



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS

STÉNIO DO ROSÁRIO LOPES

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA
DE CABO VERDE: POTENCIAIS IMPACTOS, DESAFIOS E MOTIVAÇÕES**

REDENÇÃO-CE
Julho de 2022

STÉNIO DO ROSÁRIO LOPES

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA
DE CABO VERDE: POTENCIAIS IMPACTOS, DESAFIOS E MOTIVAÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Orientador: Prof(a). Dra. Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino.

**REDENÇÃO-CE
2022**

STÉNIO DO ROSÁRIO LOPES

**ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA
DE CABO VERDE: POTENCIAIS IMPACTOS, DESAFIOS E MOTIVAÇÕES**

Monografia julgada e aprovada para obtenção do diploma de graduação em Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Data: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof(a). Dra. Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr.
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dra.
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

*À Deus,
E a minha mãe Maria do Céu.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, não só pela oportunidade de estar vivo e com saúde, mas também pelas dificuldades, barreiras e desafios que foram colocadas a mim como forma de crescimento para que eu pudesse conseguir minha formação.

Agradeço também de um modo especial a minha mãe Maria do Céu que sempre esteve do meu lado me apoiando e sempre acreditando em mim me ajudando e se sacrificando por mim durante esses anos de formação.

A minha orientadora Prof. Dra. Ranoyca Nayana Alencar Leão e Silva Aquino por seu tempo, disponibilidade e confiança.

A minha Tia Arlinda, que sempre me apoiou, acreditou e me incentivou.

Aos meus irmãos Dani, Bruno, Eri, Dibel, Wilson, Leila, Júnior Roberto e Wesley pelo apoio e conversa nos momentos difíceis.

Ao meu companheiro de batalha e praticamente irmão que eu fiz ao longo da jornada Hílquias S. E. Chiquete.

E aos meus amigos Roberto Newton, Pedro Borge, Jorge Bandeira, Jorginho Bandeira, Henrique, Osmael, BK, Zacarias Filho, Guilherme, Claudino, Alex, Elber, Giza, Arícia, Elízia, Francisca Vitória, Rangel, meu primo Sandro e a todos que não coloquei aqui, mas que de uma forma ou de outra estiveram envolvidos, meu muito obrigado.

*“Nha universo ê feit de sonho, e se Deus t ma
mi, cada um des t torna realidade a medida
kun t ba t vive de acord que se vontade”*

(Stênio Lopes)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral analisar o setor elétrico de Cabo Verde tendo em vista a geração distribuída fotovoltaica, identificando potenciais fragilidades no setor que reforce sua adoção, bem como as principais barreiras relacionadas a sua difusão, de forma a potencializar seu desenvolvimento dentro do país. Para atingir esse objetivo recorreu-se a revisão da bibliografia disponível. Com isso, primeiramente contextualizou-se o estado atual do uso da energia mundial, seguido dos conceitos gerais que embasassem o tema com foco na energia fotovoltaica. Analisou-se o setor elétrico de Cabo Verde onde foi identificado o contexto atual da situação energética do país, assim como também algumas fragilidades no setor que colocasse em risco a prestação de um serviço de qualidade e que possibilitasse a aderência de novas fontes renováveis de energia como a fotovoltaica. Foi identificado o potencial de energia solar no país bem como a capacidade instalada fotovoltaica, suas políticas e incentivos, e identificada também as barreiras com relação a sua difusão no país. Com isso, observou-se que Cabo Verde possui um setor elétrico majoritariamente de origem fóssil e importa 100% de seus insumos energéticos para a produção de eletricidade. Observou-se também que Cabo Verde já possui alguma capacidade instalada de energia fotovoltaica e tem ainda grande potencial de exploração. Porém, para isso algumas barreiras econômicas, institucional, aceitação pública entre outras devem ser superadas.

Palavras-chave: Cabo Verde. Energia fotovoltaica. Setor Elétrico. Energias renováveis.

ABSTRACT

The general objective of this work was to analyze the electricity sector of Cape Verde in view of the distributed photovoltaic generation, identifying potential weaknesses in the sector that reinforces its adoption, as well as the main barriers related to its diffusion, in order to enhance its development within the country. To achieve this goal, a review of the available bibliography was used. With this, the world current state of energy was first contextualized, followed by the general concepts that underpinned the theme with a focus on photovoltaic energy. The electricity sector of Cape Verde was analyzed, where the current context of the country's energy situation was identified, as well as some weaknesses in the sector that put at risk the provision of a quality service and that would allow the adherence of new renewable energy sources such as photovoltaic. The potential of solar energy in the country was identified as well as photovoltaic installed capacity, its policies and incentives, and also identified the barriers related to its diffusion in the country. Thus, it was observed that Cape Verde has an electricity sector mostly of fossil origin and imports 100% of its energy sources for electricity production. It was also observed that Cape Verde already has some installed photovoltaic capacity and still has great exploration potential, but for this some economic, institutional barriers, public acceptance among others must be overcome.

Keywords: Cape Verde. Photovoltaic energy. Electric Sector. Renewable energies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Arquipélago de Cabo Verde	18
Figura 1.2- Taxa de crescimento anual do PIB.....	19
Figura 3.1- Extrato da patente da primeira célula solar, registrada em março de 1954	26
Figura 3.2- Estrutura física de uma junção PN de uma célula fotovoltaica.....	27
Figura 3.3- Curva V-I característica para um módulo fotovoltaico comercial.....	30
Figura 3.4 - Variação da potência em relação com: a. Radiação incidente; b. Temperatura do módulo.....	31
Figura 3.5- Evolução da eficiência de conversão das células fotovoltaicas	32
Figura 3.6 - Principais tecnologias fotovoltaicas no mercado	33
Figura 3.7- Diagrama para as principais tecnologias de células fotovoltaicas existentes atualmente	33
Figura 3.8 - Evolução acumulada da capacidade instalada da energia fotovoltaica no mundo.....	34
Figura 3.9- Top 10 países líderes em capacidade instalada fotovoltaica	35
Figura 3.10- Participação por fontes de energia renováveis em termos de capacidade instalada no mundo.....	35
Figura 3.11- Custos dos painéis fotovoltaicos por kwh de energia produzida entre os principais países produtores de energia elétrica através da energia fotovoltaica	36
Figura 4.1 - Radiação global das ilhas de Cabo Verde com exceção da ilha desabitada. (Santa Luzia)	43
Figura 4.2 - Parque produtivo da ELECTRA SA por fontes de energia e sua distribuição por ilhas	46
Figura 4.3 - Repartição da energia transferida para a rede elétrica em 2020 por fonte	47
Figura 4.4 - Evolução da Energia produzida versus disponível (MWh)	47
Figura 4.5 - Perdas de eletricidade no setor elétrico de Cabo Verde entre 2016 a 2020	52
Figura 4.6 - Número de horas de radiação direta nas ilhas estudadas em Cabo Verde	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Tarifas de energia em vigor em Cabo verde em outubro de 2021	49
Tabela 4.2 - Pontas por ilhas	50
Tabela 4.3 - Black-Outs	51
Tabela 4.4 - Indicadores de produção de eletricidade	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AEB	Águas e Energia de Boa Vista
AFC	África Finance Corporation
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
APP	Águas de Ponta Preta
ARE	Agência de Regulação Económica
ARME	Agência Reguladora Multissetorial da Economia
CERMI	Centro de Energias Renováveis e Manutenção Industrial
d.C	depois de Cristo
DNICE	Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia
ELECTRA	Companhia de Energia Elétrica de Cabo Verde
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GEE	Gases de Efeito Estufa
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
I_M	Corrente no Ponto de Máxima Potencia
INE	Instituto Nacional de Estatística
IRENA	Internacional Renewable Energy Agency
I_{sc}	Corrente de curto-circuito
ME	Matriz Elétrica
MEE	Ministério da Economia e Emprego
MICE	Ministério de Industria, Comércio e Energia
MMGD	Microgeração e Minigeração Distribuída
PIB	Produto Interno Bruto
PV	Energia Fotovoltaica
RED	Recursos Energéticos Distribuídos
REN	Resolução Normativa
Sec.	Século
SRM	Sistema de Registro de Microprodução
V_M	Tensão no Ponto de Máxima Potencia
V_{oc}	Tensão de circuito aberto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Contextualização	13
1.2	Caracterização da área de estudo.....	17
1.3	Motivações e Justificativa	19
2	OBJETIVOS E METODOLOGIA.....	22
2.1	Objetivo Geral.....	22
2.1.1	Objetivos específicos	22
2.2	Metodologia	22
3	REVISÃO LITERÁRIA	24
3.1	Conceitos e considerações gerais	24
3.2	Energia fotovoltaica	25
3.2.1	Breve história da energia fotovoltaica.....	25
3.2.2	Conceitos Pertinentes – Energia fotovoltaica.....	26
3.2.3	Evolução das tecnologias de aproveitamento fotovoltaicos.....	29
3.2.4	Mercado atual da energia fotovoltaica no Mundo.....	33
3.2.5	Energia fotovoltaica e o meio ambiente	36
3.2.6	Barreiras com relação a utilização da energia fotovoltaica.....	37
3.3	A energia fotovoltaica no setor elétrico	39
4	ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA DE CABO VERDE	42
4.1	Contexto energético de Cabo Verde.....	42
4.1.1	Estruturação do setor energético de Cabo Verde	44
4.1.2	Caracterização do setor elétrico atual	45
4.1.3	Preço da energia.....	48
4.1.4	Principais fragilidades no setor elétrico.....	49
4.2	Energia fotovoltaica na matriz elétrica de Cabo Verde	52
4.2.1	Políticas e incentivos	53
4.2.2	Capacidade instalada e perspectivas futuras	55
4.2.3	Impactos observados na rede	56
4.2.4	Barreiras observadas quanto a sua difusão	57
4.3	Viabilidade de adoção.....	58
5	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Falar das personagens que contribuíram para o progresso e desenvolvimento das sociedades a qual se vive hoje em dia, a energia com certeza tem que ser vista como a principal. A partir do momento que inconscientemente o homem como um elemento potencialmente energético através do seu esforço, foi capaz de realizar trabalho, se deu início a uma grande revolução que mais tarde levaria ao estilo de vida a qual se vive hoje na sociedade moderna.

Embora o conceito de energia esteja nos alicerces da física, química e biologia, devido a sua universalidade, aos poucos a mesma foi permeabilizando grande parte das atividades humanas tais como calefação, transporte, agricultura, indústria, construção dentre outras (JEKLIN, 2016). Hoje em dia uma cidade sem energia é inimaginável já que a qualidade de vida está diretamente relacionada ao consumo deste insumo. A energia é necessária para atender as demandas básicas do ser humano moderno: iluminação, aquecimento/ventilação, energia para cocção, refrigeração, força motriz etc. (JANNUZZI; SWISHER; REDLINGER, 2018, p. 12).

Ao longo dos séculos, diversas fontes de energia foram exploradas e utilizadas pelo ser humano como meio de desenvolvimento. Os povos primitivos, por exemplo, estavam inseridos em sistemas energéticos produzidos e controlados a base da energia humana, posteriormente incrementada pela energia animal, de animais domesticados através do esforço e trabalho familiar (JEKLIN, 2016).

Em algum momento entre 1760 a 1840 d.C., com a revolução industrial, o carvão mineral emergiu como uma nova fonte de energia, o que deu início a um novo capítulo na história da humanidade. Buscando a evolução dos recursos energéticos naturais, observa-se que o carvão mineral foi a grande fonte de energia da Primeira Revolução Industrial e foi o primeiro combustível utilizado em alta escala (SILVA, 2018).

Já com o passar dos anos em meados de 1850, se deu início a uma segunda revolução industrial que ficou marcada pela substituição das máquinas que até então eram a vapor, para máquinas movidas a petróleo popularmente conhecido por “ouro negro”. Segundo Lopes, Garcia e Assumpção (2020) foi na segunda revolução que o vapor até então fonte de energia foi substituído pelo petróleo e pela

eletricidade. O petróleo tem sido a fonte energética mais utilizada pelo ser humano até os dias atuais.

No entanto, como já se sabe, para além dos enormes benefícios que o petróleo trouxe para a humanidade, o seu uso assim como dos demais combustíveis fósseis, desencadearam uma série de “efeitos colaterais” no planeta que hoje acarreta em preocupações relacionados a aquecimento global, alterações climáticas, gases de efeito de estufa (GEE), entre outras preocupações quando levado em conta que o petróleo não é só uma fonte energética, mas também um importante recurso estratégico que para além de possuir sua própria geopolítica vem causando incontáveis guerras ao longo da história.

Porém, uma das temáticas que mais se tem discutido no sec. XXI, se baseia em como fazer o uso eficiente dessa fonte energética (Petróleo), bem como também substituí-la por outras fontes que sejam menos “nocivas” ao planeta e aos seres vivos que vivem nela, já que ele é uma fonte de energia não renovável, ou seja, a sua taxa de utilização é superior à de renovação, e é extremamente poluente, responsável pela emissão dos principais GEE. Deste modo, para além de mitigar os problemas relacionados à segurança energética resultante da crescente demanda por energia, assim como mencionado por Rifkin (2012) em seu livro “A Terceira Revolução Industrial”, o mundo transitaria para uma era pós-carbono, lembrando que o carbono é visto como o principal vilão da era moderna.

Jannuzzi, Swisher e Redlinger (2018, p. 12) apontam que a produção e o uso de energia são algumas das atividades de maior impacto no meio ambiente, seja o mesmo no âmbito local ou global.

Já Silva (2018) aponta que o grande desafio do século XXI é inserir a questão ambiental no centro das políticas públicas, seja pelos danos causados ao meio ambiente por algumas das fontes energéticas atuais, seja pelo aumento de emissões de GEE.

Independentemente das discussões em torno desta temática, os “efeitos colaterais” gerados pelo uso dos combustíveis fósseis em especial o petróleo, fez com que finalmente todos concordassem com a importância que novas fontes de energia têm em detrimento das fontes convencionais, para que se possa dar continuidade ao desenvolvimento e bem-estar das sociedades humanas de maneira sustentável, ou seja, de forma que haja uma relação harmônica entre o meio ambiente e as atividades humanas. Exemplo disso é o acordo de Paris resultante da Conferência das partes

realizada pelas Nações Unidas para as mudanças climáticas em 2015 em Paris, capital da França.

Sendo assim, como a produção e exploração da energia elétrica, tem sido uma das atividades humanas que mais tem feito uso do petróleo como fonte energética, então este vem sendo apontado como um importante meio para redução da emissão do carbono na atmosfera. Para isso fontes de energia, como as chamadas fontes renováveis de energia, têm sido utilizadas e são vistas como alternativa as fontes convencionais na produção de eletricidade. São consideradas limpas e ao mesmo tempo menos agressivas ao meio ambiente. Essas fontes, são conhecidas mundialmente por fontes de energias renováveis e são oriundas do sol, da água e do vento. Investir em tecnologias que exploram essas fontes de energia é o que mais se tem feito nesses últimos anos, a fim de se observar mudanças de paradigmas.

Segundo Islam (2013), Bhandari e Stadler (2009) conforme citado por Santos (2018):

“As tecnologias para produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis tem recebido maior atenção nos últimos anos, devido à crescente demanda de energia elétrica, preocupações sobre segurança energética, preocupação ambiental, aumento do preço dos combustíveis fósseis, preocupação com as emissões dos gases que causam o efeito estufa e mudanças climáticas globais”.

Entretanto, muitas dessas tecnologias utilizadas para produção e exploração de energia elétrica através das fontes renováveis de energia, se enquadram, também, no que se conhece por Recursos Energéticos Distribuídos (RED). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética brasileira (EPE- Empresa de Pesquisa Energética) na sua nota de discussão de julho de 2018:

Recursos Energéticos Distribuídos (RED, ou Distributed Energy Resources – DER em inglês) são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (behind-the-meter).

