



IPG Politécnico
|da|Guarda
Polytechnic
of Guarda

RELATÓRIO DE PROJETO

Licenciatura em Energia e Ambiente

Paulo Alexandre de Almeida do Espírito Santo

dezembro | 2021





INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA E GESTÃO

Soluções energéticas para São Tomé e Príncipe

Curso	Energia e Ambiente
Unidade Curricular	Projeto
Ano Letivo	2021/2022
Docente	Rui António Pitarma
Aluno	Paulo Espírito Santo N°1011993
Data	Dezembro de 2021

Índice

Siglas e abreviaturas.....	iv
Resumo	vi
Abstract	vii
1. Introdução	1
2. Metodologia.....	2
3. Revisão da literatura	3
3.1. As energias renováveis	3
3.2. Enquadramento geográfico	5
3.3. Setor elétrico de São Tomé e Príncipe	5
3.4. Objetivos do Governo.....	10
3.5. Lacunas e barreiras legais	11
3.6. Plano de desenvolvimento de menor custo de produção e transmissão.....	12
3.7. Projetos candidatos considerados	14
3.8. Estratégia de eletrificação de centros de carga não ligados à rede	17
3.9. Projeção de procura	18
3.10. Sistemas de produção de energia	22
3.10.1. Produção térmica.....	22
3.10.2. Produção hídrica	23
3.10.3. Energia solar	23
3.10.4. Armazenamento de bateria	25
3.10.5. Produção eólica.....	26
3.10.6. Biomassa.....	26
3.10.7. Energia das marés e das ondas.....	27
3.10.8. Gás natural.....	28
3.11. Outras necessidades de infraestrutura	28
3.12. Avaliação dos requisitos de armazenamento	29
3.13. Avaliação do impacto direto do carbono no plano de desenvolvimento.....	29
4. Análise e discussão dos resultados	31
5. Conclusão	33
Referências	35

Índice de figuras

Figura 1: Matriz energética de São Tomé e Príncipe.....	8
Figura 2: Ranking de LCOE de candidatos em São Tomé.....	15
Figura 3: Ranking de LCOE de candidatos em Príncipe	15
Figura 4: Evolução da mistura de capacidade de produção em São Tomé.....	16
Figura 5: Evolução da capacidade total disponível de produção em São Tomé	16
Figura 6: Evolução da mistura de capacidade de produção em Príncipe	17
Figura 7: Evolução da capacidade total disponível de produção em Príncipe.....	17
Figura 8: Projeções de crescimento da procura no período 2018-2035 prevista para os sistemas interligados em São Tomé.....	19
Figura 9: Projeções de crescimento da procura no período 2018-2035 prevista para os sistemas interligados no Príncipe	20
Figura 10: Casos de sensibilidade em São Tomé	21
Figura 11: Casos de sensibilidade no Príncipe.....	22
Figura 12: Local identificado ao lado do aeroporto via satélite	24
Figura 13: Condições de marés em São Tomé e Príncipe	27
Figura 14: Emissões anuais de CO ₂ e do sistema de produção (em Tons de CO ₂ e).....	30
Figura 15: Média anual de CO ₂ e por unidade de energia emitida pelas centrais de produção.....	31
Figura 16: Irradiação global horizontal média em São Tomé.....	32

Índice de tabelas

Tabela 1: Centrais produtoras São Tomé e Príncipe	9
Tabela 2: Sistemas fotovoltaicos instalados São Tomé.....	32

Siglas e abreviaturas

CO2 - Dióxido de carbono

MW - Megawatt

PNOST - Parque Natural Ôbo de São Tomé

Km2 - Quilômetros quadrados

WWF - World Wildlife Fund

INE - Instituto Nacional de Estatística

EMAE - Empresa de Água e Eletricidade

MORPINA - Ministério das Obras Públicas, Infraestruturas, Recursos Naturais e Ambiente

