelétrica em algumas regiões do país. O acesso de algumas zonas periurbanas e rurais a energia elétrica ainda é um grande problema para alguns municípios de Luanda como, por exemplo, o Município do Cazenga, Cacucaco, principalmente na época chuvosa.

Existem fontes energéticas diferentes que são utilizadas em Angola como a hídrica, térmica e a biomassa, algumas destas usadas de forma reduzida, para o consumo doméstico. É importante para suprir a demanda de energia a aplicação de energia renovável fotovoltaica, que já contribuem, por exemplo, na iluminação pública. A Figura 4 mostra painéis solares em poste de iluminação pública em um dos pontos de Luanda (Município de Kilamba Kiaxi). Mas ainda não é uma prática comum em alguns outros pontos de Luanda.

Majoritariamente, Angola depende da fonte de energia hidroelétrica que existe em algumas barragens no país como, por exemplo, a barragem de Lauca, Cambambe 2 que produz energia elétrica para suprir as necessidades de eletrificação existente no país.

Segundo Dombaxe (2011), uma pequena parte da população, 26 %, tinha acesso a energia elétrica e o serviço era geralmente pouco regular devido as falhas de energia que eram constantes. Por isso, melhorar o acesso aos serviços elétricos era primordial para o desenvolvimento de Angola.

Figura 4 – Painéis Solares do município de Kilamba Kiaxi.



Fonte: Acervo do autor (2021)

O Ministério da Energia e Água não tem medido esforços para o melhoramento no abastecimento de energia elétrica para a redução da pobreza e o desenvolvimento sustentável da economia angolana. O país tem muitos recursos para serem usados como fontes alternativas para produção elétrica, para a demanda das 18 províncias do país. Principalmente, devido ao crescimento da população, em que evidenciam as potencialidades do país em relação à utilização das energias renováveis.

Com o passar dos anos, observou-se um pequeno aumento no acesso à energia elétrica. Em 2020, estimou-se que cerca de 30 % da população angolana tinha acesso à energia elétrica (LOPES, 2020). Foi comentado que a grande dispersão das populações nas zonas rurais torna cara a extensão da rede elétrica existente, por outro lado há dificuldade de acesso a determinadas localidades devido ao baixo consumo de energia elétrica.

Percebemos que Angola precisa aumentar a sua produção de energia elétrica para atender as demandas no interior das outras províncias, que assim terão acesso à iluminação pública e, conseqüentemente, para o funcionamento de escolas, hospitais e as irrigações agrícolas que têm como sustento a agricultura. Por este motivo, o governo criou um projeto que busca levar energia elétrica a todos.

Sobre o projeto levar eletricidade a toda Angola, cerca de 40 % da população em Angola ainda vive sem energia elétrica, uma situação que dificulta a prestação de serviços básicos e agrava a pobreza e a produtividade, causando grandes disparidade regionais. Atualmente cerca

de um terço, ou seja 33 %, da população tem energia elétrica em boas condições. (SILVA, 2020).

Este projeto vai beneficiar muito a população angolana, principalmente os que não têm a rede elétrica nas suas residências. O país precisa pensar em aplicações de energias renováveis e a energia fotovoltaica com a utilização de placas solares seria uma forte contribuição da produção de energia elétrica para todos, que concorda com o pensamento de Observador (2018). O governo já vem se mobilizando com este objetivo.

Num fórum de Negócios em África, à margem da 33.<sup>a</sup> cimeira da UA, que decorreu em Adis Abeba, o (Ministério da Energia e Água), junto com seu representante o Ministro João Batista Borges, nas suas falas prevê instalar mais de 300 Megawatts de energia solar em várias regiões do país e, que os parques solares serão instalados em Benguela, no Luena (Moxico), Saurimo (Lunda Sul), no Dundo (Lunda Norte), e no Bailundo (Huambo). (ANGOP, 2020).

De certa forma, este fórum de Negócios em África vai trazer muitos benefícios para o país, que pretende expandir a energia elétrica em zonas periurbanas e rurais com o uso de energias renováveis.

O investimento é cerca de 500 milhões de dólares, cujo o tempo de implementação é de dois anos, em que nos últimos anos a matriz energética no país passou de 40 % de combustíveis fósseis para 60 % de energia limpa e renovável, que tal facto mostra a aposta que o país está a fazer nessa transição energética, ou seja, na redução da produção de energia elétrica com combustíveis fósseis, que o Ministério está a trabalhar com parceiros na promoção de projetos de Energia renováveis para expandi-los em áreas remotas do país, distantes do litoral onde a Energia elétrica é muito escassa. (ANGOP, 2020).

Diante desta transição energética na produção de energia elétrica, o Ministério de Energia e Água investirá em energias renováveis para a redução de combustíveis fósseis, para uma energia limpa ao meio ambiente.

Em relação ao fórum, observou que o mesmo visou estabelecer medidas para os países africanos poderem dispor de instrumentos que lhes permitam financiar projetos com Energias renováveis utilizando o sol, que é o maior recurso energético de que a África dispõe. Segundo o governante angolano, o sol é uma energia limpa e renovável, cujos custos estão cada vez mais reduzidos, o que se pretende é que se faça rapidamente essa transição energética dos combustíveis fósseis (caros), para os combustíveis limpos e renováveis (baratos). (ANGOP, 2020).

É notável a preocupação do Ministério de Energia e Água na redução dos combustíveis fósseis para uma aposta nas energias limpas como a energia renovável de células fotovoltaicas nas suas aplicações de placas solares, ou seja, de construções de usinas fotovoltaicas para o país.

### 3.3 Perspectivas sobre o uso da energia fotovoltaica em Angola

O despacho presidencial n.º 19/20, segundo o Diário da República I. º, série n.º 14 de 10 de fevereiro de 2020, aprovou a despesa referente à execução do projeto “Painéis Solares nas localidades de Bailundo, Benguela, Biópio, Cuito, Lucapa, Luena e Saurimo” e os acordos de financiamento entre o Estado Angolano, o ING BANK N.V., e o *Development Bank of Southern Africa LTD (DBSA)*, além de autorizar o Ministro da Energia e Água a celebrar o contrato para execução do referido projeto e a Ministra das finanças a assinar os referidos acordos de financiamento.

Em face do cenário atual, as perspectivas sobre o uso da energia fotovoltaica em Angola com este despacho são promissoras. Podem surgir mais projetos para a construção de usinas fotovoltaicas para atender a demanda da energia elétrica, principalmente em regiões de difíceis acesso.

Todavia, a primeira localidade a receber o mesmo empreendimento será Biópio, na província de Benguela. O município receberá o maior projeto solar em toda a África subsariana com uma dimensão de 118 MW, onde o estado angolano com este projeto poupará de 5 mil milhões de dólares ao longo dos 35 anos de vida do projeto. (NEGOCIOS, 2021).

Há grande perspectiva sobre o uso da energia fotovoltaica em Angola, pois o país possui muito potencial em radiações solares para a aplicação de placas fotovoltaicas que, por sua vez, pode chamar a atenção de outros investidores na área de energia elétrica, proporcionando perspectivas e aprendizagem de grandes apostas em energias renováveis (DUMBA, 2015).

O uso de energia fotovoltaica em Angola também é previsto de acordo com o Ministério da Energia e Água na aplicação de placas fotovoltaica em municípios de Luanda, como sendo também uma proposta de projeto nos municípios do Cazenga, Cacucaco, Viana, entre outras localidades, ligada a rede elétrica.

Para Roque (2021), Angola é um país em vias de desenvolvimento com diversas carências, em especial no setor da energia. Tendo em consideração esta realidade, este projeto está direcionado para suprir necessidades específicas nesta área, em especial de zonas isoladas e de pouca densidade populacional.

A energia fotovoltaica não apresenta perigo para os seres vivos por ser uma energia limpa para o desenvolvimento sustentável e econômico, para os desafios apresentados para a redução da pobreza e para o aumento de acesso de energia elétrica por parte dos serviços sociais públicos e privados.

A tecnologia recorre a uma fonte primária de energia praticamente inesgotável, o consumo da energia, na sua maioria parte das vezes é consumida no local de produção permitindo assim a redução de perdas no

transporte de energia de fonte de transformação de energia com total ausência de poluição, quando em funcionamento das centrais fotovoltaicas possuem custos operacionais baixos. Pois que o maior encargo será no investimento de construção e implementação do sistema para uma solução viável com baixo custo em relação à rede (tradicional) de produção para eletrificação de zonas periurbanas e rurais. (VIEIRA, 2016).