Ainda para Moreira (2017):

Os recursos energéticos distribuídos podem representar diferentes tipos de tecnologia, incluindo dispositivos de microgeração, de carga flexível e armazenamento de energia. Muitos tipos de tecnologia de micro geradores são projetados para utilizar fontes de energia renováveis a fim de gerar

eletricidade. Entre elas, destacam-se as unidades de geração distribuída com base eólica, fotovoltaica e biomassa.

Enfim, as fontes de energias renováveis são comumente exploradas por meio dos RED e contemplam as unidades de Geração Distribuída (GD), destacando as supracitadas (eólica, fotovoltaica e biomassa). A GD está ligada a ideias de geração de energia elétrica em pequena escala, possuindo algumas características como a de estar localizada próximo do consumidor, flexibilidade de instalação, intermitência das fontes primárias utilizada na geração, entre outras. Motores alternativos, turbinas a gás, microturbinas, células combustíveis são exemplos de tecnologias da GD, porém as que tem como fonte de energia, as fontes renováveis como a fotovoltaica e a eólica, são as mais atrativas dentro do cenário atual da descarbonização.

A GD com base em energia fotovoltaica (PV) por exemplo, é o que mais tem crescido atualmente entre os setores elétricos mundo a fora. Segundo a base de dados da Agencia Internacional de Energias Renováveis (IRENA – Internacional Renewable Energy Agency) a energia solar fotovoltaica atingiu em 2020 cerca de 709,7 GW de capacidade instalada no mundo inteiro representando cerca de 24,3% da capacidade total instalada em energias renováveis (IRENA, 2022), graças a seus preços que tem se tornado cada vez mais competitivos, resultante de estudos progressivos em favor dos mesmos, prometendo ser assim alternativa no setor elétrico no quesito de geração.

Dentre os países com maior capacidade instalada fotovoltaica, destacam-se a China, os Estados Unidos, o Japão, a Alemanha e a Índia. A energia fotovoltaica tem sido e pode muito bem ser visto como uma opção no processo de descarbonização e na diversificação da matriz elétrica (ME) de países de economias emergentes como é o caso de Cabo Verde.

Porém, há ainda diversas barreiras afetando o processo de difusão da GD, nomeadamente a fotovoltaica, umas relacionado aos custos que embora em queda progressiva, afeta seu acesso, e outras que segundo Radzi (2013), conforme citado por Santos, estão relacionados a barreiras institucionais, aceitação pública, barreiras econômicas e barreiras técnicas.

No entanto, a energia fotovoltaica apresenta benefícios que vão além da questão ambiental. Segundo Castro e Dantas (2018) redução da necessidade de investimentos na rede, menores dispêndios com a aquisição de combustíveis e redução das perdas técnicas também são outros benefícios. Desta forma, essa

tecnologia se mostra bastante atrativa para países como Cabo Verde com tais problemas. Entretanto, há que levar em conta que, a participação da energia fotovoltaica em setores elétricos apresenta potencial disruptivo capaz de o transformar profundamente, tendo em conta a transição de um modelo centralizado para um modelo mais distribuído (EPE, 2018). Essa situação gera complexidades ao sistema elétrico devido a alteração do fluxo de energia já que o consumidor também passa a injetar energia na rede o que gera fluxos bidirecionais de energia.

1.2 Caracterização da área de estudo

A área que se pretende analisar, é o estado de Cabo Verde, um país com cerca de 569.337 habitantes localizada na região central do oceano atlântico, a cerca de 640km da costa ocidental Africana.

Devido a sua natureza insular, Cabo Verde é um país e um arquipélago formado por dez ilhas, entre eles nove habitadas e dezesseis ilhéus desabitadas, próximas umas das outras. Estas ilhas estão dispostas numa superfície marítima cobrindo uma área de cerca de 4033 Km². As que ficam ao norte são chamadas ilhas de Barlavento já que estão do lado que sopra o vento, ou o lado que recebe o vento, e entre elas estão: as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal e Boavista. Também estão inclusos os ilhéus: Boi, Pássaros, Rabo de Junco, Branco, Raso, Sal rei e do Baluarte (NEVES et al., 2017). Já as ilhas que ficam ao sul, são denominadas de ilhas de Sotavento, já que estão do lado oposto ao vento, e entre elas estão: as ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava. Também estão inclusos no Sotavento os ilhéus Rombo, Secos, Grande, Baixo, de Cima, do Rei, Luís Carneiro, Sapado e Santa Maria (NEVES et al., 2017). A ilha desabitada é a ilha de Santa Luzia.

Cabo Verde se encontra entre os paralelos 15 e 17 graus de latitude norte, já que está acima do equador, e as longitudes de 22° 41' e 25° 22' Oeste de Greenwich assim como mostra a figura 1.1 (SABINO, 2016).

O clima é árido ou semiárido uma vez que o país está localizado na região Subsaariana, região que compreende uma faixa de 500 a 700 Km de largura e cerca de 5400 Km de comprimento entre o deserto do Saara ao norte e a savana do Sudão ao Sul. A temperatura ronda os 25 °C em média, porém, pode alcançar valores perto dos 20 °C no período mais frio, que vai de janeiro a abril e valores mais altos em torno de 27 °C, no período mais quente, que vai de agosto a outubro. Ainda segundo Neves

et al (2017), a precipitação média anual não ultrapassa 300 mm para as zonas situadas a menos de 400 m de altitude.

Figura 1.1- Arquipélago de Cabo Verde



Fonte: Disponível em http://legacy.lib.utexas.edu/maps/africa/cape_verde_physio-2004.jpg

Em termos econômicos, Cabo Verde tem crescido desde 1991 em grande parte graças ao rápido desenvolvimento do turismo e desenvolvimento sociais consideráveis, resultantes da implementação de fortes políticas sociais. No entanto, ainda Cabo Verde continua fortemente dependente do exterior já que tanto bens de primeira necessidade, como equipamentos e recursos financeiros são garantidos por meio de outros países.

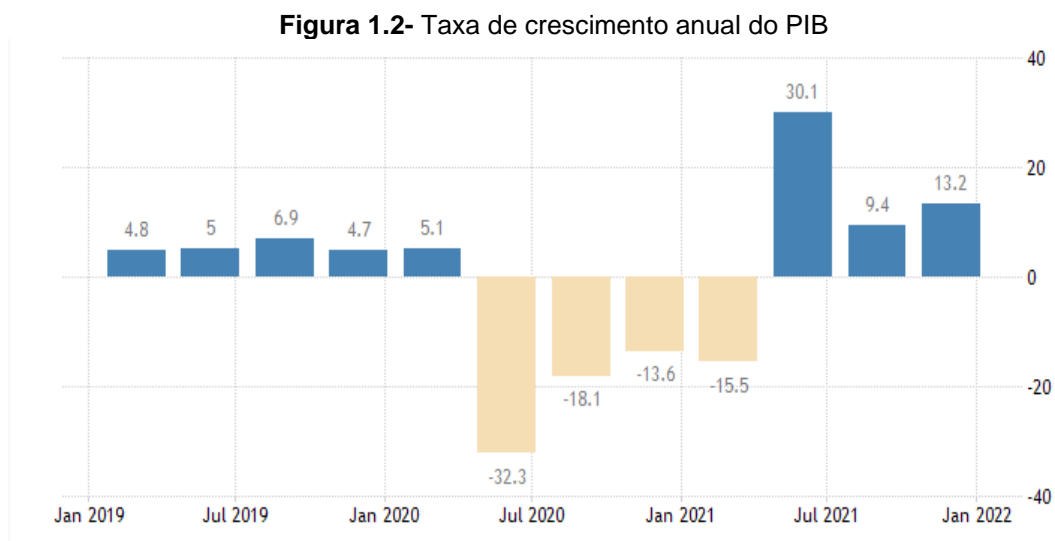
Cabo Verde conta com desafios adicionais relacionados a transporte e comunicação interna que se fazem bastante importantes por ser um país insular, sem contar também que somente 10% do território nacional é considerado como solo cultivável e possui recursos minerais limitados.

A economia é majoritariamente sustentada pelo setor do turismo que representa cerca de 25% do PIB e conduz cerca de 40% da atividade econômica global (Banco Mundial, 2022). Ainda segundo o Banco Mundial, entre os anos de 2015 e 2019 Cabo Verde viu um declínio da pobreza de 35% a 28%, o que corresponde a cerca de 23.000 pessoas que saíram da pobreza. Comparado com os demais países

da África Subsaariana, Cabo Verde é visto como um dos campeões na redução da pobreza. O Crescimento nesse período foi de 4,7%, entretanto, com a crise econômica global resultante da COVID-19 a economia contraiu 14,8% em 2020 (Banco Mundial, 2022).

No entanto, em 2021, de acordo com o relatório das Contas Nacionais Trimestrais do INE (Instituto Nacional de Estatística), o PIB de Cabo Verde cresceu 13,2% no quarto trimestre de 2021, face ao mesmo período de 2020, variação que “resultou de um aumento no consumo final e nas exportações”, com isso a economia cabo verdiana se recuperou em 7%. Com a retomada da procura turística, o Governo prevê um crescimento econômico em cerca de 6% em 2022.

Um gráfico representando a taxa de crescimento anual do PIB de Cabo Verde entre janeiro de 2019 e janeiro de 2022 é mostrado na figura 1.2.



Fonte: Trading Economics (2022)

Em termos de índice de desenvolvimento humano (IDH), Cabo verde ocupava em 2019 a 126ª posição tendo aumentado 0,014 com relação ao ano anterior o que o configura na lista de países de desenvolvimento humano médio.

1.3 Motivações e Justificativa

Países como Cabo Verde, cujo índice de desenvolvimento humano se encontra ainda na posição intermediária, se observa uma forte relação entre o consumo de energia e desenvolvimento econômico, e como tal, um setor elétrico capaz de suprir a demanda do país com a qualidade necessária dentro dos padrões

ambientais exigidos, tem que ser um esforço contínuo por parte dos órgãos competentes para garantir a continuidade do crescimento e desenvolvimento do país.

De fato, esforços têm sido feito neste sentido, porém, por ser insular, Cabo Verde enfrenta diversos desafios de natureza técnica na sua ME, dada a impossibilidade atual de possuir uma rede interligada que abrange todas as suas ilhas. Para além disso, diante da inexistência de combustíveis fósseis no território nacional e com uma ME à base de petróleo com a geração térmica representando cerca de 83,2% da produção da eletricidade nacional segundo o relatório de contas de 2020 da Electra SA, (órgão responsável pela produção e distribuição de energia elétrica de Cabo Verde), Cabo Verde se vê refém do exterior para garantir seus insumos energéticos.

A volatilidade do preço do petróleo atrelado a demanda crescente por eletricidade, juntamente com as fragilidades econômicas, para além das questões ambientais e técnicas ligadas a produção de eletricidade, investir em energia renovável é mais que uma opção para Cabo Verde. No ano de 2020, segundo esse mesmo relatório, Cabo Verde detinha 14 centrais térmicas, um parque eólico e dois parques fotovoltaicos em operação, sendo que estes dois últimos foram responsáveis por 15,2% e 1,5% do total da produção de eletricidade respetivamente.

No contexto do setor elétrico nacional, um agravante se dá pelas perdas técnicas e não técnicas presentes no sistema, sendo estes da ordem de 26,1% do total da produção em todo o arquipélago. Este valor representa 109,353 GWh de energia de um total de 419,2 GWh produzidos. Por ser um país em desenvolvimento dependente das importações de insumos energéticos, esse valor representa em termos monetário um capital considerável que poderia ser redirecionado para outros setores do país como a educação, por exemplo.

Outras questões de natureza técnica estão ligadas a taxa de disponibilidade que se encontra na ordem dos 76%. A confiabilidade do sistema, bem como a qualidade é marcada por interrupções constantes no fornecimento do serviço. Segundo o relatório de contas da Electra SA de 2020, são 120 apagões registradas nesse ano totalizando cerca de 4560 minutos equivalente a aproximadamente 3,17 dias, porém, esses apagões foram registrados em ilhas diferentes e em quantidades diferentes, o que reduz um pouco a gravidade do problema, mas que ainda assim é bastante relevante dentro do contexto social e econômico que estes representam.

Sendo a geração de eletricidade majoritariamente de origem fóssil é natural que as tarifas praticadas no país sejam bastante caras, o que dificulta seu acesso a população, principalmente nas localidades mais remotas.

Sendo assim, a GD fotovoltaica, assim como tem sido para muitos países, pode também representar uma solução bastante atrativa para Cabo Verde, diante de todos os benefícios que este poderia representar para o seu setor elétrico tendo em conta a disponibilidade de radiação solar no país e levando em conta o crescimento dessa tecnologia no panorama mundial. Para se ter uma ideia, a capacidade instalada fotovoltaica cresceu 34,7% a.a. no decênio de 2010 a 2019 em todo mundo. (BANCO DO NORDESTE, 2021)

Nesse contexto, analisar a GD fotovoltaica no setor elétrico de Cabo Verde, suas regulamentações, políticas, incentivos, barreiras, potenciais impactos e perspectivas futuras é que se justifica este trabalho, esperando que este venha contribuir para potencializar seu desenvolvimento no País, bem como também ajudar em trabalhos futuros de forma a apoiar no crescimento econômico de Cabo Verde.

2 OBJETIVOS E METODOLOGIA

Os objetivos definidos para este trabalho se encontram divididos em dois grupos: Objetivo Geral, que é o objetivo central pela qual se busca através do desenvolvimento desse trabalho, e objetivos específicos que são pequenos objetivos que juntos quando atingidos levarão ao cumprimento do objetivo geral.

2.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral desse trabalho, se pretende analisar o setor elétrico de Cabo Verde com foco na Geração Distribuída Fotovoltaica, identificando potenciais fragilidades que o setor ainda apresenta, de forma que a adoção da energia fotovoltaica se torne cada vez mais constante como alternativa, e também analisar as principais barreiras relacionados a difusão do mesmo dentro do país, de forma a contribuir para potencializar seu desenvolvimento.

2.1.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- a) Caracterizar o mercado atual da Energia Fotovoltaica Mundial e Nacional;
- b) Caracterizar o setor elétrico de Cabo Verde entendendo o porquê da sua estruturação da forma como se encontra;
- c) Identificar fragilidades no setor que possibilite a aderência de novas fontes em especial a fotovoltaica;
- d) Analisar o potencial da energia fotovoltaica em Cabo Verde;
- e) Identificar as tarifas praticadas, assim como também as políticas e incentivos relacionados a energia fotovoltaica no país;
- f) Conclusões sobre a viabilidade de aderência da tecnologia fotovoltaica na matriz elétrica de Cabo Verde.

2.2 Metodologia

Para atingir o objetivo geral deste trabalho, será feita uma revisão da literatura atual disponível que terá como base livros, artigos, monografias, dissertações, teses e relatórios de instituições pertinentes bem como sites eletrônicos servindo assim de apoio a compreensão do setor elétrico de Cabo Verde e a Geração

Distribuída Fotovoltaica de forma a conseguir analisar e entender como se encontra essa fonte de energia na matriz elétrica de Cabo Verde.

Para isso este trabalho será organizado da seguinte forma:

Capítulo 1, que como foi visto, foi feito a introdução deste trabalho apresentando uma contextualização entendendo o porquê do paradigma atual da descarbonização dos setores elétricos juntamente com um breve panorama da energia fotovoltaica dentro desse contexto.

Capítulo 2, onde está sendo apresentado os objetivos e a metodologia utilizada na realização desse trabalho.

Capítulo 3, que será feita a revisão da literatura pertinente de forma a embasar o trabalho. Serão revisados conceitos pertinentes a energia fotovoltaica, barreiras com relação a sua difusão, a compreensão da sua participação nos setores elétricos, bem como a sua compreensão no mercado mundial.

Capítulo 4, onde será feita a análise da geração distribuída fotovoltaica na matriz elétrica de cabo verde, começando por entender o seu setor elétrico, sua estrutura, a participação da energia fotovoltaica no mesmo bem como perspectivas futuras.

Por fim o capítulo 5, onde será escrito a conclusão.