DGRNE - Direção-Geral de Recursos Naturais e Energia

C.T. - Central termoelétrica

C.H. - Central hidrelétrica

GWh - Gigawatt-hora

kV - Quilovolt

STP - São Tomé e Príncipe

LCDP - Least Cost Development Plan

DL - Decreto-Lei

TCN - Terceira Comunicação Nacional

GOP - Grandes Opções do Plano

PNDS - Plano Nacional De Desenvolvimento Sustentável de STP

PANA - Plano de Ação Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas

LCOE - Level Energy Cost

HFO - Heavy fuel oil

LFO - Light fuel oil

USD - Dólar americano

CAGR - Taxa de crescimento acumulativo anual

OPEX - Despesas operacionais

WECs - Wave energy converters

GNL - Gás natural liquefeito

m³ - Metro cúbico

MWh - Megawatt-hora)

Tons – Toneladas

kWh/m² - Quilowatt-hora por metro quadrado

CO₂e - Dióxido de carbono emitido

ER - Energias renováveis

kgCO₂e - Quilograma de dióxido de carbono emitido

Resumo

Devido a sua localização geográfica e as suas condições geológicas, nomeadamente ilhas vulcânicas no Equador, São Tomé e Príncipe dispõe de uma quantidade razoável de recursos renováveis e não renováveis, que potencializam hipoteticamente condições favoráveis para atender as necessidades energéticas. Este projeto tem como objetivo retratar possíveis soluções energéticas para países subdesenvolvidos, considerando como exemplo São Tomé e Príncipe. Depois de uma análise cuidadosa de alguns documentos e de retratar possíveis soluções energéticas é permitido concluir que a solução energética mais viável seria uma mistura de energia solar e energia hidroelétrica, com foco mais acentuado na última pois apesar de ser um país tropical, a captação solar no mesmo não é tão vantajosa por causa da quantidade de vegetação presente, o que influencia a incidência solar sobre o país, além de que, o país em questão possui uma quantidade significativa de recursos hídricos a serem explorados. Porém, são as questões financeiras e econômicas que restringem os incentivos ao investimento em tecnologias de energias renováveis.

Palavras-chave: São Tomé e Príncipe, Soluções Energéticas, Energia Hidroelétrica.

Abstract

Due to its geographical location and its geological conditions, namely volcanic islands in Ecuador, São Tomé and Príncipe has a reasonable amount of renewable and non-renewable resources, which hypothetically enhance favorable conditions to meet energy needs. This project aims to portray possible energy solutions for underdeveloped countries, taking São Tomé and Príncipe as an example. After a careful analysis of some documents and portraying possible energy solutions, it is allowed to conclude that the most viable energy solution would be a mixture of solar energy and hydroelectric energy, with a more accentuated focus on the latter because despite being a tropical country, solar abstraction it is not so advantageous because of the amount of vegetation present, which influences the solar incidence on the country, in addition to the fact that the country in question has a significant amount of water resources to be exploited. However, its financial and economic issues that restrict incentives to invest in renewable energy technologies.

Keywords: São Tomé and Príncipe, Energy Solutions, Hydroelectric Power.

1. Introdução

O uso de energia elétrica é um fator fundamental para o desenvolvimento econômico e para a vida humana moderna.

De acordo com Maji et al. (2019), “A crescente importância dos desafios da mudança climática e a necessidade de conceber formas de mitigar os gases de efeito estufa e, ao mesmo tempo, alcançar um crescimento econômico sustentado ocupou um lugar central na literatura sobre crescimento de energia.”.

Sobre o mesmo tema Gielen et al. (2019), “A energia renovável pode fornecer dois terços da procura total de energia global e contribuir para a maior parte da redução das emissões de gases de efeito estufa que é necessária entre agora e 2050 para limitar o aumento da temperatura média da superfície global abaixo de 2 ° C.”.

Em São Tomé e Príncipe existe uma parte considerável da população que vive na área rural, em condições precárias e sem acesso à eletricidade. Nestas áreas a população limita-se a realizar suas atividades durante o dia, recolhendo-se ao anoitecer. Muitas famílias usam fogueiras, velas, candeeiros a petróleo, lanternas-de-mão e acumuladores para iluminação noturna, porém a qualidade de iluminação é reduzida, as fontes de energia são relativamente caras e algumas, apresentam riscos para a saúde e podem causar incêndios. Este projeto tem como objetivo retratar possíveis soluções energéticas para países subdesenvolvidos, considerando como exemplo São Tomé e Príncipe, além da análise da determinação da combinação de menor custo de investimentos em projetos de produção, transmissão e distribuição de energia que permitiria que ambas as ilhas aumentassem o acesso à eletricidade, diversificando, ao mesmo tempo, a matriz energética, diminuindo as emissões de carbono provenientes da produção de eletricidade e minimizando o custo de fornecimento aos utilizadores finais.