Segundo Naruto (2017), do ponto de vista econômico, a geração distribuída traz uma perspectiva evidente para o consumidor, principalmente para o consumidor residencial que possui um alto custo de energia. Neste caso existe a possibilidade de redução parcial dos custos do seu gasto energético.

Por outro lado, a perspectivas sobre o uso da energia fotovoltaica em Angola, de certeza vai ajudar no crescimento econômico do país investindo nos setores energéticos para a qualidade de vida dos angolanos, no que concerne a expansão da energia elétrica para todos que ainda necessitam deste recurso energético, principalmente nas zonas isoladas distantes das cidades.

Como estudante do curso de Licenciatura em Física na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, trago este projeto na perspectiva de se averiguar as fontes energética que o país tem, principalmente, em energias renováveis baseadas em células fotovoltaicas. Este é um recurso proveniente do Sol, através das suas radiações que incidem nas placas solares para se transformar em energia elétrica. Então, é um bem que o país deve aproveitar pelo potencial energético que existe em termo de luz solar.

### 3.4 Energia fotovoltaica e a sustentabilidade: o potencial de Viana e o exemplo da cidade de Catumbela

Atualmente, Angola está investindo na implementação de energias renováveis para zonas rurais e periurbanas como fontes alternativas para redes elétricas. Um exemplo é o município de Viana que está situado a 18 km da capital de Luanda, nordeste da Província de Luanda, latitude  $-9,0000^{\circ}$ , longitude  $13,3333^{\circ}$ . Segundo dados do Instituto de Planeamento e Gestão Urbana de Luanda (IPGUL), Viana se estende em cerca de 615 km<sup>2</sup>, equivalente a quase 3 % do território da Província de Luanda, sendo o quarto maior município de Luanda.

Segundo as projeções populacionais de 2018 (SCHMITT, 2018), Viana tem 1.838.291 habitantes, segundo o Instituto Nacional de Estatística e área territorial de 1344 km<sup>2</sup>, sendo o município mais populoso e densamente povoado.

Segundo a Lei de alteração da Divisão político-administrativa de Luanda e Bengo (Lei 29/11) e a da criação do Município de Belas (Lei 16/11), conforme a Figura 5,

que apresenta o mapa da região, os atuais limites geográficos do município de Viana são a norte, o Município do Cacuaco (através dos bairros Capalanca, CAOP B e A da Comuna Sede de Viana); a sul, o Município da Quissama (através da Comuna de Calumbo); a leste, o Município de Icolo e Bengo (através do Bairro km 30) e a oeste, o Município de Belas (através da Bita Sapu e Bita Vacarias). A média de temperatura ambiental anual em Viana é de 24 °C. Existem duas estações climáticas, onde a seca (cacimbo), mais fria, se estende de 15 de maio até 15 de agosto de cada ano.

Figura 5 – Mapa de Viana e fronteiras.



Fonte: Plano municipal de desenvolvimento sanitário (2013-2017).

A luz dos dados obtidos junto da RMS (Repartição Municipal de Saúde), o Município de Viana está dividido em duas comunas e 34 bairros. Conforme as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Bairros da comuna de Viana Sede.

1. Viana Sede	8. Km 14 B	15. E - 15	22. Vila Nova
2. Km 9A	9. Caop A	16. 4 de Abril	23. Projecto Morar
3. Km 9B	10. Caop B	17. Regedoria	24. 500 Casas (Vila Chinesa)
4. Km 12A	11. Caop C	18. 1º de Maio	25. Bita Sapú II
5. Km 12B	12. Boa Fé	19. Boa Esperança	26. Bita Vacaria
6. Mulenvos de cima	13. Kapalanga	20. Km 30	
7. Km 14A	14. Vila sede	21. Viana II	

Fonte: Plano municipal de desenvolvimento sanitário (2013-2017).

Diante desta descrição, a Comuna de Calumbo (Zango) é uma cidade que está a se desenvolver no âmbito de investimento e habitação, hospitais e escolas. O seu clima quente de radiações de Sol, é muito intenso comparado com o estado do Ceará.

Tabela 2 – Bairros da comuna de Viana Sede.

1. Zango I	3. Zango III A	6. Zango Prédios	8. Kakila
2. Zango II	4. Zango III B	7. Calumbo Sede	9. Ana Nguengue
	5. Zango IV		

Fonte: Plano municipal de desenvolvimento sanitário (2013-2017).

Por tanto, é necessário que se faça um estudo de campo na comuna do Zango para investigar a possibilidade da construção de uma usina de energia fotovoltaica, junto com o Ministério de Energia e Água ou empresas privadas do sector energético, aproveitando o potencial da radiação solar que existe nesta cidade do Zango, como mostra ilustrativamente a Figura 6.

Figura 6 – Viana-Comuna de Calumbo (Zango).



Fonte: Autor (2022).

Em relação a questão energética e o seu desenvolvimento sustentável, no que tange a rede elétrica de distribuição para o melhoramento da qualidade de vida da população nas zonas rurais e periurbanas, a aplicação das tecnologias no âmbito de energias renováveis é notável. O investimento neste sector energético que Angola possui não fica de fora quando a questão é implementação de energia solar, que significa bastante no contexto ambiental na busca pelo desenvolvimento sustentável.

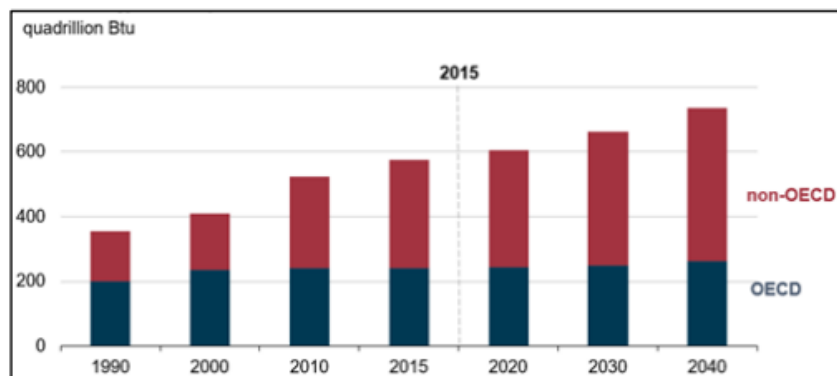
Um dos sectores de maior impacto no balanço energético mundial é o dos centros urbanos, visto que o processo de concentração das cidades e o aumento no consumo de energia os torna responsáveis por 70 % do consumo total de energia. Espera-se, segundo a EIA (U.S. ENERGY, 2017), que a maior parte do aumento na demanda de energia provenha de países não pertencentes à *Organization for Economic Co-operation and Development (OCDE)*, onde o forte crescimento econômico, o aumento do acesso à energia comercializada e as populações em rápido crescimento levam ao aumento da demanda de energia. O consumo de



energia em países não pertencentes à OCDE aumentará 41 % entre 2015 e 2040, em contraste com um aumento de 9 % entre 2015 e 2040 nos países da OCDE. De acordo com (BOQUIMPANI, 2020)

Pode-se observar na Figura 7, que a EIA (*Energy Information Administration*), órgão dos Estados Unidos responsável pela coleta, análise e divulgação de informações energéticas, para promover políticas sólidas, mercados eficientes e compreensão pública da energia e sua interação com a economia e o meio ambiente, prevê que o consumo de energia elétrica mundial crescerá 28 % entre os anos de 2015 (575 quadrilhões de BTUs) e 2040 (736 quadrilhões de BTUs).

Figura 7 – Consumo mundial de energia entre 1990 e 2040.



Fonte: Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica (BOQUIMPANI, 2020).

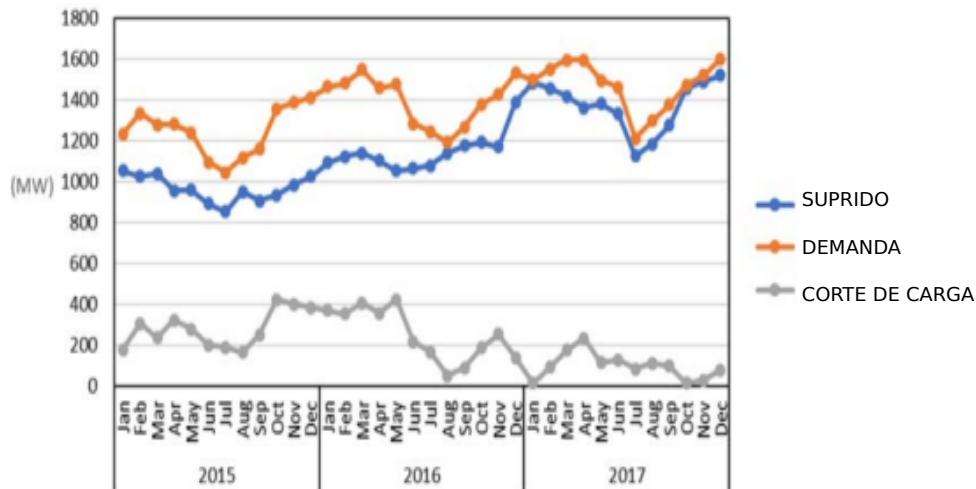
A Energia e o desenvolvimento sustentável em Angola ainda vão no seu âmbito de crescimento nas redes elétricas na linha de transporte de alta tensão e média tensão para o desenvolvimento sustentável na implementação de energia fotovoltaica.