3 REVISÃO LITERÁRIA

3.1 Conceitos e considerações gerais

Como se sabe, o setor elétrico é caracterizado historicamente por sua organização através de grandes centrais geradoras, acompanhadas por sistemas de transmissão e distribuição que percorrem grandes distancias até aos centros de consumo. Com o aumento da demanda se daria também um aumento na produção, desde que esteja dentro dos limites de capacidade instalada de um sistema. Fora isso, novas centrais teriam que ser construídas para suprir a demanda. Dificuldades nessa forma de planejamento aliado a novas tecnologias e a questões ambientais fomentaram o aparecimento da GD.

Como discutido anteriormente, a GD está ligada a ideias de geração de energia elétrica em pequena escala, possuindo algumas características como a de estar localizada próximo do consumidor, flexibilidade de instalação, intermitência das fontes primarias utilizada na geração, entre outras.

No Brasil, por exemplo, a GD é regulamentada através da Resolução Normativa – REN nº 482/2012, mais tarde atualizada pelas REN nº 687/2015, REN 786/2017 e em janeiro de 2022 foi instituído o novo Marco Regulatório pela LEI 14.300/22, com o intuito de potencializar e democratizar a GD ao estabelecer normas para o uso do micro e minigeração distribuída (MMGD). Segundo o Caderno temático da ANEEL de 2016,

“A micro e minigeração distribuída consiste na produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.”

Na microgeração distribuída, a potência instalada é menor ou igual a 75 kW, enquanto na minigeração distribuída a potência instalada é superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW, para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes (Cadernos temáticos ANEEL, 2016).

Para os fins de estudo desse trabalho, o mesmo se concentrará na GD fotovoltaica para eventuais discussões.

3.2 Energia fotovoltaica

3.2.1 Breve história da energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (VALLÊRA; BRITO, 2006).

Em 1877, W.G. Adams e R.E. Day construíram a primeira célula solar baseada em dois eléctrodos de selénio que produziam uma corrente eléctrica quando expostos à radiação (BRITO; SERRA, 2005) estas células eram extremamente ineficientes.

De acordo com Vallêra e Brito (2006), houve um avanço diante da descoberta do efeito fotoelétrico pelo Einstein e também face aos avanços da ciência no início do sec. XX relacionado a teoria de bandas, mecânica quântica entre outras.

Em 1954 Calvin Fuller, um químico dos Bell Laboratories, desenvolveu o processo de dopagem do silício em barra e seu colega Gerald Pearson mergulhou a barra num banho quente de lítio, criando assim a primeira célula solar de silício (DE SOUSA LUIZ; DA SILVA, 2017). Essa célula tinha uma eficiência de 4,5% e chegou a ser patenteada como mostra a figura 3.1.

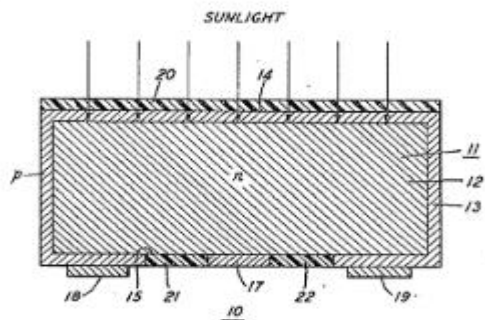
Ao longo dos anos a eficiência das células solares foi aumentando, tendo atingido os 10% em 1959. Na época, o preço das células solares era exorbitante: a primeira célula solar disponível comercialmente custava \$25 e produzia 14mW, ou seja \$1785/W (BRITO; SERRA, 2005). Diante disso, as células só tiveram aplicação em exercícios espaciais, mas concretamente em satélites.

Porém, com a crise de petróleo em 1973 as células ganharam mais atenção por parte dos estudiosos afim de reduzir seus custos de forma a tornar seus preços competitivos com as demais fontes de energia até então utilizadas.

Figura 3.1- Extrato da patente da primeira célula solar, registrada em março de 1954

Feb. 5, 1957 D. M. CHAPIN ET AL 2,780,765
 SOLAR ENERGY CONVERTING APPARATUS
 Filed March 5, 1954

FIG. 1



Fonte: Vallêra e Brito (2006)

Ainda segundo Vallêra e Brito (2006), as décadas de oitenta e noventa foram também marcadas por um maior investimento em programas de financiamento e de demonstração motivados sobretudo pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas devido à queima de combustíveis fósseis.

Porém, rapidamente foi reconhecido, que o principal obstáculo à utilização generalizada de painéis solares para produzir eletricidade residia no custo, pelo que até hoje vem motivando pesquisas e estudos ao redor do mundo de forma a diminuí-los.

3.2.2 Conceitos Pertinentes – Energia fotovoltaica

Denomina-se energia fotovoltaica a energia extraída através da conversão direta da luz solar em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Este processo só é possível graças a empregabilidade de células fotovoltaicas, um dispositivo feito à base de semicondutores normalmente de silício tornando possível converter fótons de luz em energia elétrica.

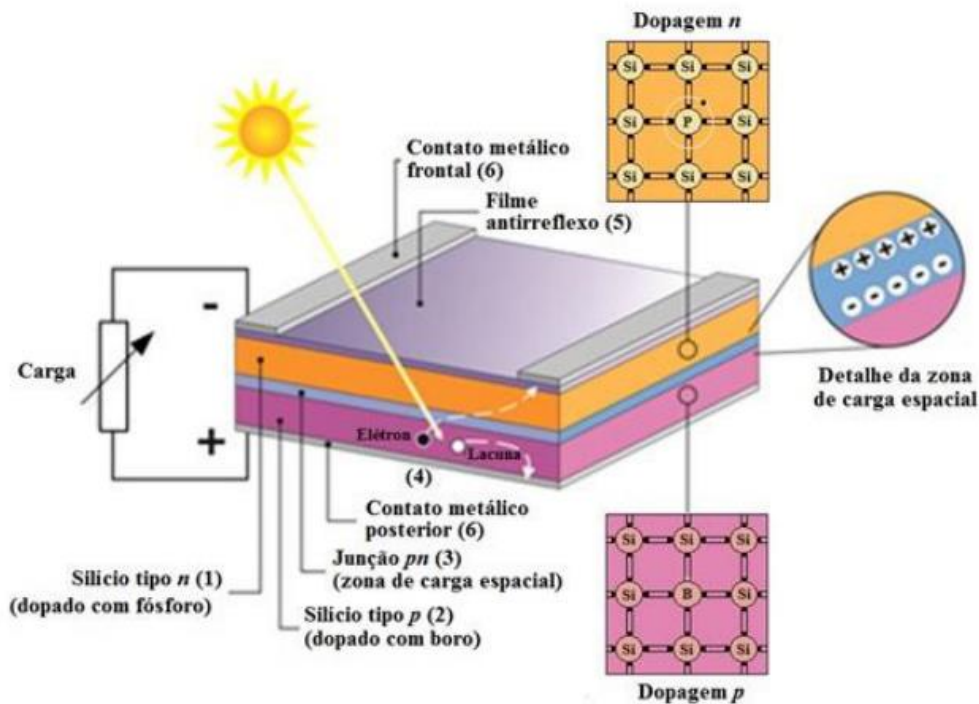
Quando a luz solar incide sobre a célula, fótons de luz arranca os elétrons de valência de seus respectivos átomos deixando lacunas que por sua vez seriam recombinadas. Neste processo a energia dos fótons se dissipam em forma de calor, no entanto, as lacunas e os elétrons agora livres, em vez de se recombinarem o objetivo é fazer com eles se desloquem para o lado oposto da célula fazendo com que apareça uma diferença de potencial possibilitando assim o surgimento de uma

pequena corrente elétrica mínima na célula. Dessa forma, para possibilitar que essa corrente seja expressiva é utilizado um processo de dopagem nas células, que nada mais é do que a adição de impurezas no semicondutor puro de forma a aumentar os portadores livres de carga. O novo material obtido é chamado de semicondutor extrínseco (BERTICELLI et al., 2017)

Quando se faz a dopagem desse material o resultado obtido é um semicondutor do tipo P ou N, consoante as características desejadas. Os materiais semicondutores do tipo N são obtidos com um maior número de elétrons livres enquanto materiais do tipo P com um maior número de cargas positivas ou lacunas, variando de acordo com a impureza introduzida no material semicondutor (BERTICELLI et al., 2017).

Ao fazer a conexão entre os semicondutores tipo P e N eles se tornam eletricamente neutros fazendo aparecer na área de contato entre eles um campo elétrico responsável por equilibrar os elétrons livres fazendo-os mover do material tipo N para o material tipo P. Na Figura 3.3 mostra a estrutura física de uma junção PN de uma célula fotovoltaica.

Figura 3.2- Estrutura física de uma junção PN de uma célula fotovoltaica



Fonte: Obtido do Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014)

Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos são sistemas de energia elétrica que convertem a luz emitida pelo sol em energia elétrica de forma limpa e confiável sem consumo de combustível fóssil, líquido ou gasoso (CORRÊA, 2013)

A energia elétrica é fornecida pelos painéis fotovoltaicos que por sua vez é armazenada em baterias controlada por um supervisor de carga, posteriormente consumida fazendo uso de um circuito inversor a qual é responsável por transformar a corrente contínua proveniente das células em corrente alternada.

De acordo com Corrêa (2013) os sistemas fotovoltaicos são constituídos basicamente por:

- Painel fotovoltaico – Elemento responsável pela conversão da energia solar em energia elétrica;
- Controlador de carga – Dispositivo eletrônico capaz de realizar a adaptação do painel fotovoltaico ao banco de baterias controlando o carregamento;
- Armazenamento – Dispositivo que acumula a energia disponibilizada pelo painel fotovoltaico, que poderia ser uma bateria ou uma célula de combustível também chamada de acumuladores de corrente;
- Inversor – Dispositivo eletrônico capaz de converter corrente contínua em corrente alternada.

A grande Vantagem dos sistemas fotovoltaicos com relação as demais fontes convencionais de energia está relacionada a sua durabilidade, baixo custo de manutenção, custo zero com combustíveis, descentralização da rede elétrica e redução da poluição ambiental, enquanto que como desvantagens tem-se principalmente o custo inicial, potência instantânea devido a sua natureza intermitente, a necessidade de acumuladores, conscientização da população com relação ao seu uso, treinamento de usuários entre outros.

Quanto aos tipos de sistemas fotovoltaicos estes se apresentam de duas formas, de acordo com Veloso et al. (2021), sistemas fotovoltaicos isolados e sistemas fotovoltaicos conectados à rede:

- Sistemas fotovoltaicos isolados ou off-grid – são as que a geração pode ser exclusiva a uma única unidade consumidora, ou

compartilhada entre um pequeno grupo de unidades consumidoras geograficamente próximas;

- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede ou on-grid - dispensam o uso de banco de baterias, pois a produção pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional.

O rendimento de um sistema gerador fotovoltaico depende de diversos fatores. Segundo Corrêa (2013) entre eles estão a radiação solar (localização geográfica, inclinação e orientação), temperatura dos painéis, sombreamento parcial, limpeza dos painéis, resistência dos condutores e descasamento entre painéis.

3.2.3 Evolução das tecnologias de aproveitamento fotovoltaicos

Buscando o aproveitamento da energia solar de forma direta através da energia fotovoltaica foram desenvolvidas diversas tecnologias de aproveitamento e ainda assim estudos continuam a ser desenvolvidas já que ainda existem desafios relacionado a sua coleta, processamento e armazenamento de forma mais eficiente.

Para entender esses tais desafios, é preciso reconhecer que os responsáveis por coletar essa energia são as células fotovoltaicas como visto anteriormente, e uma alta eficiência deles se torna necessária e atrativa para garantir a continuação desse desenvolvimento tecnológico.

De acordo com Chenche, Bandarra e Hernandez (2013), a máxima tensão gerada por uma célula fotovoltaica estava em 2013 na faixa entre 0,6 V e 2,2 V (dependendo do material) com baixos níveis de corrente. Eles ainda apontam que, segundo Bülher (2011) para conseguir valores de tensão e corrente que podem suprir as necessidades energéticas dos aparelhos de uso diário, é preciso arranjar essas células em conexões em série (para aumentar a tensão) e em paralelo (para aumentar a corrente), e estes arranjos são conhecidos como módulos fotovoltaicos.

Então, para trabalhar na eficiência desses módulos tem-se de se lançar mão a seguinte equação:

$$\eta = \frac{P(W)}{A(m^2)} \quad (1)$$

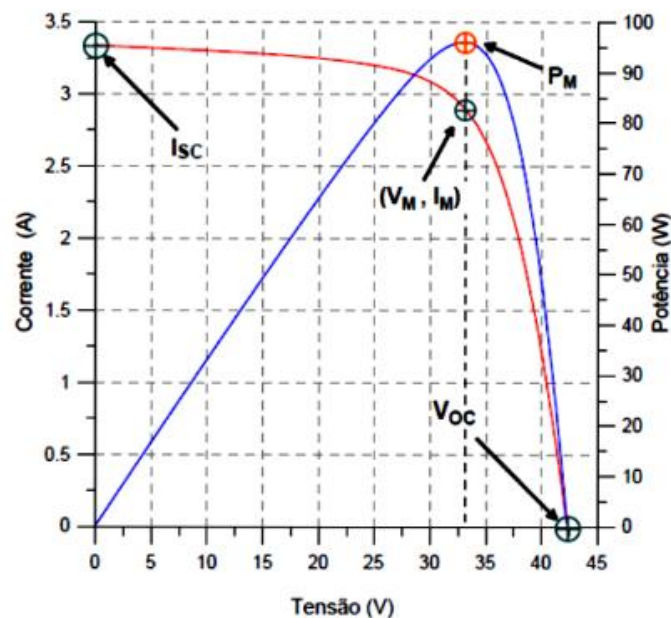
Que nada mais é do que a relação entre a potência elétrica fornecida em Watts e a área ocupada pelo módulo em metros quadrados.

Só que segundo Chenche, Bandarra e Hernandez (2013) um módulo fotovoltaico comercial normalmente fornecia níveis de corrente e tensão com eficiência entre 14% e 20% (dependendo do material) em condições padrões, ou seja, radiação de $1000\text{W}/\text{m}^2$ e temperatura de 25°C . À primeira vista esses não eram valores de eficiência consideradas atrativas.

Então, era necessário entender o comportamento desses módulos, e para isso gráficos de Tensão versus correntes (V-I) são plotadas de acordo com a figura 3.3 sob as condições de radiação e temperatura descritas anteriormente onde se pode ver o comportamento ideal de um módulo fotovoltaico comercial. Para esse caso um módulo de silício cristalino.

Na figura 3.3, se pode observar o ponto de máxima potência P_M que seria onde o modulo opera sob a sua máxima potência, para além do V_{oc} , I_{sc} , V_M , e I_M , que representam a tensão de circuito aberto, a corrente de curto circuito, a tensão e corrente no ponto de potência máxima respectivamente.