2. Metodologia

A pesquisa bibliográfica foi utilizada como metodologia para contextualização de diversas questões referente às tecnologias das energias renováveis. O fundamento teórico baseia-se no método analítico-crítico, ou seja, na leitura de livros, artigos científicos, teses e dissertações, com delimitação temporal e espacial das publicações. Nesse contexto, foi possível a análise da temática energética em estudo sob diversas perspectivas, tais como os impactes do uso das energias renováveis no desenvolvimento socioeconômico e ambiental e as limitações do seu uso.

Para pesquisar nas bases de dados, foram selecionadas publicações, entre o período de 2018 a 2021. Os termos utilizados na busca foram “*renewable energy in africa*” e “energias renováveis na africa”. Um grande número de publicações foi encontrado a partir destas palavras e, por esse motivo, foram selecionados apenas os artigos com a temática mais aproximada a pretendida, com foco em países com situações similares ao caso em questão. Além da pesquisa online também se utilizou como fontes de informação relatórios de projetos, legislação, documentos estatísticos e entrevistas.

3. Revisão da literatura

3.1. As energias renováveis

De acordo com Pacheco (2006), as energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, fonte primária de quase toda energia disponível na Terra e, por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta e se configuram como um conjunto de fontes de energia que podem ser chamadas de não convencionais, ou seja, aquelas não baseadas nos combustíveis fósseis e grandes hidroelétricas. Atualmente, tem-se procurado mais apropriadamente usar as denominações energias renováveis e novas energias, para delimitar o conceito naquelas com ciclos de renovação natural, que, em última análise, se originam da energia solar como fonte primária. Incluindo-se nesta categoria a energia eólica, de biomassa e a solar, estas são formas de energia que se regeneram de uma forma cíclica em uma escala de tempo reduzida. Estas energias renováveis podem e devem ser utilizadas de forma sustentável, de maneira tal que resulte em mínimo impacto ao meio ambiente. O desenvolvimento tecnológico tem permitido que, aos poucos, elas possam ser aproveitadas quer como fontes de biocombustíveis quer na produção de calor e de eletricidade, como a energia eólica, solar, da biomassa, e de pequenas centrais hidroelétricas, separadas das grandes hidroelétricas, com características renováveis, constituindo-se em fonte convencional de produção de eletricidade e por esse motivo as mesmas estão passo a passo conquistando o espaço que antes era ocupado totalmente pelas fontes fósseis.

Ainda sobre as energias renováveis Pacheco (2006) caracteriza cada uma delas em:

- **Energia Solar:** a energia proveniente do sol. Pode ser utilizada diretamente para o aquecimento do ambiente, aquecimento de água e para produção de eletricidade, com possibilidade de reduzir em 70% o consumo de energia convencional. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. Quase todas as fontes de energia como já foi mencionado—hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção.

- **Energia Hídrica:** energia cinética das massas de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares. Sabendo-se que a energia hídrica deriva do aproveitamento da água para produção de eletricidade e em se tratando de energia com características renováveis, decorre da instalação de pequenas centrais hidroelétricas, as chamadas mini-hídricas, que atualmente estão sendo mais utilizadas devido ao fato de causarem menor impacto ambiental e de serem mais facilmente introduzidas em infraestruturas urbanas já existentes. A potência instalada dessas mini-hídricas é superior a 1 MW (megawatt) e igual ou inferior a 30 MW (megawatt) e, por serem empreendimentos que buscam atender demandas em áreas periféricas ao sistema de transmissão, as pequenas centrais hidroelétricas têm papel cada vez mais relevante. A tendência, com o passar do tempo, é a substituição das barragens hidroelétricas de grandes dimensões por aquelas de pequeno porte.
- **Energia Eólica:** energia cinética das massas de ar (ventos) provocadas pelo aquecimento desigual na superfície da Terra. A energia eólica tem-se firmado, como uma grande alternativa na composição da matriz energética de diversos países. É uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares. A utilização desta fonte de energia para a geração de eletricidade, em escala comercial, teve início em 1992 e, através de conhecimentos da indústria aeronáutica, os equipamentos para geração eólica evoluíram rapidamente em termos de ideias e conceitos preliminares para produtos de alta tecnologia.
- **Biomassa:** é a energia química produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese. Plantas, animais e seus derivados são biomassa. Sua utilização como combustível pode ser feita na sua forma bruta ou através de seus derivados. Madeira, produtos e resíduos agrícolas, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleos animais, óleos vegetais, gás pobre, biogás são formas de biomassa utilizadas como combustível. A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ (dióxido de carbono) na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ (dióxido de carbono) e água nos hidratos de carbono, que compõe sua massa viva, liberando oxigênio. Desta forma, a utilização da biomassa, desde que não seja de maneira predatória, não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo. A biomassa é utilizada nos processos para fabricação de biocombustíveis, destacando-se aí, o biodiesel.