A demanda e fornecimento de energia em Angola não está equilibrada, e a falta de fornecimento tem durado por muitos anos. Esses apagões planeados estão a diminuir graças à entrada em operação da central de Cambambe 2 (700 MW) em 2016, conforme Projecto de Elaboração do Plano Director de Desenvolvimento do Sector Eléctrico na República de Angola relatório final (JUNIOR; SILVA, 2015).

Na Figura 8, é mostrado o histórico de demanda de energia da região norte após 2015, que possui o maior tamanho de demanda, de onde se pode observar que durante muito tempo até o início de 2017 foram realizados vários *blackouts*.

Com certeza a demanda de distribuição de energia elétrica é maior para o país quando há crescimento populacional, principalmente em locais que estão afastados das grandes cidades vivendo em zonas onde não há energia, então a preocupação é maior, para o Ministério da Energia e Água de levar a iluminação pública nestas cidades.

Figura 8 – A quantidade máxima de energia e o histórico da quantidade de energia de corte planeada (Sistemas Norte).



Fonte: Projecto de Elaboração do Plano Director de Desenvolvimento do Sector Eléctrico na República de Angola relatório final. (Foi alterada por causa de tradução) (JUNIOR; SILVA, 2015).

Assim sendo, a questão de investir nas energias renováveis nomeadamente em usinas fotovoltaicas para reduzir os apagões na cidade capital (Luanda), como nas outras províncias de Angola, para o melhoramento da distribuição de energia eléctrica nas zonas periféricas e periurbanas para a iluminação pública é uma grande saída para esta situação.

De acordo com Angola (2022), a maior central solar fotovoltaica de Angola entrou em funcionamento recentemente, construída na comuna do Biopio, município da Catumbela, a norte da província de Benguela. O acesso a energia é contemplado com a construção de centrais solares fotovoltaicas com um milhão de painéis solares instalados, totalizando uma capacidade de 370 MW, como mostra a Figura 9. De acordo com dados liberados pelo Ministério da Energia e Águas, o projeto é o maior programa integrado de intervenção em energia renovável pública na África Subsaariana. Foi pensado com o objetivo de gerar um impacto ambiental, social e económico positivo em Angola, marcando o futuro da energia sustentável no país.

É, uma grande conquista que o país sai a ganhar neste investimento de energia renovável na capacidade produzido pela usina fotovoltaica, uma vez que é um projeto de intervenção que vai beneficiar a população angolana, principalmente nas zonas rurais.

De acordo com Observador (2018), as barragens hidroeléctricas em Angola estão a produzir 78 % da energia eléctrica do país. O aumento de 18,6 % na capacidade de produção de energia através das hidroeléctricas permitiu ao país atingir os 4,409 MW de potência instalada, sobretudo nas zonas com maior densidade populacional.

Como estudante de Licenciatura de Física na UNILAB, a fim de exemplificar

Figura 9 – Usina fotovoltaico em Biópio, município da Catumbela, a norte da província de Benguela.



Fonte: Central solar do Biópio pronta para produzir 188 MW de energia (ANGOLA, 2022)

a conversão da energia solar em energia elétrica, no próximo capítulo apresento uma proposta didática de experimento com LEDs como células fotovoltaicas. Quer-se mostrar com a mediação deste experimento que é possível produzir energia elétrica a partir da energia proveniente do Sol em escolas para crianças e adolescentes mas, especialmente em escolas do ensino médio. Explicar como é importante a ciência e o desenvolvimento de materiais semicondutores para aplicação nas demandas da humanidade.

## 4 A ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica requer uma compreensão da interação da luz com a matéria, onde a natureza é inerentemente quântica, associada a um modelo físico dos meios materiais conhecidos.

Os materiais utilizados na conversão fotovoltaica são tipicamente semicondutores, cuja estrutura de bandas de energia é obtida mediante a aplicação das leis da mecânica quântica (LIMA et al., 2019).

Na Física Moderna, a luz é um fenômeno eletromagnético ondulatório descrito pelas equações de Maxwell clássicas. Porém, não é possível entender a interação da luz com a matéria através dessa descrição ondulatória, por isso é necessário introduzir o conceito de fóton de energia da radiação eletromagnética que representa o quantum, mostrando desta forma o aspecto corpuscular da luz.

A energia de um fóton está relacionada à frequência da radiação eletromagnética dele através da constante de Planck,  $h$ . Isto significa que se um fóton tem frequência  $\nu$ , a energia associada a ele,  $E$ , pode ser escrita como:

$$E = h\nu, \quad (4.1)$$

onde:  $h = 6,6262 \times 10^{-34} J.s$ . Einstein contribuiu com esta discussão propondo que o fóton tem um momento,  $p$ , dado por:

$$p = \frac{E}{c} \quad (4.2)$$

O fóton transporta ainda momento linear  $p$ , cuja expressão é dada abaixo:

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}, \quad (4.3)$$

onde  $c$  é a velocidade da luz.

De acordo com Lima et al. (2019), do ponto de vista corpuscular, a interação da luz com a matéria pode ser descrita como a colisão do fóton com as partículas elementares que compõem a matéria, onde o fóton pode ser inteiramente absorvido, emitido ou parcialmente espalhado, desde que as leis de conservação de energia, momento linear, momento angular e carga elétrica sejam satisfeitas.

No presente trabalho, abordo sobre a energia fotovoltaica que é baseada em princípios físicos fundamentais que explicam a conversão fotovoltaica, que é um fenômeno de absorção de fótons entre dois níveis de energia de um sistema fotovoltaico. A fonte

primária deste sistema é o Sol.

O sistema solar por via de radiações para a Terra, fornece a energia solar por meio de radiação eletromagnética que, a partir do limite maior da atmosfera, em que sofre uma série de reflexões, dispersão e absorção em seu percurso ao solo. Os níveis de radiação solar em um plano horizontal na superfície da Terra, variam com as flutuações climáticas das estações do ano, também de acordo com a região, tudo por causa das diferenças de latitude, das condições meteorológicas e das altitudes (REIS; SANTOS, 2006).

O material chave para a fabricação das células fotovoltaicas é o semicondutor, que tem a próxima seção dedicada a um breve histórico deste materiais. A possibilidade da conversão da energia solar em energia elétrica é uma aplicação direta do desenvolvimento destes materiais.

A conversão da energia solar em energia elétrica utiliza tecnologias de semicondutores para construção de painéis solares fotovoltaicos. A implementação da tecnologia para a energia fotovoltaica, encontra viabilidade econômica nas aplicações de pequeno e grande porte em sistemas rurais isolados (Iluminação pública, bombeamento de água etc.), ou seja, de serviços profissionais (retransmissores de sinais, aplicações marítimas) e nos produtos de consumo (relógio, calculadora). Para (REIS; SANTOS, 2006).

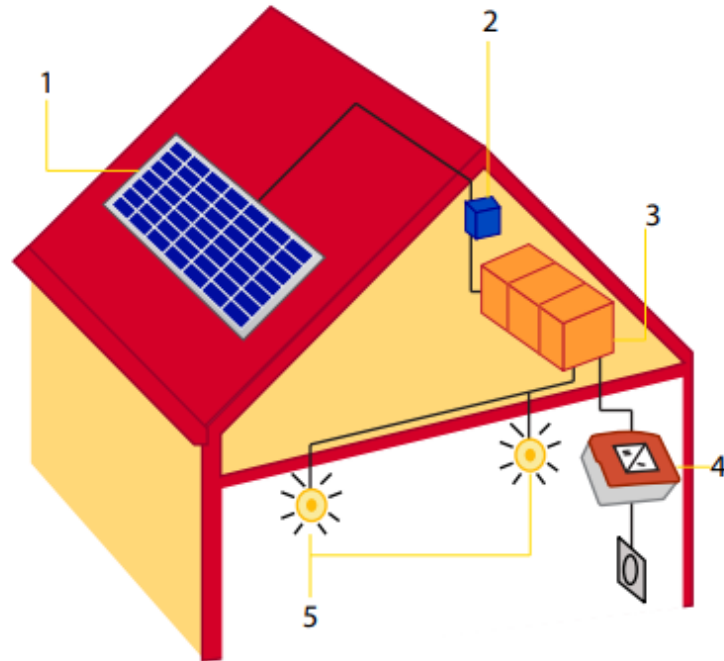
O nível de radiação solar incidente no sistema fotovoltaico para a produção de energia num local onde se instala o coletor do sistema solar de geração elétrica é de extrema importância. É este nível que permite o cálculo da energia solar captada pelos painéis fotovoltaicos que é uma das variáveis para o dimensionamento do sistema de energia. O sistema fotovoltaico pode ser classificado de dois tipos: o autônomo e o conectado a rede.