Figura 3.3- Curva V-I característica para um módulo fotovoltaico comercial



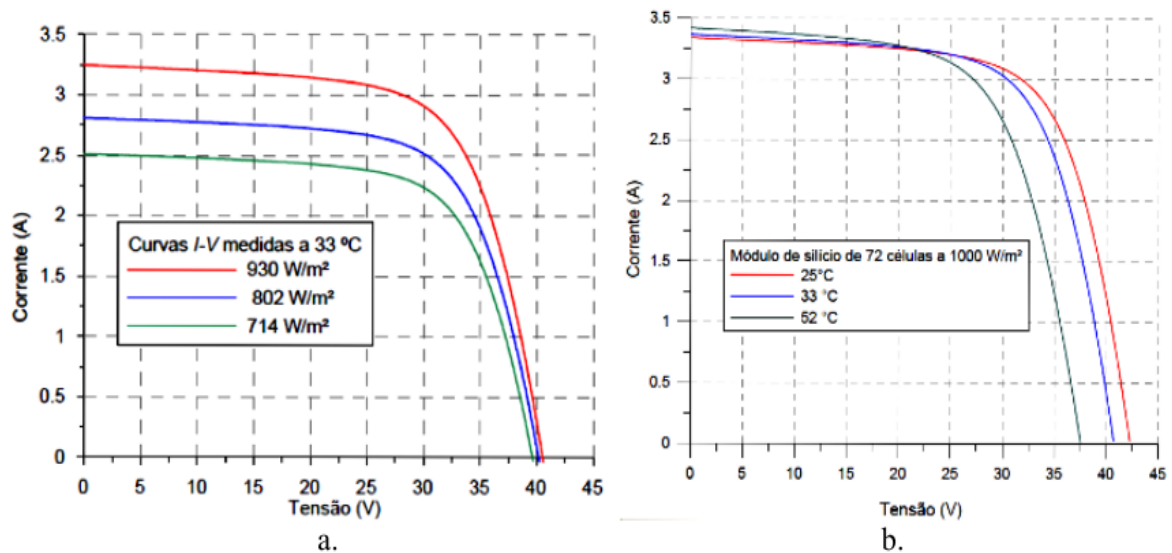
Fonte: (CHENCHE; BANDARRA; HERNANDEZ, 2013)

Como a potência é dada pelo resultado da multiplicação entre os valores da tensão e da corrente, por conseguinte, se torna necessário conhecer o comportamento dessa corrente e dessa tensão com relação à radiação incidente e a

temperatura do módulo. Com isso, se descobre que a relação entre a potência e a radiação é diretamente proporcional, porém, a relação da potência com a temperatura é inversamente proporcional como mostra a figura 3.4, e isso é ruim já que na prática segundo Chenche, Bandarra e Hernandez (2013)

“Só é possível conseguir um aumento da radiação sem acréscimo na temperatura do módulo, quando são feitos testes em ambientes controlados. Já em ensaios em campo, quando a radiação incidente no módulo aumenta também é incrementada a temperatura do módulo. Por este motivo o aumento da eficiência dos módulos fotovoltaicos é um desafio.”

Figura 3.4 - Variação da potência em relação com: a. Radiação incidente; b. Temperatura do módulo



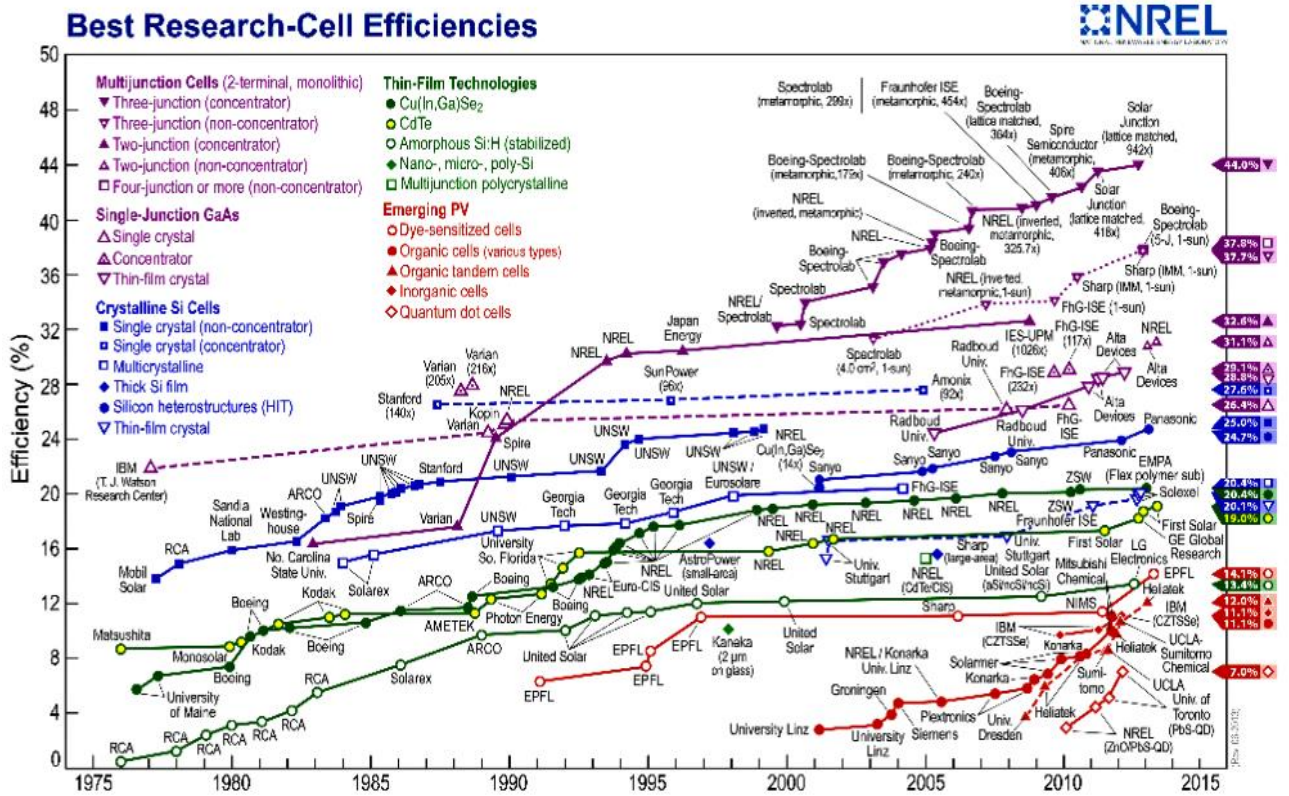
Fonte: (CHENCHE; BANDARRA; HERNANDEZ, 2013)

É nesse sentido que entra a evolução das tecnologias de aproveitamento, quando se nota que nos anos passados segundo os mesmos autores mencionados anteriormente, pesquisadores vinham desenvolvendo um tipo de célula diferente, chamada de célula multijunção. Este tipo de células não dispõe de uma única junção PN, em vez disso, possuem várias junções PN que permitem a captação de radiação solar num espectro de onda maior. Além disto, essas células são feitas de materiais que permitem aumentar a radiação incidente sem que a temperatura apresentasse grandes variações o que proporciona um ganho de eficiência considerável com relação as tecnologias anteriores.

Segundo Chenche, Bandara e Hernandez (2013), as células multijunção, utilizadas em aplicações espaciais, apresentam os maiores valores de eficiência sob alto fator de concentração (> 200X). Essa eficiência estaria na ordem de 40 a 41,6%.

A figura 3.5 mostra a evolução das tecnologias fotovoltaicas até os anos de 2015.

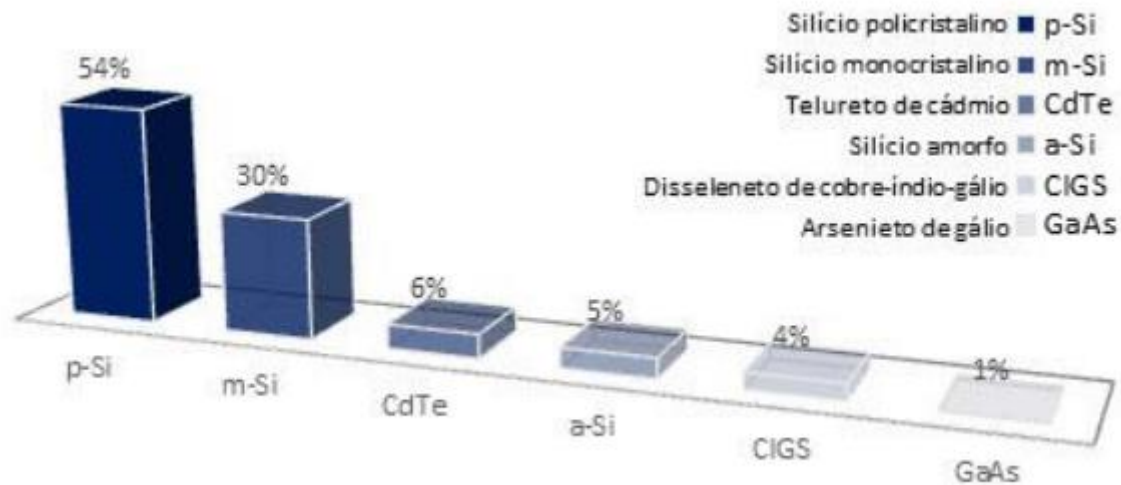
Figura 3.5- Evolução da eficiência de conversão das células fotovoltaicas



Fonte: (CHENCHE; BANDARRA; HERNANDEZ, 2013)

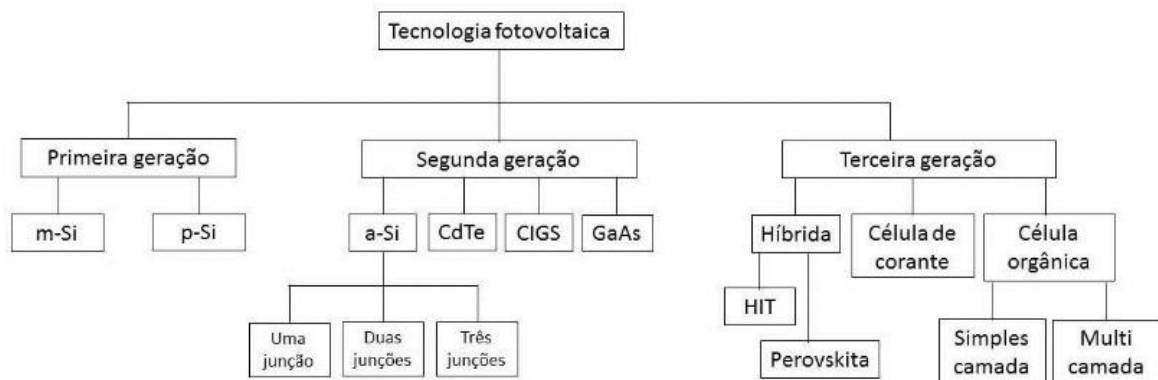
Atualmente existe muitas tecnologias em desenvolvimento sendo que muitas já apresentam boas eficiência quando o assunto se diz respeito a relação preço/eficiência. Segundo Bülher, Dos Santos e Gabe (2019) existem apenas seis tecnologias com representatividade no mercado fotovoltaico mundial hoje. A figura 3.6 mostra uma perspectiva dessas tecnologias, enquanto a figura 3.7 apresenta como estas tecnologias estão divididas.

Figura 3.6 - Principais tecnologias fotovoltaicas no mercado



Fonte: (BÜHLER; DOS SANTOS; GABE, 2019)

Figura 3.7- Diagrama para as principais tecnologias de células fotovoltaicas existentes atualmente



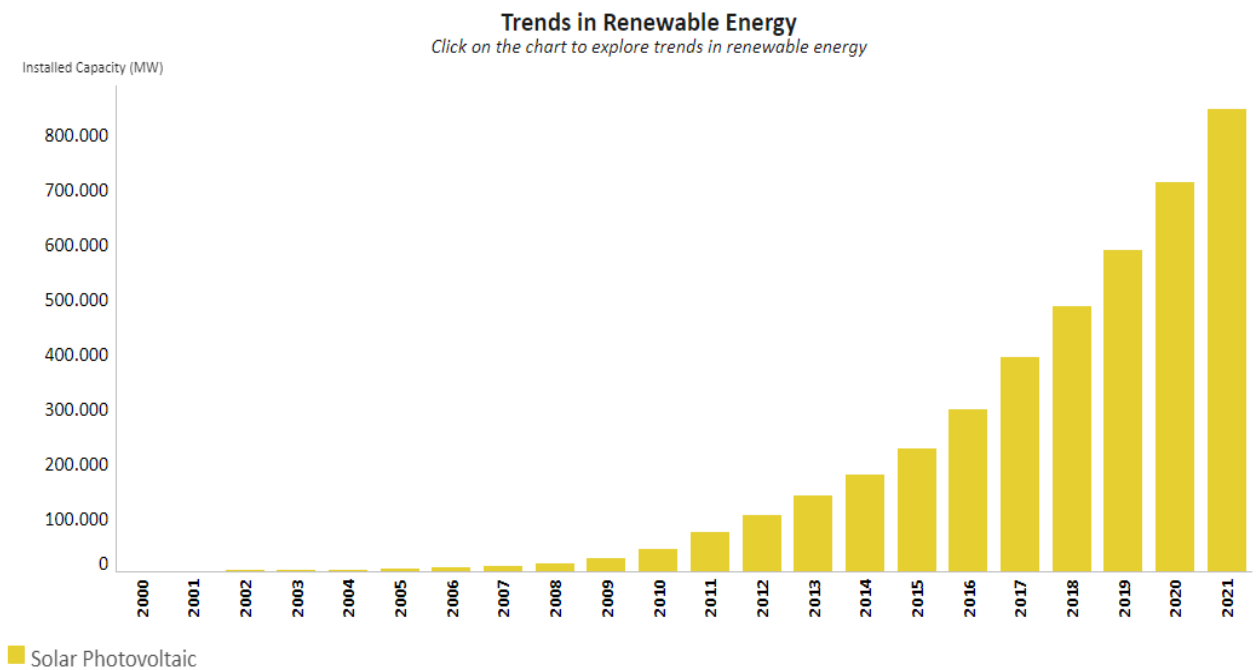
Fonte: (BÜHLER; DOS SANTOS; GABE, 2019)

3.2.4 Mercado atual da energia fotovoltaica no Mundo

A Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA) possui uma base de dados estatísticos, disponível no seu site oficial, onde o usuário pode acompanhar a evolução das energias renováveis no mundo ao longo dos anos inserindo as variáveis de busca conforme o desejo do usuário. Esta página mostra o crescimento das energias renováveis discriminado por fonte, capacidade instalada, ranking de países líderes em produção ou capacidade instalada, custo, capacidade instalada por país, entre outras informações.

Segundo essa base de dados a energia fotovoltaica tanto “on-grid” como “off-grid” mostra um crescimento exponencial nos últimos anos, principalmente entre 2010 a 2021, onde cresceu de 40,338 MW de capacidade instalada para 843,086 MW. Essas informações são apresentadas pelo gráfico da figura 3.8. Nota-se, portanto, que esse tipo de tecnologia tem sido fundamental na diversificação de matrizes elétricas mundo a fora constituindo assim em uma forma consolidada de exploração e geração.

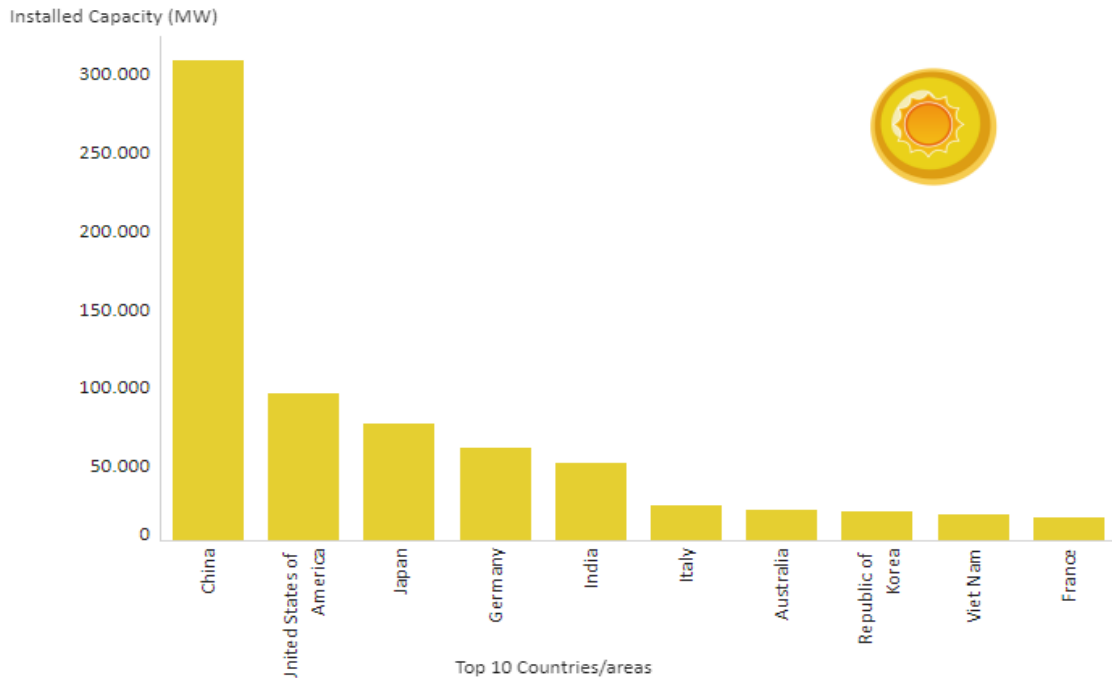
Figura 3.8 - Evolução acumulada da capacidade instalada da energia fotovoltaica no mundo



Fonte: (IRENA, 2022)

Entre os países líderes em capacidade instalada, a China aparece em primeiro lugar, apresentando em 2021 uma capacidade instalada de 306.402,800 MW, com Estados Unidos da América em segundo com valores de 93.713,013 MW, seguido pelo Japão, Alemanha e Índia, como mostra a figura 3.9. Os países que mais desenvolveram a energia solar fotovoltaica contaram, de forma geral, com políticas de incentivo a essa tecnologia, para a fabricação ou importação de equipamentos, para o financiamento e compra de painéis e principalmente com modelos regulatórios de comercialização da energia elétrica gerada, de acordo com Veloso, Teixeira e da Silva Junior (2021).