3.2. Enquadramento geográfico

São Tomé e Príncipe é um arquipélago composto por duas ilhas principais que dão o nome ao mesmo e integra, ainda, um conjunto de pequenos ilhéus que, na sua maioria, não têm ocupação humana. O arquipélago é um dos países mais pequenos do mundo e o segundo mais pequeno do continente africano, encontrando-se fortemente marcado pela insularidade. No entanto, o seu posicionamento geográfico confere-lhe uma vantagem geoestratégica, nomeadamente ao nível do contexto político internacional e do potencial energético.

De origem vulcânica e com um relevo acidentado, o arquipélago possui um conjunto de áreas naturais de grande expressão territorial e elevada importância ecológica e conservacionista, destacando-se, em São Tomé, o Parque Natural Ôbo de São Tomé (PNOST) com 195 km² (quilómetro quadrado). Destaca-se ainda que, em termos de conservação da natureza e da biodiversidade, São Tomé e Príncipe representa um caso notável no continente africano com potencial para alavancar um conjunto de iniciativas promotoras de um desenvolvimento sustentável – a floresta tropical do arquipélago é a segunda, de entre as 75 florestas africanas, mais prioritária em termos de conservação da avifauna, e a World Wildlife Fund (WWF) integrou a floresta tropical na lista Global 200 por ser considerada uma das duzentas áreas mais importantes mundialmente em termos de biodiversidade. Não obstante, a insularidade e a pequena expressão (geográfica e demográfica) de São Tomé e Príncipe colocam ao país constrangimentos de natureza económica e política que têm sido um dos principais empecilhos ao seu desenvolvimento. Desta forma, e apesar dos esforços crescentes, São Tomé e Príncipe continua bastante associado a elevados níveis de dependência face ao exterior, quer ao nível financeiro, quer ao nível de necessidades de recursos humanos para alavancar o desenvolvimento económico e social. Para além disto, o país carece de um conjunto de infraestruturas indispensáveis à criação de um patamar mínimo para atenuar situações de pobreza e ao relançamento económico.

3.3. Setor elétrico de São Tomé e Príncipe

Segundo Miguez (2018), relativamente ao setor energético, dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) referentes a 2012 indicam que, a nível nacional, pouco mais de metade dos alojamentos (57,9%) tinham energia elétrica. Não obstante, a taxa de cobertura elétrica tem vindo a subir nos últimos anos e o reforço e requalificação do sistema elétrico é uma prioridade da governação tendo, nos últimos anos, sido alvo de vários estudos e investimentos. É indispensável