Segundo Souza (2016), um sistema fotovoltaico autônomo, geralmente, possui os seguintes componentes: 1– Painel fotovoltaico; 2– controlador de carga/descarga das baterias; 3– Banco de baterias; 4– Inversor autônomo, para cargas em corrente alternada (CA) ou 5– cargas em corrente contínua (CC), conforme ilustra a Figura 10.

Por outro lado, os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também chamados de *on-grid*, fornecem energia para as redes de distribuição. Além disso todo o potencial gerado é rapidamente escoado para a rede, que age como uma carga, absorvendo a energia.

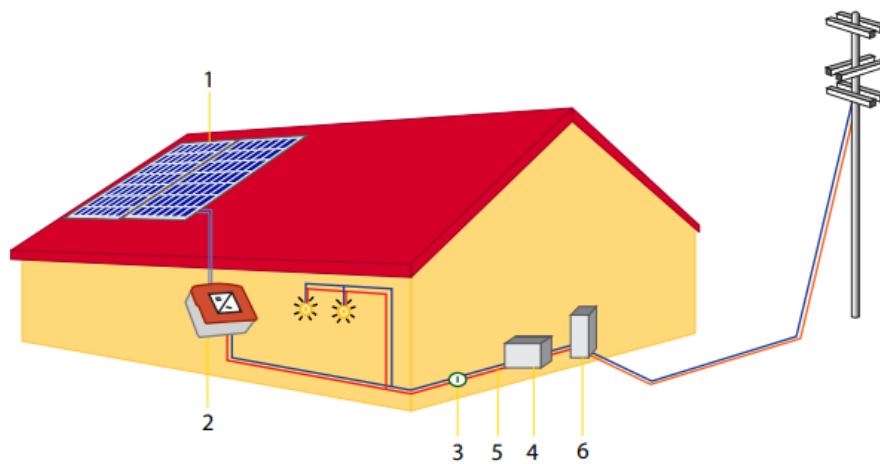
Para Souza (2016), um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, possui os seguintes componentes: 1– Módulos fotovoltaicos; 2– Inversor (Transforma a corrente contínua do painel em corrente alternada de 127V/220V e 60 Hz, compatível com a eletricidade da rede); 3– Interruptor de segurança; 4– Quadro de luz (distribui energia para casa); 5 e 6– Medidores de energia, como mostra a Figura 11.

Figura 10 – Componente de um sistema fotovoltaico autônomo.



Fonte: (SOUZA, 2016).

Figura 11 – Sistema conectado à rede.

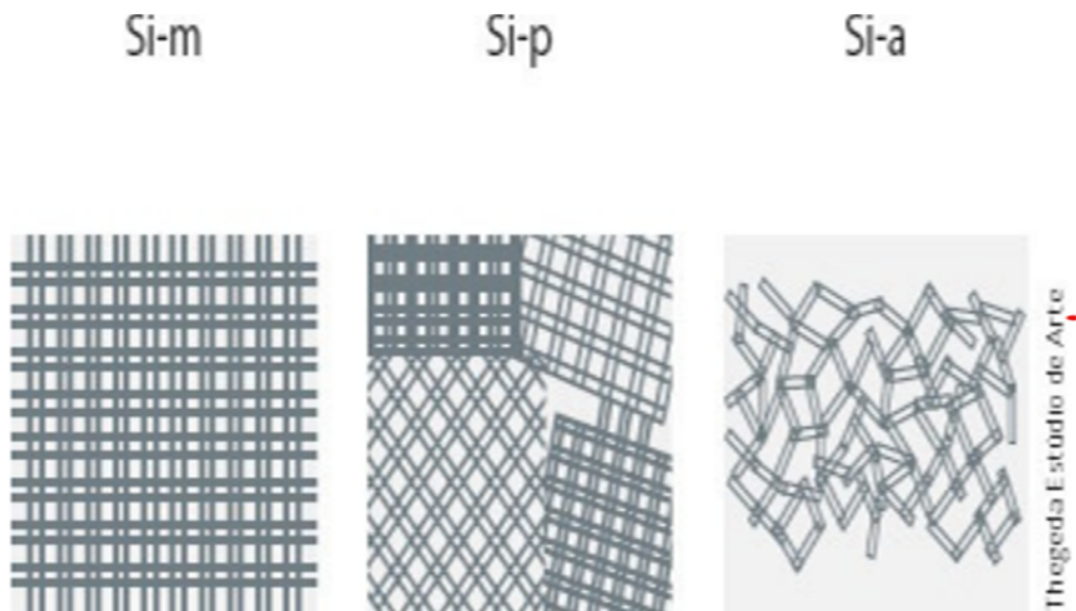


Fonte: (SOUZA, 2016).

#### 4.1 Um breve histórico sobre os materiais semicondutores

A geração de células fotovoltaica, ou energia fotovoltaica, com avanço das tecnologias aplicadas nos sistemas fotovoltaicos são classificadas em três gerações. Contudo vou abordar simplesmente os semicondutores mais utilizados na fabricação de células fotovoltaico e com maior eficiência que faz parte da primeira geração, que são: os silícios policristalinos (p-si) e o silício monocristalino (m-si). Estas são consideradas tecnologias estabelecidas e confiáveis e tem a melhor eficiência comercialmente disponível. A Figura 12 mostra a estrutura atômica de materiais de silício: monocristalino, policristalino e amorfo.

Figura 12 – Estrutura atômica de materiais de silício: monocristalino, policristalino e amorfo



Fonte: Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica (ZILLES et al., 2016).

Mas, apenas para mencionar, existem ainda outros semicondutores (Ge, Si e GaAs), para a construção de dispositivos de circuitos eletrônicos discretos e de estado sólidos (estrutura de cristal rígido). Em geral os materiais semicondutores estão divididos em duas partes que são: cristal singular e composto.

A primeira geração tem como principal material o silício, podendo ser dividida em duas cadeias produtivas: Silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si). São os tipos de tecnologias mais utilizados, representando cerca de 85 % do mercado devido as maiores eficiências que podem ser atingidas (atingem uma performance típica de 15-20 %), além disso, os seus benefícios residem no seu bom desempenho e estabilidade. (SILVA et al., 2018).

Os semicondutores de cristal singular, germânio (Ge) e silício (Si) contêm

uma estrutura cristalina que se repete várias vezes. E os semicondutores compostos, arseneto de gálio (GaAs), sulfeto de cádmio (CdS), nitreto de gálio (GaN) e fosfato de arseneto (GaAsP), os mesmos são constituídos por dois ou mais materiais semicondutores de diferentes estruturas atômicas.

O semicondutor Si é líder na sua utilização em materiais semicondutores para componentes eletrônicos. Os semicondutores Si, Ge e GaAs são utilizados para pesquisas no estudo de Física e experimentos de eletrônica na indústria eletrônica, que requer conhecimentos de estrutura atômica de cada elemento químico acima citados e de como os átomos se ligam para formar uma estrutura cristalina.

Os dispositivos semicondutores desempenham um papel crucial na eletrônica contemporânea. Em que no outrora eram fabricados com válvulas eletrônicas a vácuo, porém tais válvulas foram substituídas nas últimas cinco décadas por dispositivos de estado sólido, tais como transistores, diodos, circuitos integrados e outros dispositivos semicondutores (YOUNG; IV, 2009).

Um semicondutor tem uma resistividade elétrica por não ser na sua totalidade isolante. Devido esta propriedade, este material possui uma grande importância na eletrônica moderna pois suas propriedades elétricas são muito sensíveis a pequenas variações de impurezas em sua estrutura.

Os materiais têm propriedades elétricas distintas que os classificam em condutores, isolantes e semicondutores. Essas categorias descrevem como os materiais permitem ou impedem o fluxo de corrente elétrica, e são fundamentais para o funcionamento de dispositivos eletrônicos e sistemas de energia.