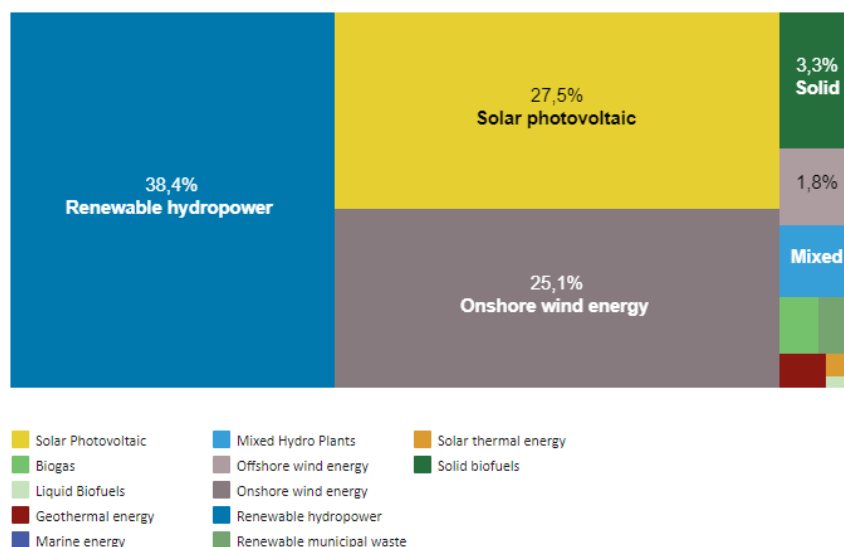
Figura 3.9- Top 10 países líderes em capacidade instalada fotovoltaica



Fonte: (IRENA,2022)

Com isso, em termos de capacidade instalada, a energia fotovoltaica participou em 2021 com uma parcela de 27,5% do total da capacidade instalada a base de energias renováveis conforme a figura 3.10 fazendo com que este seja a segunda modalidade de exploração e produção de eletricidade mais abundante dentre as fontes renováveis no mundo no ano de 2021 atrás apenas da Hidroelétrica.

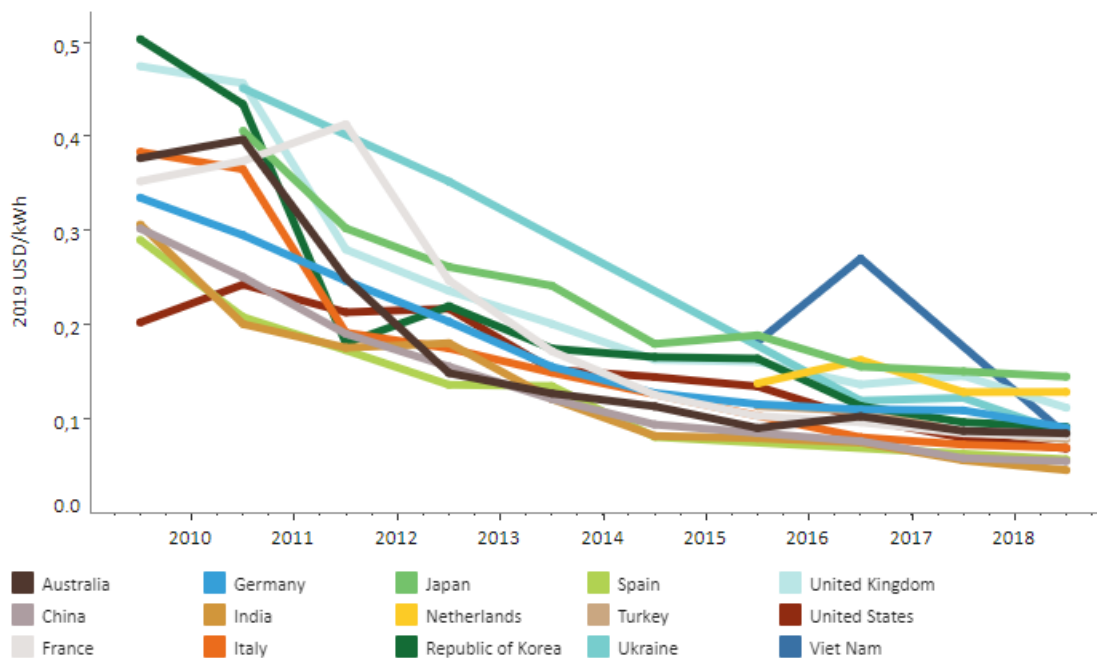
Figura 3.10- Participação por fontes de energia renováveis em termos de capacidade instalada no mundo



Fonte: (IRENA 2022)

Em 2019, a Índia liderava os custos de painéis fotovoltaicos entre os países no mundo em termos de menor preço, de acordo com a base de dados estatísticos da IRENA (figura 3.11). Esses custos foram calculados com base nos custos dos projetos totais instalados e o fator de capacidade de acordo com os custos de energias renováveis do banco de dados da IRENA.

Figura 3.11- Custos dos painéis fotovoltaicos por kwh de energia produzida entre os principais países produtores de energia elétrica através da energia fotovoltaica



Fonte: (IRENA, 2022)

O gráfico mostra que o custo do painel fotovoltaico na Índia seria de 0,0447 USD por cada kWh de energia produzida em 2019, o menor entre os demais países.

3.2.5 Energia fotovoltaica e o meio ambiente

Por converter a luz em eletricidade, o sistema fotovoltaico não emite poluentes na sua fase de operação o que é bastante importante do ponto de vista ambiental.

O impacto ambiental mais significativo do sistema fotovoltaico para geração de energia solar é provocado durante a fabricação de seus materiais e construção, e também relacionado a questões de área de implantação (INATOMI; UDAETA, 2005)

Para Ottinger (1991), segundo Inatomi e Udaeta (2005), o impacto ambiental mais significativo associado com a operação de instalações

descentralizadas de sistemas fotovoltaicos é o perigo associado à instalação, manutenção e remoção de sistemas fotovoltaicos de telhados. Outros possíveis impactos incluem riscos de incêndio e considerações estéticas.

Outros impactos ambientais de acordo com Inatomi e Udaeta (2005) seria:

- Gases poluentes não emitidos na atmosfera, comparando-se a emissão de poluentes por energia gerada com o recurso solar e a gerada pela queima de derivados de petróleo – massa de poluente emitido x kWh;
- Área ocupada x produção de energia (GWh/ha) – aplicável às térmicas solares concentradas e estações centrais fotovoltaicas;
- Riscos de acidentes em manutenções por kWh;
- Riscos de incêndio x produção de energia;
- Ciclo de vida dos componentes dos sistemas;
- Emissão de poluentes no processo de fabricação dos componentes dos sistemas;
- Emissão de poluentes x riscos de acidentes
- Dentre outros;

Percebe-se que embora haja impactos, em termos ambientais, a exploração e a produção de energia fotovoltaica não se comparam com as fontes de energia não renováveis como a geração térmica.

O descarte dos resíduos relacionados aos painéis fotovoltaicos no fim de sua vida útil pode passar por processos de reciclagem o que pode gerar empregos.

3.2.6 Barreiras com relação a utilização da energia fotovoltaica

De acordo com Santos (2018), as principais barreiras com relação a utilização de energia fotovoltaica estão relacionadas a barreiras institucionais, aceitação pública, barreiras econômicas e barreiras técnicas.

O setor residencial, por exemplo, constitui um importante parcela na demanda por energia elétrica por este motivo a adoção das tecnologias fotovoltaicas depende do consumidor. Portanto, barreiras relacionadas a incerteza desses consumidores em aderir esse tipo de inovação tecnológica se torna fundamental no processo de difusão da energia fotovoltaica. Diante disso, governos que procuram difundir sistemas fotovoltaicos amplamente em toda a sociedade, geralmente

oferecem incentivos como subsídios, créditos fiscais e tarifas de *feed-in*, para promover a disseminação de adoção (SANTOS, 2018).

Santos cita também que, diversos autores tentaram entender melhor o processo de decisão dos consumidores na aderência dos sistemas fotovoltaicos e chegaram as seguintes barreiras:

- a conveniência em usar a eletricidade da rede de alimentação, a qual é fornecida diretamente pela concessionária;
- a falta de familiaridade com os sistemas fotovoltaicos e seus benefícios;
- falta de informação em relação aos sistemas fotovoltaicos;
- a necessidade de manutenção;
- alto custo do sistema fotovoltaico;
- a ausência de apoio financeiro adequado pelo governo para a instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos;
- a falta de fornecedores e técnicos adequados;
- e espaço de instalação inadequado.

Por isso, barreiras institucionais, aceitação pública, barreiras econômicas e barreiras técnicas.

Porém, do mesmo jeito que existem barreiras, Santos (2018) afirma que também existem estímulos que levam os consumidores a aderirem os sistemas fotovoltaicos:

- a independência da distribuidora de energia, campanhas de educação;
- discussão com outros adotantes;
- o aumento das tarifas de energia elétrica;
- redução de custos dos sistemas fotovoltaicos;
- incentivos financeiros;
- interação social;
- e a preocupação ambiental;

Uma outra importante forma de superar essas barreiras ainda é de acordo com Santos (2018) a influência por parte de um amigo ou familiares que comprou um sistema fotovoltaico uma vez que estes fazem com que diminuam as incertezas com relação a adoção.

3.3 A energia fotovoltaica no setor elétrico

O sistema elétrico como é conhecido encontra-se em profundas mudanças, graças as novas tecnologias de geração distribuída como é o caso da fotovoltaica. A quem diga que o mundo vive uma nova revolução industrial combinando eletrificação, recursos energéticos distribuídos e digitalização/automação.

O advento comercial de diversas tecnologias disruptivas, fez com que anos de oferta centralizada de energia fosse colocado em xeque. Atualmente, consumidores viram produtores onde geram energia no próprio local de consumo, para além que com os incentivos certos podem armazená-la, consumi-la quando achar necessário e podem até vendê-la.

Uma das tecnologias que tem possibilitado ao consumidor atuar de forma tão direta dentro do setor elétrico nada mais é do que a fotovoltaica, basta olhar o crescimento exponencial da capacidade instalada no mundo desde 2010 graças à excelente redução do seu custo.

Do ponto de vista ambiental isso é bastante positivo, já que possibilita por exemplo, diminuir a criação de centrais termelétricas que visam oferecer subsídio no atendimento de certas demandas. Mas este não é o único benefício, de acordo com Castro e Dantas (2018), além dos seus benefícios ambientais, reconhecem-se que a difusão da geração solar fotovoltaica apresenta benefícios de ordem sistêmica, tanto energéticos, quanto elétricos. Porém, segundo esses mesmos autores existem custos e riscos que devem ser considerados e tratados de forma consciente.

Por exemplo, o consumidor ao comprar um sistema fotovoltaico, este usufrui de todos os benefícios que vão desde não pagar as tarifas das concessionárias, até ao uso das redes de distribuição elétrica como baterias virtuais que o possibilita exportar seus excessos e usá-los em um momento posterior. Isso deixa claro que, mesmo com o sistema fotovoltaico, o consumidor ainda precisa da rede de distribuição. No entanto, aos olhos da concessionária que permanece na obrigatoriedade de disponibilizar uma rede confiável, isso não é muito atrativo graças a estrutura volumétrica das tarifas de energia, ou seja, quando a receita das concessionárias está diretamente relacionada ao volume de energia que estes entregam aos consumidores. Segundo Castro e Dantas (2018), a redução do mercado de energia das concessionárias, derivado da difusão da geração distribuída solar

fotovoltaica pode resultar em consideráveis desequilíbrios econômico-financeiros na medida que esta difusão atinja níveis significativos.

Castro e Dantas (2018) ainda reforçam que, estes impactos são especialmente graves nos casos em que o sistema de compensação seja do tipo *net metering* e as diretrizes regulatórias não preveem mecanismos de proteção da distribuidora em relação ao risco de mercado. *Net metering* é um procedimento no qual um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade.

Uma forma de contornar isso seria fazendo uma revisão tarifária necessária, porém, ao fazê-lo teria que se aumentar os preços da tarifa de modo a chegar num equilíbrio de receitas e o volume de energia de forma a garantir o equilíbrio econômico-financeiro. Porém, isto resultaria num aumento da conta de energia dos consumidores não detentores de sistemas fotovoltaicos o que seria prejudicial.

Outros desafios relacionados a integração da geração distribuída como a fotovoltaica no setor elétrico estão relacionados ao próprio sistema em si. Os sistemas de distribuição de energia elétrica com geração distribuída, que representam 15% a 20% da capacidade de geração de eletricidade, terão complexidades operacionais significativas em uma abordagem de gerenciamento de rede tradicional (CASTRO; DANTAS, 2018).

Segundo Castro e Dantas (2018), a integração das unidades da GD nas redes de distribuição impacta a operacionalidade do sistema já que estes não foram projetados para partilhar elevadas parcelas de GD interconectadas. Estes impactos variam de acordo com o tipo de tecnologia utilizada, localização e ponto de interconexão. À medida que a interconexão da GD se expande na rede, os impactos também vão se expandindo e eles podem ser categorizados da seguinte forma de acordo com Basso (2009):

- Da proteção e coordenação do sistema: com a inserção de tecnologias da GD, os dispositivos de proteção como disjuntores do cabo alimentador religadores de linha e fusíveis teriam que ser reavaliadas com relação as suas práticas;

- Impactos de ilhas não planejadas: quando parte do sistema se separa da outra. Esse tipo pode resultar em problemas de segurança e qualidade do serviço;
- Impactos relacionado a Tensão: os dispositivos ligados a estabilidade da tensão de qualidade nas redes teriam que ser reavaliados, uma vez que foram projetadas para sistemas unidirecionais de energia;
- Qualidade do serviço: está ligado a harmônicas, injeção de corrente direta e cintilações;
- Capacidade do sistema: está ligada a restrições entre os segmentos da rede de distribuição em adotar sistemas da GD sem comprometer as operações.

Portanto, a energia fotovoltaica como uma das tecnologias da geração distribuída impacta o setor elétrico de diversas formas que estabelece novos desafios e possibilita o progresso rumo ao desenvolvimento. Embora estes desafios pareçam um pouco tanto complicados já existem formas no mercado de contorná-los e assim continuar a busca por um setor elétrico mais limpo e sustentável. Uma delas está relacionado a redes inteligentes. As redes inteligentes podem contribuir para mitigar essas dificuldades, apoiando o controle da geração variável, habilitado através do acesso a dados em tempo real que suportam o gerenciamento do sistema, da energia e da qualidade geral do serviço e flexibilidade do sistema(CASTRO; DANTAS, 2018).