uma política energética sustentável que garanta, ao mesmo tempo, a satisfação da procura crescente, a otimização de custos e qualidade de serviço, e o bem-estar da população e atração de investimento. No que diz respeito à produção de energia elétrica, contrariamente aos dias de hoje e até há cerca de três décadas, a origem hidroelétrica representava mais de metade da energia produzida. Atualmente, o sistema de produção de energia em São Tomé e Príncipe é maioritariamente (94,5%) constituído por fontes de energia não renováveis, em particular centrais termoelétricas com grupos de geradores a diesel, sendo o combustível importado. Ao nível do consumo de energia elétrica, observa-se um crescimento exponencial ao longo dos últimos anos, o que tem justificado o constante reforço e investimento na produção de energia, através de centrais termoelétricas. De acordo com os registos da EMAE (Empresa de Água e Eletricidade), no ano de 2016 foram faturados 63.527.052 kWh (quilowatt por hora), correspondentes a aproximadamente 62,4% do volume total da eletricidade emitida na rede, verificando-se um valor de perdas extremamente elevado (37,6%). As perdas no transporte e distribuição devem-se, essencialmente, a problemas identificados na qualidade e estrutura das redes. Além destas, existem perdas comerciais devido a fraudes e ligações clandestinas, para as quais se torna indispensável a criação de legislação apropriada e apoio jurídico-institucional para as eliminar definitivamente. Face ao acima exposto, torna-se fundamental a exploração dos recursos renováveis em São Tomé e Príncipe. Estes, para além do contributo para a minimização do consumo de combustíveis fósseis e para uma maior sustentabilidade ambiental, contribuem igualmente, do ponto de vista económico, no sentido em que auxiliam o país na redução da dependência energética externa e na garantia da segurança de abastecimento. O “Estudo do Potencial Hidroelétrico de São Tomé e Príncipe”, elaborado pela HIDRORUMO (1996), registou a existência de 33 locais com potencial para produção de energia hidroelétrica, dos quais nenhum dos locais estudados se encontrava em exploração (o aproveitamento da central do Contador já tinha sido construído à data).

Segundo o Decreto-Lei n.º 26/2014 o sistema elétrico nacional de São Tomé e Príncipe é da responsabilidade do Ministério das Obras Públicas, Infraestruturas, Recursos Naturais e Ambiente (MORPINA). O mesmo decreto ainda define que a Direção Geral de Recursos Naturais e Energia bem como a Autoridade Geral de Regulação (AGER) e a Empresa de Água e Eletricidade (EMAE) como instituições ligadas e subordinadas ao ministério.

O Decreto de lei nº 1/2019 determina que o Governo dentre outras atribuições, é responsável pela conceção, execução, coordenação, fiscalização e avaliação de políticas públicas do setor elétrico de São Tomé e Príncipe.

Segundo a Orgânica do XVII Governo Constitucional.2019, A Direção-Geral de Recursos Naturais e Energia (DGRNE) tem como objetivo promover e avaliar políticas relativas à energia, recursos geológicos e outros recursos naturais, numa perspetiva de desenvolvimento sustentável e a AGER tem por finalidade regular e fiscalizar os serviços de energia fornecidos pela EMAE (Empresa de Água e Eletricidade), que por sua vez é um monopólio natural e público responsável pelos serviços de transporte, distribuição e comercialização de eletricidade no país. A EMAE (Empresa de Água e Eletricidade) é subordinada financeiramente ao Ministério do Planeamento, Finanças e Economia Azul, que fiscaliza a situação financeira, analisa e aprova tarifas e autoriza a aquisição de bens e empréstimos da empresa.

De acordo com Brutinel et al. (2019), “71% dos domicílios do país tinham acesso à eletricidade em 2018, estando 69,8% conectados à rede e 1,8% sendo alimentados por sistemas isolados. Os 29% restantes não tem acesso a eletricidade. O alto custo de importação de combustíveis torna a produção de energia termoelétrica ineficiente do ponto de vista econômico e a extensão de rede torna-se inviável para a EMAE (Empresa de Água e Eletricidade) devido o comprometimento de boa parte das receitas da empresa com a compra de combustível”.

Segundo os dados fornecidos pelo Relatório e Contas - Exercício de 2016 da EMAE (Empresa de Água e Eletricidade), em 2016 o Sistema Elétrico Nacional tinha uma potência instalada de aproximadamente 30 MW (megawatt) e uma capacidade de produção garantida de cerca de 15 MW (megawatt). No ano seguinte houve um aumento considerável na potência garantida, chegando a um total de 21,5 MW (megawatt). Deste valor de potência garantida, a parcela gerada na hidroelétrica do rio do Contador, único empreendimento de energia renovável do país, corresponde a 6,98% do total (1,5 MW (megawatt)), enquanto a potência garantida oriunda de centrais térmicas corresponde a 93,02% do total (20 MW (megawatt)), conforme ilustrado na Figura 1 e detalhado na Tabela 1, sendo que na última, o termo fonte refere-se as fontes de energia, as unidades de geração é a nomenclatura dada aos motores nas centrais tanto termoelétricas (C.T.), como nas hidroelétricas (C.H.).