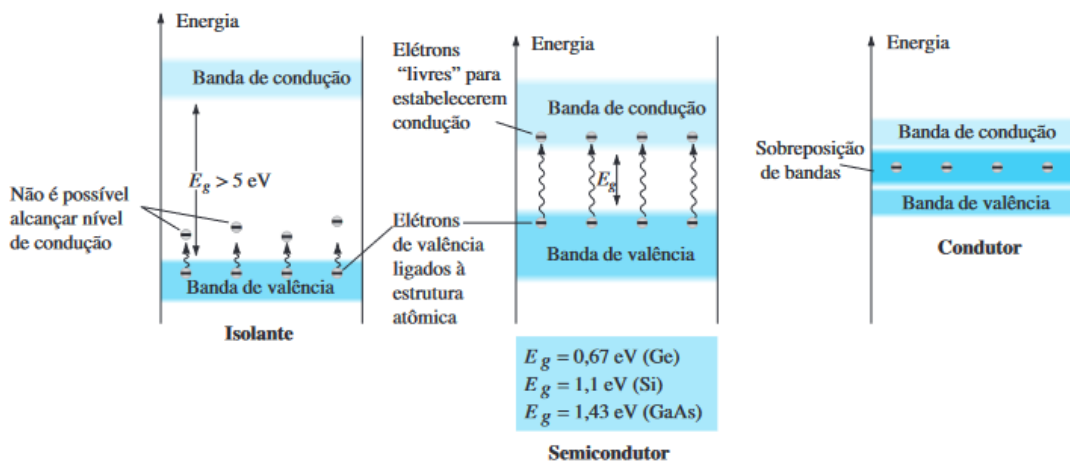
Os condutores são materiais que possuem alta condutividade elétrica. Isso significa que os elétrons em sua estrutura atômica podem se mover facilmente quando uma tensão elétrica é aplicada. Nos condutores, os elétrons na camada mais externa dos átomos estão fracamente ligados, permitindo que se desloquem livremente através do material. Por outro lado, os isolantes são materiais com baixa condutividade elétrica. Nos isolantes, os elétrons na camada mais externa dos átomos estão fortemente ligados e não podem se mover facilmente quando uma tensão é aplicada. Esses materiais têm uma banda de energia proibida significativa entre a banda de valência e a banda de condução. Já os semicondutores são materiais que possuem uma condutividade intermediária entre condutores e isolantes. Sua característica distintiva é a capacidade de alternar entre estados “ligado” e “desligado” com facilidade. (REZENDE, 2004)

A distinção entre condutores, isolantes e semicondutores está relacionada às características das bandas de energia dos materiais. Enquanto os condutores têm sobreposição das bandas de valência e condução, os isolantes têm uma grande lacuna entre elas, e os semicondutores têm uma lacuna menor que pode ser preenchida ou esvaziada sob condições controladas.



Dessa forma, podemos observar na a Figura 13, os níveis específicos de energia que podem existir para os elétrons na estrutura atômica de um átomo isolado. O resultado é uma série de intervalos entre os níveis de energia permitidos, nos quais não se admitem portadores. Em outras palavras os elétrons de valência de um material de silício podem ter diferentes níveis de energia desde que se enquadrem dentro da banda. A figura revela claramente que existe um nível mínimo de energia associado aos elétrons na banda de condução e um nível máximo de energia de elétrons ligado à camada de valência do átomo.

Figura 13 – Bandas de condução e valência de um isolante, um semicondutor e um condutor.



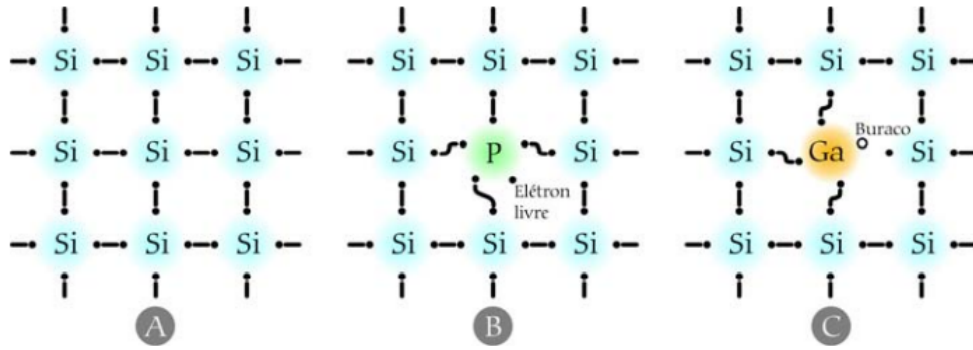
Fonte: Livro Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos (BOYLESTAD, 2013).

Como exemplo, a natureza do silício faz com que ele seja muito utilizado na eletrônica, porque possui uma característica diferente dos outros semicondutores. O semicondutor de silício permite ligarmos o átomo de fósforo (P) como impureza, fazendo com que um cristal de silício tenha um elétron a mais na rede cristalina que poderá se mover pelo o material, isto é, que não está fortemente ligado ao átomo.

O elétron poderá se mover pelo material, pois não está fortemente ligado ao átomo, o novo material possui elétrons em excesso e é por isso chamado semicondutor tipo N. O oposto ocorrerá se um átomo de Gálio (Ga) for inserido na rede cristalina de Silício. Um elétron estará faltando, e este "buraco" se comporta como uma carga positiva, que também pode se mover se pelo material, pois um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este espaço. O semicondutor com falta de elétrons é chamado de semicondutor tipo P. (ALVES; SILVA, 2008).

A Figura 14 ilustra o processo de inserção de átomos estranhos em uma rede cristalina de Si (A), denominado "dopagem". Temos a representação do semicondutor tipo N (B) e tipo P (C).

Figura 14 – (a) Representação bidimensional de um cristal de Silício. (b) Quando um átomo de fósforo é adicionado a rede ele disponibiliza um elétron, que fica livre para se mover pelo cristal (semicondutor tipo N). (c) Se for adicionado um átomo de Gálio, haverá a falta de um elétron (buraco). Como um elétron de um átomo vizinho pode ocupar este buraco, o efeito final é o de uma carga positiva se movendo pelo cristal (semicondutor tipo P).



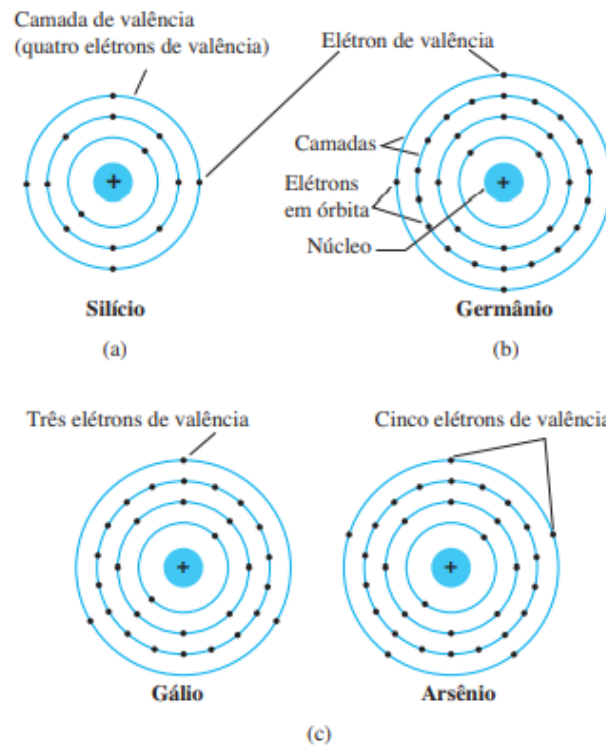
Fonte: Livro Física na Escola (ALVES; SILVA, 2008).

Em um dos modelos atômicos mais aceitos na atualidade, a estrutura atômica é constituída por elétron, próton e o nêutron. Os nêutrons e prótons formam o núcleo. Já os elétrons se apresentam em órbitas fixas ao redor do núcleo. A Figura 15 ilustra o modelo de Bohr para os três materiais: o silício tem 14 elétrons em órbita, o germânio tem 32, o gálio 31 e o arsênio 33 elétrons em órbita. O germânio e o silício contêm 4 elétrons na sua camada de valência mais externa, chamados de elétrons de valência, o gálio contém 3 elétrons na sua camada de valência e o arsênio, 5.