4 ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA DE CABO VERDE

4.1 Contexto energético de Cabo Verde

Cabo Verde é um país insular de economia frágil sem recursos de origem fóssil próprio no território nacional, por esse motivo se vê em diversas desvantagens com relação a outros países de desenvolvimento similar quando o assunto é o setor energético.

A descontinuidade do território por ser um país insular se mostra um fator extremamente difícil, uma vez que para além de importar seus insumos energéticos Cabo Verde tem que arcar com elevados custos para o transporte dos mesmo entre as ilhas. Quando se trata do setor elétrico, por exemplo, a variável insularidade atua de forma determinante negando, portanto, a existência de uma rede interligada que possibilite altos índices de desempenho, controle, disponibilidade e confiabilidade do serviço. Para além disso, a exploração de economias de escala na geração de eletricidade se torna bastante complicada já que cada ilha conta com seu sistema elétrico isolado (SABINO, 2016).

Segundo Coutinho (2019), as ilhas de Cabo Verde não estão apenas isoladas eletricamente entre si, mas também estão isolados do continente africano, fazendo com que o país não participe de nenhum mercado internacional de eletricidade.

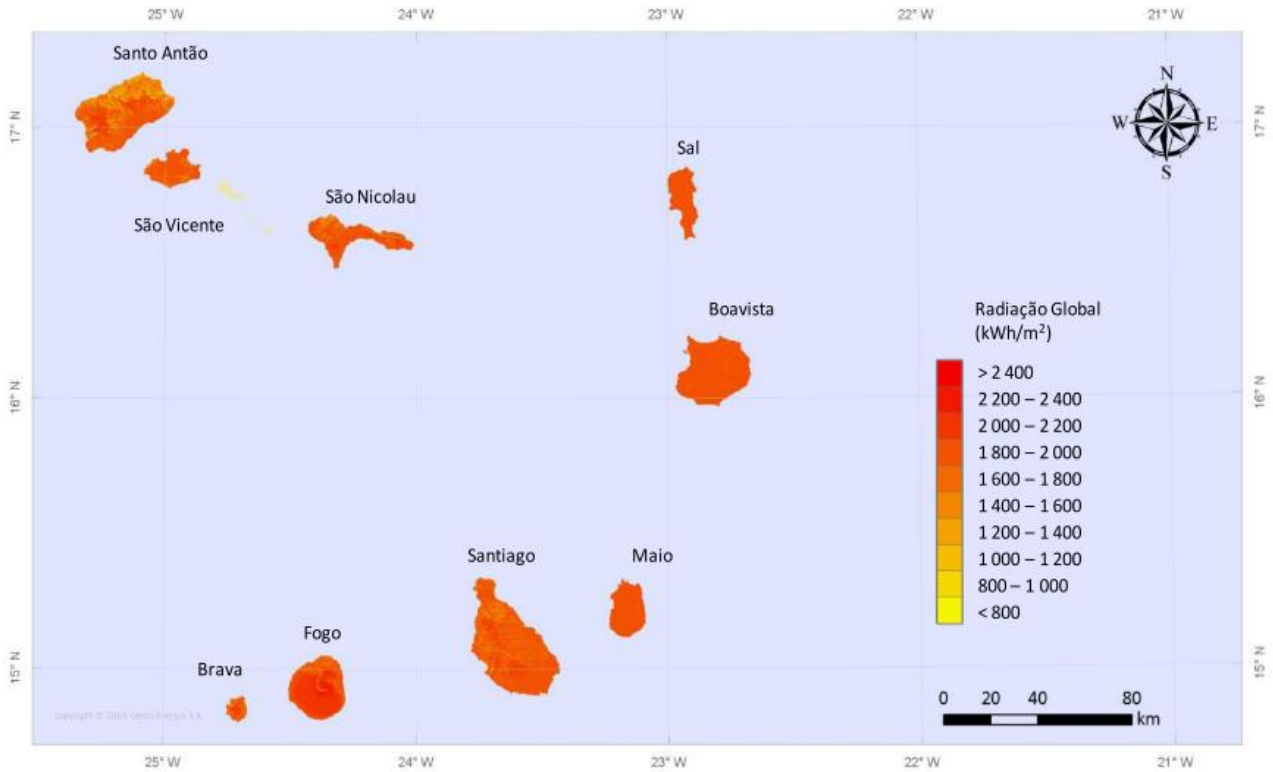
Por outro lado, por ser um país carente de fontes primárias Cabo Verde importa 100% dos seus insumos energéticos de origem fóssil que utiliza, o que faz dele um participante ativo nos mercados internacionais nesse quesito, mas ao mesmo tempo, refém da volatilidade do preço do petróleo e dos seus derivados.

Segundo Sabino (2016), tal escassez de combustíveis fósseis leva a outra questão relevante, que é a sobre-exploração da biomassa para efeitos de geração de energia e o impacto que tal opção tem ao nível das alterações climáticas e da sustentabilidade do desenvolvimento.

No entanto, Cabo Verde conta com excelentes condições no que se refere a energias renováveis principalmente a eólica e a solar. A radiação solar, por exemplo, com a exceção da ilha do Fogo onde registros mais frequentes se encontra na ordem dos 2.000 - 2.200 kWh/m²/ano, a parte mais significativa das ilhas regista valores de radiação entre os 1.800 e os 2.000 kWh/m²/ano (GESTO, 2011). A figura 4.1 mostra

a radiação global nas ilhas de Cabo Verde. Neste sentido, o País tem vindo a propor diversas medidas a fim de promover o uso de fontes renováveis, o que tornaria o país menos dependente do exterior para além de diversificar sua matriz elétrica.

Figura 4.1 - Radiação global das ilhas de Cabo Verde com exceção da ilha desabitada. (Santa Luzia)



Fonte: (GESTO, 2011)

De acordo com Coutinho (2019) foi lançado, em 2017, o Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável de Cabo Verde onde dentre as diversas medidas propostas pelo governo, está a implementação do Programa Nacional para a Sustentabilidade Energética.

Este programa tem como um dos objetivos principais a criação do Instituto de Energia e Indústria, para atuar nas áreas de regulação, planejamento, formulação de políticas e promoção da inovação, assim como desenvolvimento das energias renováveis e a promoção da eficiência energética.

No entanto, o fator custo na aderência das tecnologias de exploração de energia renováveis ainda é um empecilho para Cabo Verde. Por conta disso, segundo Sabino (2016), o Estado cabo-verdiano eventualmente, em virtude da constatação da dificuldade em responder aos desafios que o setor elétrico lhe coloca de forma

individual e isolada, tem optado por uma política de abertura deste setor aos agentes económicos privados. E, isso tem continuada até os dias de hoje.

4.1.1 Estruturação do setor energético de Cabo Verde

O setor de energia cabo-verdiano já esteve sob a responsabilidade de diversos ministérios, sendo muitas as mudanças nos últimos anos (COUTINHO, 2019). Porém, em 2018 houve uma nova reformulação governamental onde quem ficou responsável pelo setor de energia foi o Ministério da Indústria, Comércio e Energia (MICE), um dos três ministérios que compõe o Ministério da Economia e Emprego (MEE). Outro ministério que fazia parte do MEE é a Direção Nacional de Indústria, Comércio e Energia (DNICE) que supervisionava o setor da energia juntamente com a Agência de Regulação Económica (ARE) que era responsável também pelo controlo dos custos e preços de energia para além de regular ainda os setores de água, transportes coletivos urbanos de passageiros e transportes marítimos de passageiros.

No entanto, com Decreto-lei nº 50/2018, de 20 de Setembro foi criada a ARME (Agência Reguladora Multissetorial da Economia) que passou a desempenhar as funções da DNICE e da ARE portanto, a ARME enquanto autoridade administrativa e independente, desempenha a atividade administrativa de regulação técnica e económica dos setores das comunicações, energia, água e transportes coletivos urbanos e interurbanos de passageiros, exerce ainda a sua atividade de regulação nos aspetos do mercado da comunicação social que não devam ser consignados a outra autoridade administrativa independente.

No setor da produção, o setor energético cabo-verdiano é caracterizado por um único produtor em regime de exclusividade, a ELECTRA SARL, cujo objeto económico-social é a produção, distribuição e comercialização da água e energia elétrica.

Com a Resolução 19/2010, de 16 de abril, frente as alterações introduzidas pela Resolução nº 26/2011, de 8 de agosto, a então ELECTRA SARL foi autorizada a criar duas sociedades participadas (ELECTRA 2021). Diante disso, houve uma reestruturação em 1 de julho de 2013, onde a ELECTRA SARL transformou-se num grupo de três empresas, tendo sido criadas a ELECTRA Norte – Sociedade Unipessoal, SA, com Sede em S. Vicente e a ELECTRA Sul, Sociedade Unipessoal,

S.A., com Sede na Praia, capital de Cabo Verde, para exercerem as atividades de carácter operacional da ELECTRA SA, nas Ilhas de Barlavento e Sotavento.

Além da Electra, atuam no setor de geração e distribuição de energia as empresas Águas e Energia de Boa Vista (AEB), em Boa Vista, e a Águas de Ponta Preta (APP), no Sal (COUTINHO, 2019). Essas empresas funcionam como subconcessionárias da ELECTRA (SABINO, 2016).

Segundo a Gesto (2011), o sistema elétrico Cabo-Verdiano caracteriza-se por apresentar, uma taxa de cobertura territorial das redes de eletricidade na ordem dos 95%.

Algumas empresas de energias renováveis se fazem presente também em algumas ilhas como Santiago, Sal, São Vicente e Boavista, que é a empresa de energia eólica (Cabeólica), energia solar (parques solares de Santiago e Sal) e ainda a ELETRIC WIND que funciona apenas na ilha de Santo Antão (MONTEIRO, 2012).

4.1.2 Caracterização do setor elétrico atual

Atualmente, o setor elétrico de Cabo Verde é caracterizado por três tecnologias de geração, sendo elas a térmica, a eólica e a solar. A produção térmica utiliza combustível de origem fóssil que é a fuelóleo e o gasóleo.

Em 2020, a ELECTRA, principal órgão de produção e distribuição de energia elétrica de Cabo Verde, possuía um conjunto de 14 centrais térmicas, de dimensões variadas, um parque eólico e dois parques solares como parque produtivo de eletricidade nacional como mostra a figura 4.2. A potência disponível do parque produtor da ELECTRA totalizava no final do ano em referência 123.817 kW, repartida pelas centrais térmicas 116.387 kW (94,0 %), centrais eólicas 900 kW (0,7%) e solar 6.530 kW (5,3%) (ELECTRA, 2021). Esses parque solares se encontram, uma na ilha do Sal outra na ilha de Santiago na cidade da Praia Capital de Cabo Verde.

Figura 4.2 - Parque produtivo da ELECTRA SA por fontes de energia e sua distribuição por ilhas

Fonte: (ELECTRA 2021)

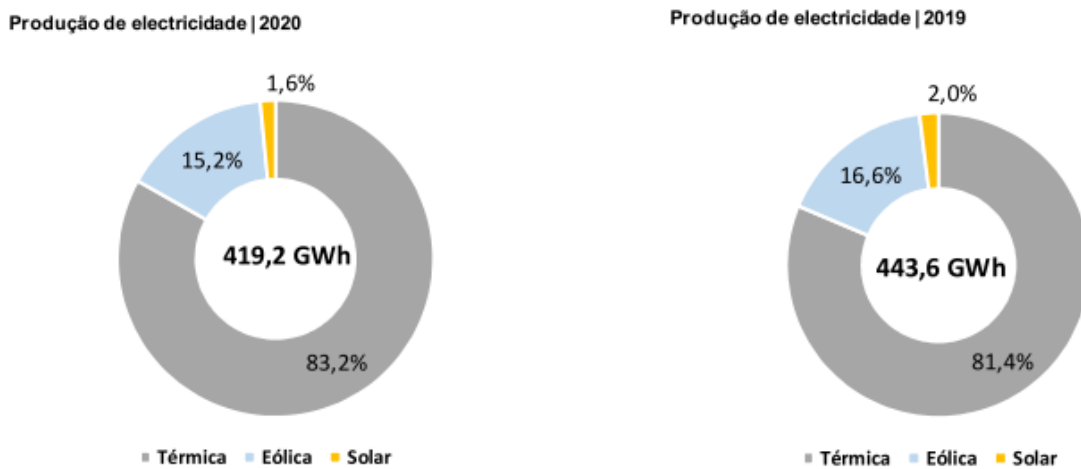
Já a Cabeólica, empresa público privado onde 94% pertencem a AFC *Equity Investments* (Subsidiária detida a 100% pela África Finance Corporation – instituição financeira multilateral panafricana constituída por estados soberanos da qual Cabo Verde faz parte) 3,75% a Electra S.A e 2,25% ao estado de Cabo Verde, conta com um parque produtor de cerca de 25 MW constituído por 30 turbinas eólicas modelo V52 da Vestas de 850kW. Essa potência está distribuída pelas ilhas de Santiago com 11 turbinas representando 9,35 MW, São Vicente com 7 somando 5,95 MW, Sal com 9 somando 7,65 MW e Boa Vista com 3 somando 2,55 MW, Cabeólica (2020).

Quanto a eletricidade produzida, segundo a Electra (2021), a produção de eletricidade em 2020 atingiu o valor de 419,2 GWh, sendo 83,2% de origem térmica, 15,2% eólica e 1,6% solar. A figura 4.3 mostra um gráfico referente a repartição da energia transferida para a rede elétrica em 2020.

Em relação ao ano 2019, registou-se uma diminuição da produção de eletricidade em 5,5%, resultando na redução global da produção térmica em 3,4%, da produção eólica em 13,4% e da produção solar em 26,8%. Constata-se uma retração dos níveis da produção de eletricidade em torno de 30,9% na ilha do Sal, a ilha mais afetada pelo impacto da crise, originada pela pandemia COVID-19 (ELECTRA, 2021).

Essa produção de eletricidade inclui também a contribuição das produtoras independentes de energias renováveis.

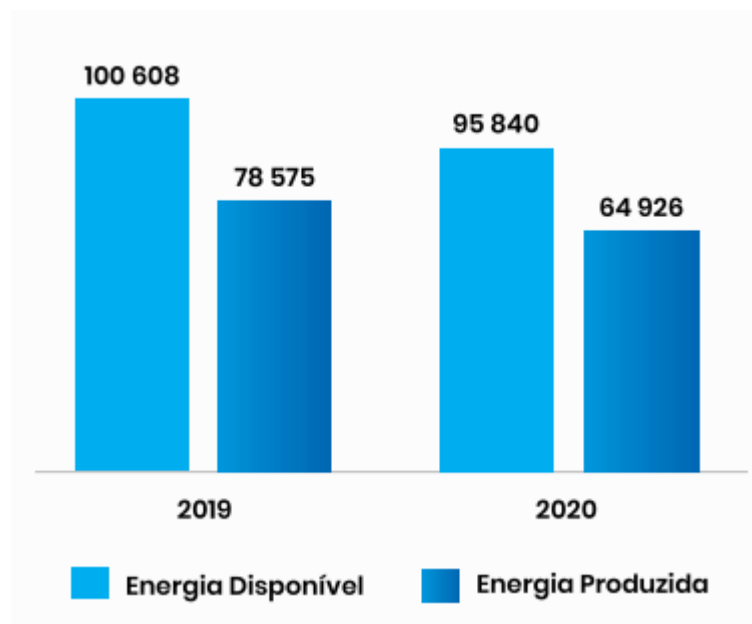
Figura 4.3 - Repartição da energia transferida para a rede elétrica em 2020 por fonte



Fonte: (ELECTRA,2021)

Já a Cabeólica produziu em 2020 um total de 64.926 MWh, conforme mostrado pela figura 4.4. Este valor representa cerca de 14% da eletricidade consumida em Cabo Verde nesse ano, mantendo Cabo Verde como uma referência internacional e um líder na África subsaariana a nível de taxa de penetração de energia eólica.