Os elementos químicos que possuem 4 elétrons de valência são chamados de tetravalentes, da mesma forma, os que têm 3 elétrons são os trivalentes e os de 5, penta valentes. O potencial de ionização é utilizado para remover alguns elétrons da estrutura atômica. Os elétrons de valência são mais fáceis de remover do que qualquer outro elétron na estrutura atômica. A Figura 16 apresenta o cristal puro de silício ou germânio, onde os 4 elétrons de valência de um átomo formam uma ligação com 4 átomos. Esta ligação de átomos pelo compartilhamento de elétrons é chamada de ligação covalente.

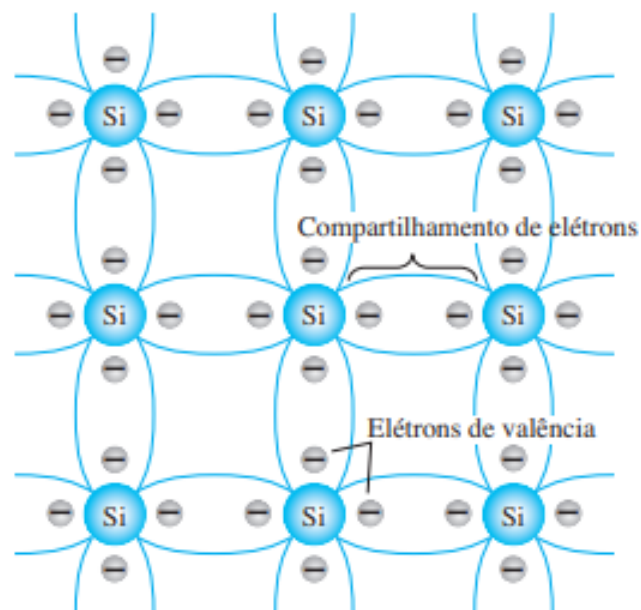
Mas o que é o efeito fotovoltaico? Quando foi descoberto e a partir de quando tem sido usado em aplicações tecnológicas? Na próxima seção tentaremos responder a estas perguntas.

Figura 15 – Estrutura atômica do (a) silício, (b) germânio e (c) gálio e arsênio.



Fonte: Livro Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos (BOYLESTAD, 2013).

Figura 16 – Ligação covalente do átomo de silício.



Fonte: Livro Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos (BOYLESTAD, 2013).

## 4.2 O efeito fotovoltaico

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel, utilizando uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando o dispositivo era submetido a luz.

Os primeiros painéis solares foram desenvolvidos por Charles Fritts nos anos 1880. Os primeiros foram instalados em um telhado na cidade de Nova York. A partir dos anos 1940, através da patente e dos trabalhos de Russel Ohl, os painéis solares utilizando junção P-N de silício tornaram-se viáveis para as aplicações práticas.

De acordo com Lima et al. (2019), células fotovoltaicas com eficiências de conversão maiores que 5 % foram conseguidas a partir da década de 1950, o que foi um salto fundamental para a viabilização das comunicações via satélite.

O efeito fotovoltaico corresponde à geração de uma diferença de potencial elétrica entre dois terminais de uma estrutura, utilizando uma junção P-N, que é a junção de um semicondutor tipo P com um semicondutor tipo N que detalhamos na seção anterior. Atualmente, a radiação solar é uma das mais importantes fontes de energia renovável, sobretudo na região espectral da luz infravermelha e visível, podendo ser convertido em calor ou em energia elétrica, através de materiais e dispositivos apropriados.

A parte atômica da célula fotovoltaica é composta por materiais semicondutores, geralmente feitos de silício. Esses materiais possuem átomos que têm elétrons em sua camada de valência, que são os elétrons mais externos e que podem participar de reações químicas. Quando a luz solar incide sobre a célula fotovoltaica, fótons (partículas de luz) são absorvidos pelos átomos do material semicondutor. Essa absorção de energia faz com que os elétrons sejam excitados, ou seja, ganhem energia suficiente para se moverem de sua camada de valência para uma camada de energia mais alta. Esses elétrons excitados são então liberados e podem se mover livremente pelo material semicondutor (NASCIMENTO, 2004).

No entanto, o material semicondutor é estruturado de forma a criar uma camada de material tipo P (positivo) e uma camada de material tipo N (negativo). Essas camadas são separadas por uma junção P-N. A junção P-N cria uma barreira de energia entre as camadas, chamada de barreira de potencial. Quando os elétrons excitados se movem para a camada tipo N, eles são atraídos pela carga positiva da camada tipo P. No entanto, eles não podem atravessar a barreira de potencial diretamente. No entanto, se houver um circuito externo conectado à célula fotovoltaica, os elétrons podem fluir através desse circuito para alcançar a camada tipo P. Esse fluxo de elétrons cria uma corrente elétrica que pode ser usada para alimentar dispositivos elétricos ou ser armazenada em uma bateria (NASCIMENTO, 2004).

Em resumo, a parte atômica da célula fotovoltaica converte a energia da luz solar em energia elétrica através do processo de excitação de elétrons em um material semicondutor e sua movimentação através de uma junção P-N para gerar uma corrente elétrica, como ilustra a Figura 17. O diodo e o fotodiodo são dispositivos que desempenham papéis essenciais em aplicações relacionadas à energia solar, eletrônica e detecção de luz, uma vez que sua estrutura interna possui uma junção P-N.

Um diodo é um exemplo de dispositivo que utiliza a junção P-N. Ele permite a passagem de corrente elétrica em apenas uma direção, tornando-se polarizado diretamente quando a tensão é aplicada corretamente. Já o fotodiodo é uma variação do diodo que é sensível à luz. Ele também possui uma junção P-N, mas é projetado para converter diretamente a luz em corrente elétrica. Quando a luz incide sobre o fotodiodo, os fótons excitam os elétrons na junção P-N, gerando corrente elétrica proporcional à intensidade da luz incidente (REZENDE, 2004).

A base da produção da energia fotovoltaica é a conversão da energia solar a partir de células fotovoltaicas quando os fótons da radiação da luz fornecidos pelo Sol são convertidos em energia elétrica nos terminais dos materiais semicondutores.

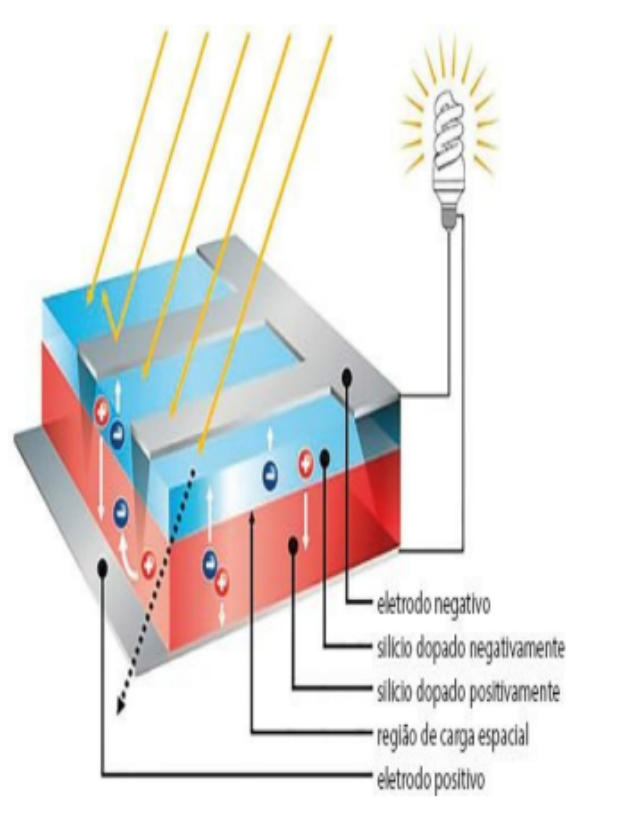
O efeito fotovoltaico é um efeito quântico, característico dos semicondutores. Ele decorre da excitação dos elétrons desses materiais na presença de luz. Cada elétron excitado se desloca deixando uma espécie de “buraco” ou “lacuna” no átomo e outros elétrons se movem então para essas lacunas, deixando outras lacunas em seus átomos, e assim sucessivamente. Como a maioria dos materiais que apresentam esse efeito possui uma estrutura cristalina, isto é, um arranjo periódico organizado dos átomos, esse deslocamento dos elétrons forma uma corrente elétrica no próprio material. A energia elétrica assim produzida é chamada de energia solar fotovoltaica, em inglês *solar Photovoltaic Energy*, ou apenas solar PV. (BURATTINI, 2008).

De acordo com Silva et al. (2018), as células solares possuem diversas características que são oriundas do material semicondutor utilizado na sua confecção, a técnica de fabricação empregada, propriedades geométricas e estruturas, dentre outras, que interferem consideravelmente no seu funcionamento.