Figura 4.4 - Evolução da Energia produzida versus disponível (MWh)



Fonte: (Cabeólica 2020)

Com isso, é importante ressaltar que Cabo Verde, segundo a Electra (2021), possui duas centrais de energia solar fotovoltaica responsáveis por 1,6% do total de energia elétrica no ano de 2020, uma em São Vicente e uma na cidade da praia na ilha de Santiago.

4.1.3 Preço da energia

O preço médio da eletricidade em Cabo Verde era de 0,32 US\$/kWh em março de 2018. De acordo com Coutinho (2019)

Trata-se de um preço muito alto, no mesmo patamar dos maiores valores cobrados pela energia elétrica no mundo, como na Alemanha (0,34 US\$/kWh), na Dinamarca (0,35 US\$/kWh), na Papua Nova Guiné (0,40 US\$/kWh) e em Tonga (0,42 US\$/kWh), embora bem abaixo da recordista Ilhas Salomão (0,98 US\$/kWh) (COUTINHO, 2019).

Para se ter uma ideia, houve um reajuste tarifário no ano de 2021 no Brasil onde o preço médio da energia elétrica na cidade de São Paulo para o setor residencial era de R\$ 0,92 /kWh, ou seja, 0,17 US\$/kWh, de acordo com o portal NG Solar (2022).

Atualmente, de acordo com a ARME, a tarifa média de energia praticado pela ELECTRA a partir de 1 de outubro de 2021 é de 31,61 escudos cabo-verdiano por kWh, o que equivale na cotação atual em julho de 2022 um valor de 0,29 US\$/kWh. Esses valores podem ser vistos na tabela 4.1, onde estes são discriminados de acordo com o nível de tensão do consumidor final.

Para além dos valores apresentados na tabela existe também tarifas de baixa tensão social. Que são divididas em primeiro, segundo e terceiro escalão. O primeiro escalão de até 30 kwh/mês com impostos o cliente paga 19,95 escudos Cabo-Verdianos, de 30 a 60 kwh/mês 22,89 escudos e de 60 a 90 kwh/mês um total de 32,75.

Tabela 4.1 - Tarifas de energia em vigor em Cabo verde em outubro de 2021

Tarifas de Energia Clientes Finais do SEP

Atualização em vigor à partir de :

sexta-feira, 1 de outubro de 2021

Entidade

ELECTRA

<u>Referente</u>	Tarifa s/IVA	FACC*	Tarifa s/IVA	Variação	IVA	Tarifa c/IVA
<u>Unidade</u>	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)	(%)	(ECV/kWh)	(ECV/kWh)
<u>Valor</u>	Anterior	6,43	Atual		15%	Atual
Baixa Tensão						
Baixa Tensão Normal (BTN)						
1º Escalão ate 60 kWh/mês	18,35		24,78	35,04%	3,72	28,50
2º Escalão maior 60 kWh/mês	25,21		31,64	25,51%	4,75	36,39
Baixa Tensão Especial (BTE)						
Escalão único	21,36		27,79	30,10%	4,17	31,96
Iluminação Pública (IP)						
Escalão único	18,35		24,78	35,04%	3,72	28,50
Média Tensão						
Média Tensão (MT)						
Escalão único	17,04		23,47	37,73%	3,52	26,99
Consumo Interno Produção de Água (CIPA)						
Escalão único	17,36		23,79	37,04%	3,57	27,36
Tarifa média aproximada sem IVA**	21,06		27,49	30,53%		
Tarifa média aproximada com IVA**	24,22					31,61

Fonte: (ARME, 2021) disponível em:

https://www.arme.cv/index.php?option=com_jdownloads&task=download.send&id=1046&catid=37&Itemid=0

Apesar de alto, o preço da energia em Cabo Verde é relativamente estável, sendo reajustado, em geral, entre uma e três vezes ao ano (COUTINHO, 2019).

4.1.4 Principais fragilidades no setor elétrico

Cabo Verde conta com muitas fragilidades no seu setor elétrico, por esse motivo o investimento em energias renováveis teria que ser visto como uma prioridade pelos órgãos competentes não só pelos benefícios que este traria para o setor, mas também pelo alívio econômico que representaria para o país.

Para além das fragilidades já identificadas no setor elétrico de Cabo Verde, relacionados a disponibilidade de recursos fósseis necessários para a produção de eletricidade, aliado ao fator insularidade, outras fragilidades são detectadas.

Nos horários de ponta, por exemplo, quando o consumo de energia é mais elevado tende-se a gerar sobrecargas nas redes de distribuição originando apagões (interrupções no fornecimento do serviço) no sistema, o que acarreta dispêndios para remodelação das redes de distribuição, entre outras impertinências.

A tabela 4.2 mostra as pontas máximas registradas pela ELECTRA nas ilhas de Cabo Verde no ano de 2020. Segundo a Electra (2021), a ponta máxima, por unidade de Produção, foi de 38.793 kW, registada na ilha de Santiago, representando uma diminuição de 0,2%, relativamente ao ano de 2019. A Electra também realça as diminuições das pontas máximas registadas nos sistemas elétricos das ilhas de Sal (-372 kW), São Vicente (-200 kW) e Fogo (-102 kW), causadas pela situação pandémica.

Tabela 4.2 - Pontas por ilhas

Ilha	2020				2019	Δ [2020-2019]	
	Valor	Mês	Dia	Hora		Valor	%
Santo Antão	3 236	Dezembro	24	20:35	3 210	26	0,8%
S. Vicente	13 400	Setembro	22	20:00	13 600	-200	-1,5%
S. Nicolau	1 355	Julho	8	20:03	1 380	-25	-1,8%
Sal	12 628	Fevereiro	28	19:00	13 000	-372	-2,9%
Maio	677	Janeiro	24	19:00	719	-42	-5,8%
Santiago	38 793	Outubro	21	19:00	38 697	96	0,2%
Fogo	2 691	Novembro	3	20:00	2 793	-102	-3,7%
Brava	582	Agosto	13	19:48	612	-30	-4,9%
Ponta Assíncrona Total	73 362				74 011	-649	-0,9%

Fonte: (ELECTRA, 2021)

Embora, os apagões não são causados apenas por sobrecargas nas redes de distribuição, o fato é que em 2020 mesmo tendo diminuído houve várias interrupções no fornecimento de eletricidade, como mostra a tabela 4.3, com destaques nas ilhas de Maio e Brava onde foram registrados, de acordo com a Electra, 32 e 31 apagões, respetivamente.

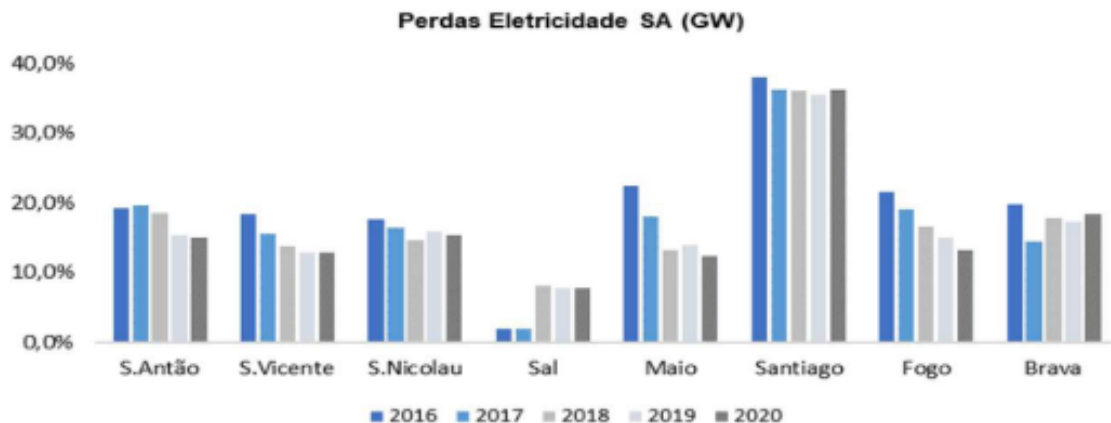
Tabela 4.3 - Black-Outs

Ilha		2020		2019		Δ [2020-2019]	
		Qtd	Dur. (min)	Qtd	Dur. (min)	Qtd	Dur. (min)
Santo Antão	Porto Novo	7	250	6	115	1	135
S. Vicente	S.Vicente	6	46	9	81	-3	-35
S. Nicolau	Tarrafal	10	176	20	329	-10	-153
Sal	Sal	6	833	8	278	-2	555
Maio	Maio	32	1 322	70	2 302	-38	-980
Santiago	Cidade da Praia	6	399	4	155	2	244
Fogo	S.Filipe	22	66	24	394	-2	-328
Brava	Favetal	31	1 468	94	1 443	-63	25

Fonte: (ELECTRA 2021)

De acordo com os dados fornecidos pela Electra, em média cada cliente da ELECTRA Norte esteve sem energia elétrica por 28,85 horas, no decorrer de 2020 e cada cliente sofreu em média 14,5 cortes no fornecimento de energia. Já a ELECTRA Sul, em média cada cliente esteve sem energia elétrica por 45 horas em 2020, tendo sofrido, em média, 24,7 cortes de fornecimento de energia.

As Perdas técnicas e não técnicas de eletricidade também tem sido uma luta constante da ELECTRA e constituem também uma importante fragilidade no setor elétrico de Cabo Verde, sendo estes na ordem de 26,1% do total da produção em 2020 segundo a Electra (2021), representando 109,353 GWh do total de 419,2 GWh produzidos, com a ilha de Santiago com a maior taxa, na ordem dos 36,3% do total da produção e representando 81,2% das perdas a nível nacional.

Figura 4.5 - Perdas de eletricidade no setor elétrico de Cabo Verde entre 2016 a 2020

Fonte: (ELETGRA 2021)

Embora a taxa de disponibilidade tenha sido positivo fruto de estratégias da ELECTRA, o valor de 76% ainda mostra largas faixas de melhorias. Na tabela 4.4 mostra os indicadores de produção de eletricidade.

Tabela 4.4 - Indicadores de produção de eletricidade

Indicadores de Produção de Energia Elétrica	2020	2019
Taxa de Indisponibilidade por Manutenção Planeada	1,8%	6,4%
Taxa de Indisponibilidade por Avaria	21,7%	14,8%
Taxa de Indisponibilidade por Paragens Forçadas	0,5%	1,9%
Taxa de disponibilidade das unidades térmicas	76,0%	76,9%
Taxa de penetração das energias renováveis	16,8%	18,6%

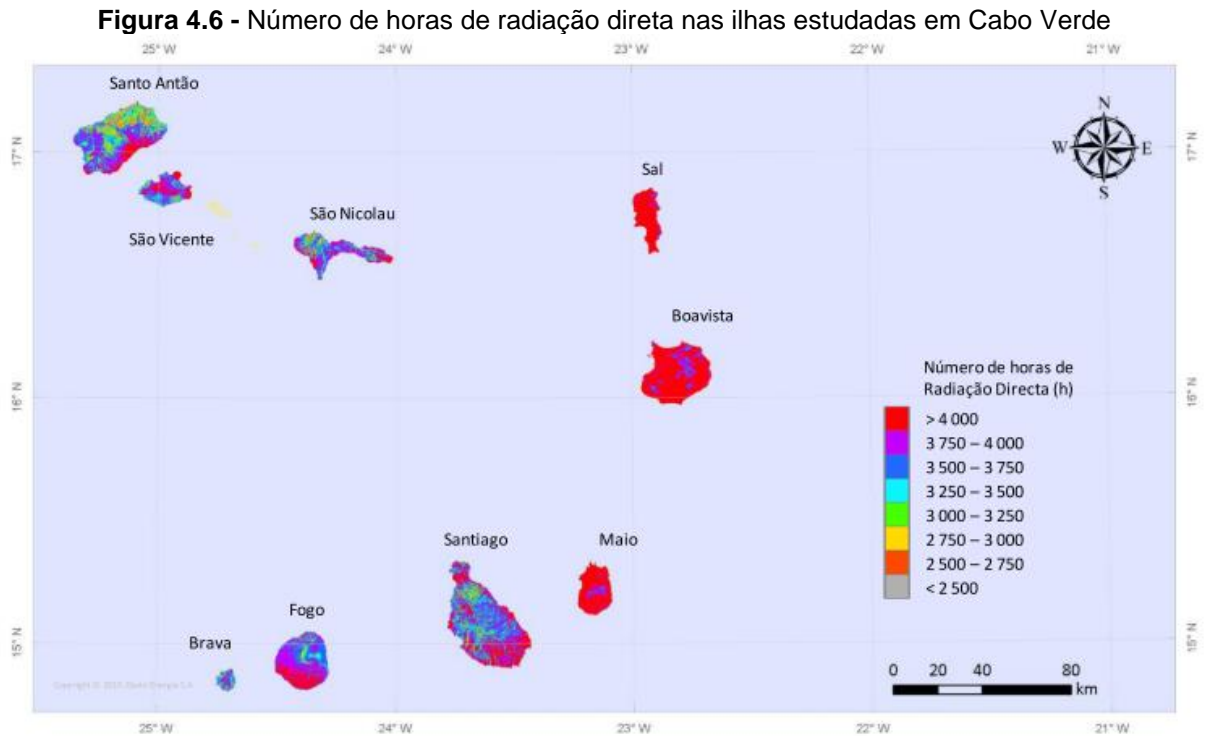
Fontes: (ELECTRA 2021)

É de ressaltar a redução na taxa de penetração das energias renováveis entre o ano de 2019 e 2020 e o aumento da taxa de indisponibilidade por avaria.

4.2 Energia fotovoltaica na matriz elétrica de Cabo Verde

Estudos indicam que Cabo Verde tem um potencial estimado de 2.600 MW de Energias Renováveis, e embora o recurso renovável mais econômico em Cabo Verde seja o eólico, o maior recurso renovável é a solar. De acordo com a Gesto (2011), mais de metade do território de Cabo Verde analisado por eles recebe mais de 3.750 horas de sol por ano (aproximadamente 62% do território). Como pode ser

visto na figura 4.6, valores médios, mínimos e máximos do número de horas de sol nas diversas ilhas estudadas, onde o valor máximo é aproximadamente igual em todas as ilhas, o que reflete a existência de locais com pouco sombreamento.



Fonte: (GESTO, 2011)

Para além disso, como observado na figura 4.1, Cabo Verde possui valores de radiação entre os 1.800 e os 2.000 kWh/m²/ano, o que representa de todo um bom potencial de exploração de energia solar nomeadamente a fotovoltaica. No entanto, este potencial ainda está longe de ser totalmente explorado de acordo com (SEQUEIRA, 2021).

Entretanto, Cabo Verde possui planos de descarbonização do setor elétrico e o investimento em energia fotovoltaica deve ser somente mais uma das tecnologias a ser considerado para a diversificação da matriz.

4.2.1 Políticas e incentivos

As políticas e incentivo a energia fotovoltaica em Cabo Verde se encontram estabelecidas no Decreto-Lei Nº 1/2011, alterada pela terceira vez pelo Decreto-lei nº 54/2018, que estabelece as disposições relativas à promoção, incentivo, acesso, licenciamento e exploração inerentes ao exercício da atividade de produção

independente e de autoprodução de energia elétrica, com base em fontes de energias renováveis.

Vale destacar neste Decreto, o artigo nº 57 que estabelece as diretrizes com relação aos registros e autorizações das unidades de microprodução, onde é estabelecido que as unidades de microprodução com potência total instalada inferior ou igual a 400 W não carece de qualquer autorização prévia para sua instalação desde que sejam utilizados equipamentos certificados e instaladores acreditados, necessitando apenas de um registro no, Sistema de Registro de Microprodução (SRM) e as com potência instalada maior que 400 W carecem de registro prévio a instalação no SRM, para além que devem ser integrados no local de instalação elétrica de utilização, respeitando os seguintes critérios:

- a) Ter uma potência de ligação a rede igual ou inferior a 100kW; e
- b) Produzir anualmente um valor igual ou inferior a 100% do consumo anual em kWh.

Com base nesse decreto, a atividade de produção de eletricidade baseada em fontes de origem renovável pode ser exercida por pessoas singulares ou coletivas, de direito público ou privado, com base em três regimes:

- Regime Geral – aplicável à produção aos sistemas isolados e autoprodução com base em fontes de origem renovável não previstas nos restantes regimes;
- Regime para microgeração – aplicável à autoprodução com base em fontes de origem renovável e potência de ligação até 100 kW;
- Regime simplificado para eletrificação rural descentralizada - aplicável à produção independente e autoprodução com base em fontes de energia renováveis quando realizada para abastecer rede autônoma situada em localidades geograficamente isoladas.

Os incentivos a utilização das energias renováveis também são estabelecidos pelo Decreto-Lei Nº 54/2018, onde contempla através do artigo 12º, uma serie de incentivos às empresas produtoras de energia elétrica com base em energias renováveis para além de estabelecer alguns direitos aos produtores como por exemplo:

- Consumir e ou ceder a terceiros, nos termos da lei, a energia elétrica por si produzida;

- Entregar à rede elétrica pública, através da entidade titular da concessão de transporte e distribuição de energia elétrica, a totalidade da energia elétrica produzida.
- Ligar-se, quando necessário, por ramal à rede explorada pela concessionária referida na alínea anterior, através do ponto de entrega previamente acordado com a concessionária.

Em caso de excedente, com base nesse Decreto, o produtor em energias renováveis no regime geral tem direito a receber um valor fixo em escudos (Moeda utilizada em Cabo Verde) por cada kWh de energia ativa injetado na rede durante um período de 15 (quinze) anos após a data de ligação à rede, o valor previsto não é atualizado com a inflação, mantendo-se fixo ao longo do período.

O produtor de energia renovável no regime geral pode optar por 2 (dois) meios de recebimento da remuneração (CABO VERDE, 2018):

- Pagamento pela Concessionária da rede de transporte e distribuição, mensalmente, de acordo com a produção verificada e no prazo de 30 (trinta) dias após a emissão de fatura do produtor à Concessionária;
- Pagamento através de créditos de produção renovável emitidos no prazo de 30 (trinta) dias após a emissão de fatura do produtor à Concessionária da rede de transporte e distribuição.

Vale também ressaltar os incentivos com relação ao regime remuneratório específico aplicável à microgeração, onde é estabelecido um regime, com direito a compensar a energia ao mesmo preço de compra da energia (*net-metering*). A microgeração está isenta de fornecimento de energia reativa à rede.

A tarifa de venda de eletricidade aplicável à microprodução é igual ao custo da energia do consumidor, segundo o regime tarifário aplicável à instalação de consumo pela concessionária de distribuição de energia elétrica (Cabo Verde, 2018).

4.2.2 Capacidade instalada e perspectivas futuras

A capacidade instalada baseado em energia fotovoltaica, está em Cabo Verde na ordem dos 6,5 MW em parques solares, nomeadamente dois parques solares, uma na ilha do sal com capacidade instalada de 2,25 MW e uma na ilha de Santiago com 4,28 MW de potência.

Quanto a microgeração, segundo Ferreira (2021), neste momento Cabo Verde possui cerca de 4 MW de potência em unidades de microgeração. Porém, o presidente do CERMI (Centro de Energias Renováveis e Manutenção Industrial) acredita ser possível, até 2030, multiplicar esse valor por três, atingindo os 12 MW.

A meta do governo é atingir os 30% de penetração de energias renováveis, até 2025, elevando a fasquia para os 50%, em 2030, e atingido os 100%, em 2040.

Existe também planos para a construção de um parque solar fotovoltaico na ilha de Boavista com capacidade de 5 MW de potência, segundo a e-Global (2021).

Embora tenha sido a passos lentos, Cabo Verde tem sim apostado na energia fotovoltaica, e com as metas de descarbonização apresentados pelo governo junto com investimentos privados, o futuro é promissor para a energia fotovoltaica no país, já que tem bastante potencial a ser explorado e os custos das tecnologias fotovoltaicas estão em queda progressiva.

4.2.3 Impactos observados na rede

Pouco se sabe dos impactos que as centrais fotovoltaicas, bem como a microgeração residencial fotovoltaica, tem impactado a rede de distribuição em Cabo Verde. No entanto, estes possivelmente não são muito diferentes dos que foram registrados no subtópico 3.3 do presente trabalho. Contudo, um estudo feito para a ilha de Santiago onde foi concluído de acordo com Tavares (2020) alguns impactos, embora não tenha sido necessariamente sobre as energias fotovoltaicas, mas das energias renováveis em geral conectados à rede mostra que:

- O problema da intermitência das fontes renováveis é a questão fundamental, tendo em vista a capacidade de regulação de potência ativa/frequência que o sistema eletro produtor é capaz de suportar.
- Quando ocorrem perturbações na produção de energia dos parques eólicos ou solar fotovoltaicos, verifica-se sempre a ocorrência do desequilíbrio entre a produção e o consumo.
- Quando o sistema de armazenamento de energia passa a funcionar como fonte, injetando energia a rede elétrica, provoca um pico negativo na frequência, porém estes picos são insignificantes.

Estudos sobre impactos não só da energia fotovoltaica, mas das energias renováveis em geral nas redes de distribuição em Cabo Verde é sensível pelo que fica como sugestão para eventuais trabalhos futuros.

4.2.4 Barreiras observadas quanto a sua difusão

Tendo como base o subtópico 3.2.6 do presente trabalho, foi feita uma análise do que se poderia dizer que tem sido as barreiras que tem afetado a geração distribuída fotovoltaica em Cabo Verde. Levando em consideração que existe a carência de estudos, conclusões foram tiradas a partir do que se sabe do País. Em Cabo Verde, as principais barreiras observadas com relação a difusão da energia fotovoltaica estão principalmente:

- a) A conveniência em usar a eletricidade da rede de alimentação, a qual é fornecida diretamente pela concessionária;

Poucas pessoas se mostram interessadas em adotar seus próprios sistemas de geração, por já possuir eletricidade da concessionária. Por esse motivo incentivos que visam quebrar esse paradigma tem que ser apresentado ao público através de palestras de conscientização ou outros meios, principalmente incentivos que visam uma tarifa competitiva com as praticadas pela concessionaria local, caso se queira uma matriz com mais participação da energia fotovoltaica.

- b) a falta de familiaridade com os sistemas fotovoltaicos e seus benefícios;

Embora a tecnologia fotovoltaica não seja relativamente recente em Cabo Verde existe falta de familiaridade com elas, uma vez que só agora seus preços têm se tornado competitivos. Portanto, cursos de capacitações são necessários neste sentido. Vale ressaltar que Cabo Verde já tem vindo a fazer isso através da CERMI.

- c) falta de informação em relação aos sistemas fotovoltaicos;

Informações sobre sistemas fotovoltaicos são necessários. A sua instalação, por exemplo, onde comprar, preços dos painéis, entre outras informações pertinentes devem ser mais acessíveis ao público geral.

- d) alto custo do sistema fotovoltaico;

Poucas pessoas em Cabo Verde possuem capacidade econômica de adquirir um sistema fotovoltaico. Provavelmente este seja o fator mais importante que tem vindo a se impor como barreira para a difusão da energia fotovoltaica nomeadamente a microgeração residencial em Cabo Verde.

- e) a ausência de apoio financeiro adequado pelo governo para a instalação de pequenos sistemas fotovoltaicos;

4.3 Viabilidade de adoção

Uma análise da viabilidade de adoção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica de Cabo Verde é feita neste tópico considerando o que já se conhece até aqui no presente trabalho.

As principais questões que reforçam a viabilidade de adoção da energia fotovoltaica em Cabo Verde se dar pelos seguintes motivos:

- A questão ambiental tendo em conta a necessidade da descarbonização do setor elétrico levando em consideração que o setor elétrico cabo-verdiano é majoritariamente de origem fóssil;
- A questão das importações de insumos energéticos bem como seu transporte entre ilhas;
- A disponibilidade de recurso solar no país;
- A crescente aderência da energia fotovoltaica mundo a fora por conta da competitividade com as demais fontes que este tem apresentado, bem como pela queda progressiva de seus preços;
- As fragilidades presentes no setor elétrico;
- Dependência internacional;

Cabo Verde possui muito potencial solar e muitas características tanto positivas como negativas que favorecem o investimento mais acentuado na energia fotovoltaico, porém, se compreende as fragilidades econômicas do país. No entanto, há que se levar em conta seus benefícios a longo prazo e é pertinente salientar, de acordo com (SEQUEIRA, 2021), que a não emissão de CO_2 se traduz em benefícios financeiros para os países, uma vez que se evita assim um custo por emissão de tonelada de CO_2 .

5 CONCLUSÃO

Ao longo do presente trabalho foi observado a importância que as energias renováveis têm em um contexto da modernidade energética, frente a todas as preocupações ambientais enfrentadas atualmente, com destaque na energia fotovoltaica e em como esta tem vindo a ganhar cada vez mais espaço em sistemas elétricos mundo a fora, por todos os benefícios que pode trazer a qualquer setor elétrico, dada a sua característica de produção limpa de energia.

Se teve também uma percepção do setor elétrico de Cabo Verde e de como ele é fortemente marcado pela dependência do exterior no que diz respeito à insumos energéticos para a produção de eletricidade, bem como as dificuldades enfrentadas devido à natureza insular do país.

Para além disso, fragilidades foram destacadas no setor, com ênfase nas perdas de energia e nas 120 interrupções no serviço que foram contabilizadas entre as ilhas, e que se mostraram determinantes para a análise da viabilidade de adoção da energia fotovoltaica na matriz elétrica do país.

Foi observada a capacidade fotovoltaica instalada no país ao constatar 6,5 MW distribuídos em dois parques solares e 4 MW em unidades de microgeração, o potencial dessa fonte para além das barreiras observadas com relação a sua difusão.

Diante disso, frente ao objetivo geral do trabalho que consiste em analisar o setor elétrico de Cabo Verde tendo em vista a Geração distribuída fotovoltaica, identificando potenciais fragilidades no setor que reforce sua adoção, bem como as principais barreiras relacionados a sua difusão, de forma a potencializar seu desenvolvimento dentro do país, se conclui que Cabo Verde possui sim alguma capacidade instalada de energia fotovoltaica conectados à rede de distribuição, porém sem registros de capacidade instalada isolada. No entanto, está longe de cobrir suas fragilidades já que mais de 80% de sua matriz elétrica é composto por centrais térmicas.

Porém, vale ressaltar que Cabo Verde possui excelentes condições no que se diz respeito ao recurso solar nas ilhas e as perspectivas futuras são promissoras, já que tem como objetivo ter uma matriz 100% renovável até 2040. Mas, para isso algumas barreiras económicas, aceitação públicas e institucional precisam ser superadas. Um estudo dos impactos nas redes de distribuição seria útil para o futuro.

REFERÊNCIAS

- BANCO DO NORDESTE. Caderno Setorial ETENE: Micro e minigeração distribuída. **Caderno Setorial ETENE**, n. Fevereiro, p. 15, 2021.
- BERTICELLI, R. et al. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. I **Seminário de Pesquisa Científica e Tecnológica**, v. 1, n. 1, 2017.
- BRITO, M. C.; SERRA, J. M. Células solares para a produção de energia eléctrica †. **Departamento de Física da FCUL**, v. 28, n. 1949, p. 04, 2005.
- BÜHLER, A. J.; DOS SANTOS, F. H.; GABE, IVAN JORGE. Uma Revisão Sobre As Tecnologias Fotovoltaicas Atuais. **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS 2018**, p. 10–25, 2019.
- CASTRO, N. J. DE; DANTAS, G. **Experiências Internacional em Geração Distribuída: Motivações, Impactos e Ajustes**. [s.l: s.n.].
- CASTRO, N.; DANTAS, G. **Geração Distribuída: Experiências Internacionais e Análises Comparadas**. [s.l: s.n.].
- CHENCHE, E. P.; BANDARRA, E. P.; HERNANDEZ, O. S. EVOLUÇÃO E PROJEÇÃO DAS TECNOLOGIAS FOTOVOLTAICAS. p. 1–4, 2013.
- CORRÊA, D. P. ESTUDO DO APROVEITAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR CAPTADA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS COMO GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CUIABÁ-MT. 2013.
- COUTINHO, G. L. Segurança energética em países insulares : estudo de caso da interligação elétrica das ilhas de Cabo Verde. 2019.
- DE SOUSA LUIZ, B.; DA SILVA, T. S. ENERGIA FOTOVOLTAICA: UM RETRATO DA REALIDADE BRASILEIRA. **INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation (ISSN 2357-7797)**, v. 5, n. 2, p. 26–40, 2017.
- GESTO. Plano Energético Renovavel Cabo Verde. 2011.
- INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. **Brasil Japão. Trabalhos**, p. 189–205, 2005.
- JANNUZZI, G. DE M.; SWISHER, J.; REDLINGER, R. Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: oferta, demanda e suas interfaces. **IEI Brasil**, p. 254, 2018.
- JEKLIN, A. DIMENSÃO TEÓRICA DA ENERGIA, ECONOMIA E SOCIEDADE: INTEGRAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DA HUMANIDADE. v. 25, n. July, p. 1–23, 2016.
- LUÍS RODRIGUES LOPES, C.; , VALÉRIO ROCHA GARCIA, M.; , ALEXANDRE ALVES DE ASSUMPCÃO, T. . As Revoluções Industriais E O Surgimento Do Proletariado Urbano the Industrial Revolutions and the Development of. p. 22–26, 2020.

MOREIRA, S. G. RESPOSTA DA DEMANDA NO PLANEJAMENTO PARA INTEGRAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS. 2017.

NEVES, D. J. D. et al. General aspects of the climate in the Cabo verde archipelago. **Ambiência**, v. 13, n. 1, p. 59–73, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: [s.n.].

RIFKIN, J. **A TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL- COMO O PODER LATERAL ESTÁ TRANSFORMANDO A ENERGIA, A ECONOMIA E O MUNDO**. SÃO PAULO: [s.n.].

SABINO, L. R. F. INSERÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS COMPLEMENTARES NA MATRIZ ENERGÉTICA DE CABO VERDE PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR ELÉTRICO: ESTUDO DO CASO DA ENERGIA EÓLICA. v. 4, n. 4, 2016.

SANTOS, L. L. DOS. Projeção Da Difusão De Sistemas Fotovoltaicos Em Consumidores Residenciais De Baixa Tensão. p. 156, 2018.

SEQUEIRA, E. Aplicação da energia solar fotovoltaica no regadio em Cabo Verde : Bombeamento da água. n. July, 2021.

SILVA, E. F. DA. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM PRÉDIOS PÚBLICOS: UMA VITRINE PARA A SOCIEDADE. 2018.

TAVARES, V. S. D. C. IMPACTO DA PRODUÇÃO RENOVÁVEL NO SISTEMA ELÉTRICO DE ENERGIA DA ILHA DE SANTIAGO (CABO VERDE). 2020.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VELOSO, C. K. P. R.; TEIXEIRA, W. C.; DA SILVA JÚNIOR, D. C. ENERGIA FOTOVOLTAICA: LEGISLAÇÃO E INCENTIVOS PELO MUNDO E COMO IMPACTAM O BRASIL. **Caderno de Estudos em Engenharia Elétrica**, v. 3, n. 1, p. 1–24, 2021.

EMPRESA DE ELETRICIDADE E ÁGUA (CABO VERDE) (ELECTRA). Relatório e contas. 2020. Disponível em:

<https://www.electra.cv/frontend/web/index.php?r=site%2Frelatorio&type=2&inst=1>.

Acesso em 07 jul.2022.

INTERNACIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). Statistics time series. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series>. Acesso em 08 jul.2022