A descoberta do efeito fotovoltaico contribuiu muito para o avanço das tecnologias de implementação de energias renováveis para suprir as necessidades da distribuição elétrica em zonas de difícil acesso. Assim, os módulos fotovoltaicos ou células, funcionam através da absorção de fótons que são absorvidos e excitam elétrons que fluem através das células fotovoltaicas, gerando eletricidade (FREIRE, 2023).

A energia fotovoltaica tem a sua potência, em kW, produzida nos terminais dos painéis solares de um sistema fotovoltaico, que pode ser calculada em função do tempo, pela expressão (REIS; SANTOS, 2006):

Figura 17 – Estrutura da célula fotovoltaica no momento da captação de energia.



Fonte: Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica (ZILLES et al., 2016).

$$Pg(t) = \eta \cdot A \cdot Rs(t), \quad (4.4)$$

onde:  $\eta$  é o rendimento total do sistema (10 % a 20 %),  $A$  é a área do painel solar em  $m^2$  e  $Rs(t)$  é a radiação solar incidente, dada em  $KW/m^2$  em função do tempo.

O efeito fotovoltaico trouxe uma revolução na aposta da distribuição de energia elétrica no desenvolvimento sustentável de usinas fotovoltaicas para fornecer energia elétrica na sociedade.

## 5 UMA PROPOSTA EXPERIMENTAL

O tema do meu trabalho salienta e motiva o uso da conversão de energia solar em energia elétrica como uma estratégia de sanar as limitações energéticas em Angola. É uma tecnologia nova e que ajuda na divulgação científica no meio da comunidade que a utiliza. Como abordar esta tecnologia tão sofisticada em escolas ou ambientes não acadêmicos? Assim, pensou-se em apresentar um experimento que exemplificasse o efeito fotovoltaico. Neste aparato, a fonte de luz, no experimento o Sol ou uma lâmpada incandescente, incide sobre LEDs que funcionam como células fotovoltaicas representando assim a ideia da fonte alternativa para redes elétricas em Angola, usando energias renováveis como solução sustentável para o benefício da comunidade que a utiliza e do meio ambiente. A proposta deste experimento é de apresentar a energia fotovoltaica de uma forma simples.

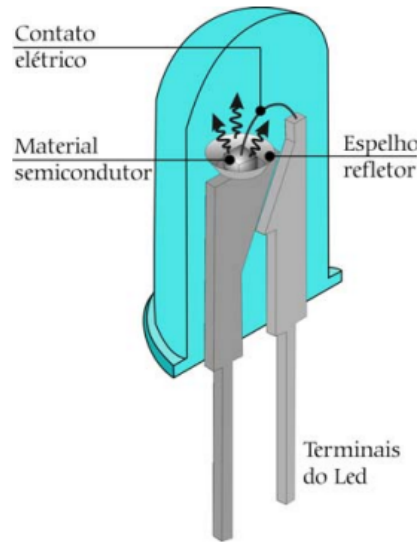
### 5.1 O LED como célula fotovoltaica

Como o nome já diz, o LED é um dispositivo emissor de luz. Assim, como pode um dispositivo que foi fabricado para emitir luz ser usado para absorver luz, funcionando como uma célula fotovoltaica? O LED funciona como célula fotovoltaica porque é feito com materiais semicondutores e tem em seu interior uma junção P-N que, como mencionamos antes, é a principal razão estrutural atômica para o efeito fotovoltaico. No LED, o lado N da junção está preso a um contato metálico que serve como um espelho refletor para direcionar a luz emitida. Apenas um fio estabelece o contato elétrico entre o semicondutor e o outro terminal do LED, de maneira que a maior parte do semicondutor fica exposta, como podemos observar na Figura 18 a ilustração da estrutura do LED.

Uma vez que a junção P-N está exposta a luz, fótons de energia igual à largura da banda proibida, *gap* entre a banda de condução e a banda de valência, incidem sobre os elétrons da banda de valência que os absorvem e “pulam” para a banda de condução, onde passam a contribuir com a condutividade e, conseqüentemente, aumentam a intensidade da corrente ( $I$ ) no circuito. Portanto, a leitura no amperímetro presente na Figura 19, indica a intensidade da luz no circuito da fotocélula.

Para Furukawa (2019), o LED sendo um diodo emissor de luz, pode gerar uma diferença de potencial mediante a incidência de fótons. Ao absorver a energia desses fótons, e se essa energia for suficiente, pode transformar o diodo em um condutor de energia.

Figura 18 – Detalhes internos da estrutura do LED.



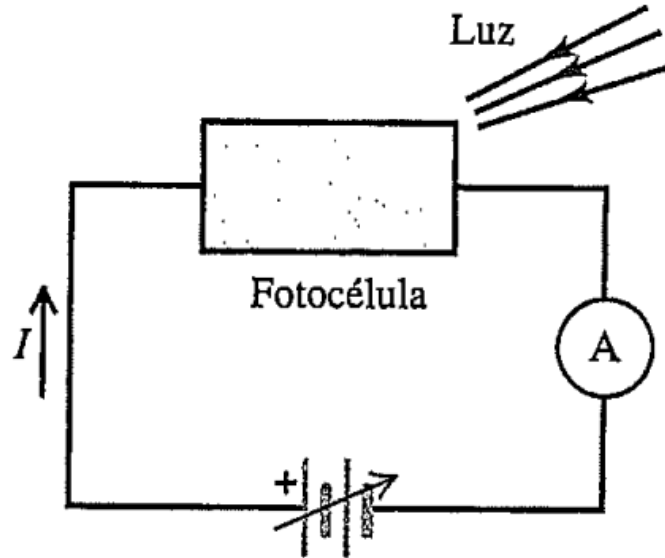
Fonte: Livro Física na Escola (ALVES; SILVA, 2008).

Para o nosso objetivo, a utilização de LEDs como micro geradores de energia elétrica é muito satisfatória independentemente da quantidade de energia gerada. Queremos construir um circuito simples e nesta aplicação de LEDs ocorre a geração de pequena carga que é possível alimentar dispositivos eletrônicos ou equipamentos que trabalham com a mesma tensão dos LEDs. Importante mencionar que o LED tem uma polarização para o funcionamento correto. Assim, é importante reconhecer qual é o terminal negativo e positivo do dispositivo para que, na montagem do circuito, todos estejam na mesma polarização. O terminal negativo do LED é mais curto que o terminal positivo.

Propor o LED como modelo de célula fotovoltaica é muito mais acessível em termos de custo no mercado. O tipo de LED usado e, de melhor resultado, é o LED vermelho de 5 mm com encapsulamento transparente, como também pode ser LED vermelho de 10 mm com encapsulamento transparente que apresenta resultados satisfatórios.



Figura 19 – Uma fotocélula semicondutora em um circuito. Quanto mais intensamente a luz incide sobre a fotocélula, maior a condutividade da fotocélula e maior a corrente medida pelo amperímetro (A).



Fonte: Livro Física IV: Ótica e Física Moderna. v. 4 (YOUNG; IV, 2009).

## 5.2 Montagem e Procedimento do experimento

O passo a passo para a realização do experimento é o seguinte:

1. Coloca-se a lâmpada halógena na luminária antes de ligar na tomada.
2. Monta-se um circuito simples em paralelo na placa *board* com três LEDs e o capacitor com seus terminais negativos e positivos conforme é visto na Figura 20.
3. Pega-se a calculadora e conecta-se os fios aos seus polos negativos e positivos.
4. Em seguida, é conectado os cabos que saem da calculadora a placa *board*, ligando negativo e positivo, respectivamente.
5. Colocamos o circuito montado embaixo da luminária e acende-se a luz.

Observa-se que, automaticamente, a calculadora passa a funcionar, Figura 20.

O capacitor serve para armazenar as cargas elétricas e, se luminária for desligada, a carga elétrica armazenada no capacitor faz com que a calculadora ainda funciona, até que o capacitor se descarrega.

Este experimento é simples, mas pode mediar a aprendizagem significativa nos alunos, uma vez que a Física é uma ciência baseada em fenômenos naturais.

Figura 20 – Funcionamento do experimento.



Fonte: Acervo do autor (2023).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tem por objetivo geral mostrar como é utilizada a energia fotovoltaica em Angola como fonte alternativa de redes elétricas com foco na importância de investimentos na energia fotovoltaica para o país no cobrimento de grandes dificuldades na produção de eletricidade. Vale ressaltar que o país tem um grande potencial em energia renováveis para redes elétricas, para melhorar o atendimento a demanda de energia elétrica da população.

Houve a pesquisa bibliográfica sobre as limitações energéticas de Angola e sobre as questões energéticas renováveis, a fim de se melhorar o abastecimento da energia elétrica utilizando energia fotovoltaica. Em algumas zonas periurbanas e rurais a energia elétrica ainda é um grande problema para alguns municípios de Luanda como, por exemplo Município do Cazenga, Cacuaco, principalmente na época chuvosa. Por tanto, é necessário que se faça um estudo de campo na comuna do Zango para investigar a possibilidade da construção de uma usina de energia renovável, uma vez que essa localidade possui grande potencial devido a incidência intensa do Sol. E traz como exemplo a impressionante instalação feita em Biopio, Município de Catumbela. Este empreendimento trouxe 370 MW para contribuir com a demanda energética do país.

A pesquisa também incluiu o efeito fotovoltaico, onde discutimos sua importância histórica. Esse efeito foi descoberto pelo físico Frances Edmond Becquerel em 1839, utilizando uma célula eletroquímica para gerar uma diferença de potencial entre dois eletrodos, quando os dispositivos eram submetidos a luz. Além disso foi abordada a Física que explica este fenômeno, a saber, a interação de fótons com a matéria. Ademais, também foi comentada a estrutura dos semicondutores, que são os materiais responsáveis pelo desenvolvimento de vários dispositivos eletrônicos devido a capacidade de sair do estado de isolante para condutor, quando elétrons são energizados para “saltar” o *gap* de energia que separa as bandas de valência e condução. O efeito fotovoltaico corresponde à geração de uma diferença de potencial elétrica entre dois terminais de uma estrutura, utilizando uma junção P-N, geralmente mais presentes comercialmente em estruturas de silício. Um dos dispositivos construídos graças a este material é o diodo emissor de luz (LED).

O trabalho traz ainda um experimento de baixo custo, onde se usou dispositivos simples e baratos como LEDs e capacitor que, após associados, fazem o circuito funcionar como uma placa solar, a principal ideia desta proposta foi exemplificar a obtenção de energia elétrica através da luz solar. A ideia é chamar a atenção da sociedade junto

as crianças e adolescentes para a importância da ciência no desenvolvimento de novas tecnologias. Sendo este experimento uma ferramenta de mediação do ensino nas escolas.

Atualmente, a energia fotovoltaica é uma das fontes de energias renováveis que cresce nas últimas décadas na matriz energética em todo mundo e nos países em desenvolvimento. Neste contexto podemos incluir Angola, que investe em instalações de usinas fotovoltaicas para atender o crescimento populacional na distribuição de energia elétricas nas zonas de difíceis acessos.

Todo o desenvolvimento do trabalho foi com foco na importância de investimentos na energia fotovoltaica para o país e apresentar os dados relevantes,

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. G.; SILVA, A. F. Usando um led como fonte de energia. *Física na Escola*, v. 9, n. 1, p. 26–28, 2008.
- ANGOLA, E. D. R. D. *Central solar do Biópio pronta para produzir 188 MW de energia*. 2022. Disponível em: <https://angola.org/central-solar-do-biocio-pronta-para-produzir-188-mw-de-energia/>. Acesso em: 24 de maio 2023.
- ANGOLA, J. da. *Energia solar abrange 1,5 milhão de pessoas*. 2022. Disponível em: <https://www.jornaldeangola.ao/ao/noticias/energia-solar-abrange-1-5-milhao-de-pessoas/>. Acesso em: 25 de maio 2023.
- ANGOLA, M. *Mapas do mundo*. 2014. Disponível em: <https://pt.mapsofworld.com/angola/>. Acesso em: 22 de fevereiro 2021.
- ANGOP. *Angop*. 2020. Disponível em: [http://cdn2.portalangop.co.ao/angola/pt\\_pt/noticias/economia/2020/1/7/Governo-anuncia-instalacao-300-megawatts-energia-solar-pais,259ec0ac-6806-4b2d-8526-aa0d4be77677.html](http://cdn2.portalangop.co.ao/angola/pt_pt/noticias/economia/2020/1/7/Governo-anuncia-instalacao-300-megawatts-energia-solar-pais,259ec0ac-6806-4b2d-8526-aa0d4be77677.html). Acesso em: 24 de fevereiro 2021.
- BNCC. *Base Nacional Comum Curricular - Educação é a base*. 2023. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 22 de fevereiro 2023.
- BOQUIMPANI, C. L. *Eficiência energética: sistemas de iluminação com LEDs, distribuídos em corrente contínua e utilizando energia fotovoltaica*. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/b6xKHMSwZw6qWLTyfpfFgTs/?lang=pt>. Acesso em: 24 de fevereiro 2021.
- BOYLESTAD, R. L. *NASHELSKY, Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. [S.l.]: São Paulo: Pearson Education Brasil, 2013.
- BURATTINI, M. P. T. de C. *Energia uma abordagem multidisciplinar*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2008.
- DOMBAXE, M. I. M. *Os problemas energéticos em Angola: energias renováveis, a opção inadiável*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, 2011.
- DUMBA, D. E. *Energia Solar Fotovoltaica como Fonte Alternativa de Produção de Energia Elétrica em Angola*. Tese (Doutorado) — Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2015.
- FREIRE, F. *Célula fotovoltaica: como funciona?* 2023. Disponível em: <https://www.shareenergy.com.br/como-funciona-celula-fotovoltaica/>. Acesso em: 07 de junho 2022.
- FURUKAWA. *Efeito Fotovoltaico: Led como Gerador*. 2019. Disponível em: <https://youtu.be/XDhG3oI5Ss0>. Acesso em: 07 de junho 2022.
- JUNIOR, A. V. D. A.; SILVA, M. V. D. O. *Geração de energia fotovoltaica: Análise da viabilidade de implementação na igreja matriz de são joão do oriente-mg*. 2015.

LIMA, A. A. et al. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 42, 2019.

LOPES, G. L. *Energia Renováveis como formas de mitigação dos impactos energéticos de Angola*. 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/LeadingAfricaForumAngola/posts/708075109965572>. Acesso em: 24 de fevereiro 2021.

NARUTO, D. T. Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. *Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro*, p. 15, 2017.

NASCIMENTO, C. A. D. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. *Diss. Universidade Federal de Lavras*, 2004.

NEGOCIOS, J. de. *Angola recebe investimento de 524 milhões de euros em energia solar*. 2021. Disponível em: <https://www.jornaldenegocios.pt/economia/mundo/africa/angola/detalhe/angola-recebe-investimento-de-524-milhoes-de-euros-em-energia-solar>. Acesso em: 24 de fevereiro 2021.

OBSERVADOR, J. *Observador*. 2018. Disponível em: <https://observador.pt/2022/07/06/apenas-42-de-angolanos-tem-acesso-a-eletricidade-tres-provincias-ficam-pelos-10/>. Acesso em: 19 de maio 2023.

REIS, L. B. dos; SANTOS, E. C. *Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais*. [S.l.]: Editora Manole, 2006.

REPUBLICA, D. da. *Angola Forex*. 2020. Disponível em: <https://angolaforex.com/2020/02/11/diario-da-republica-i-a-serie-n-o-14-de-6-de-fevereiro-de-2020-2/>. Acesso em: 24 de fevereiro 2021.

REZENDE, S. M. *Materiais e dispositivos eletrônicos*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2004.

ROQUE, L. G. S. *Projeto de investimento em energias renováveis em Angola: estudo de viabilidade financeira*. Tese (Doutorado), 2021.

SCHMITT, A. *MUNICÍPIOS DE ANGOLA: CENSO 2014 E ESTIMATIVA 2018*. 2018. Disponível em: <http://aurelioschmitt.blogspot.com/2018/02/municipios-de-angola-censo-2014-e.html>. Acesso em: 22 de fevereiro 2021.

SILVA, I. B. da et al. Materiais aplicados à geração de energia solar em edificações. In: *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018*. [S.l.: s.n.], 2018.

SILVA, N. *Levar eletricidade a toda Angola*. 2020. Disponível em: <https://pt.euronews.com/2021/02/24/levar-eletricidade-a-toda-angola>. Acesso em: 24 de fevereiro 2021.

SOUZA, R. D. Os sistemas de energia solar fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares. *BlueSol Energia Solar*. Recuperado de <https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>, 2016.

VIEIRA, T. *Soluções técnicas e económicas para a produção de energia elétrica para o abastecimento de centralidade em Angola*. Tese (Doutorado) — Instituto Politecnico do Porto (Portugal), 2016.

YOUNG, H.; IV, R. F. *Física IV: Ótica e física moderna. v. 4.* [S.l.]: Rio de Janeiro: LTC, 2009.

ZILLES, R. et al. *Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.* [S.l.]: Oficina de textos, 2016.