Figura 1: Matriz energética de São Tomé e Príncipe

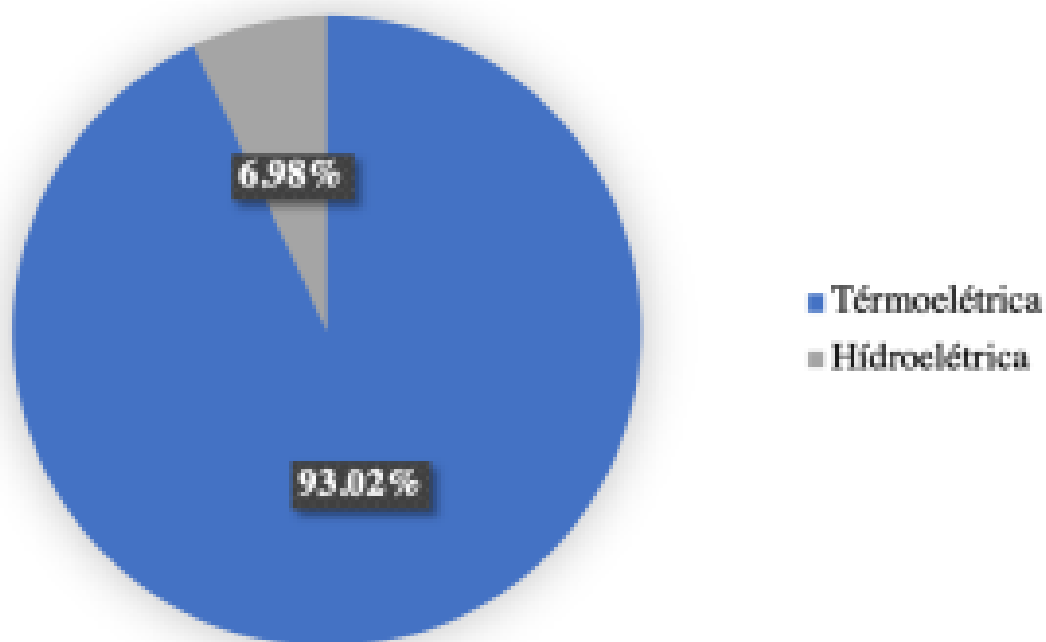


Tabela 1: Centrais produtoras de energia em São Tomé e Príncipe

Central	Unidade de Geração	Fonte	Capacidade Instalada (MW)	Capacidade Garantida (MW)
C.T. São Tomé	ABC 2	LFO	1,00	-
	ABC 3	LFO	1,28	0,85
	Deutz 1	LFO	1,45	0,95
	Deutz 2	LFO	1,45	-
	Deutz 3	LFO	1,45	0,95
	Caterpillar	LFO	1,00	1
	Perkins 1	LFO	1,00	0,75
	Perkins 2	LFO	1,00	-
C.T. Bobo Forro 1	Grupo 1	LFO	0,55	0,55
	Grupo 2	LFO	0,55	0,55
	Grupo 3	LFO	0,55	0,55
	Grupo 4	LFO	0,55	-
	Grupo 7	LFO	-	-
C.T. Bobo Forro 2	Grupo 1	LFO	1,64	1,35
	Grupo 2	LFO	1,64	-
	Grupo 3	LFO	-	-
C.T. Santo Amaro 1	Himsen 1	LFO	1,7	1,4
	Himsen 2	LFO	1,7	-
	Himsen 3	LFO	1,7	1,4
	Himsen 4	LFO	1,7	1,4
	Himsen 5	LFO	1,7	1,4
C.T. Santo Amaro 2	ABC 1	LFO	2,05	1,75
	ABC 2	LFO	2,05	1,75
	ABC 3	LFO	2,05	1,75
C.H. Contador	T1	Hidro	0,96	0,75
	T2	Hidro	0,96	0,75
C.T. Príncipe	Caterpillar 1	LFO	0,70	0,55
	Caterpillar 2	LFO	0,70	0,55
	Caterpillar 3	LFO	0,70	0,55
	Caterpillar 4	LFO	0,70	-
Total			34,48	21,5

De acordo com o mesmo documento, devido às perdas de energia do sistema de distribuição, a EMAE (Empresa de Água e Eletricidade) faturou apenas 65% da energia gerada pelas centrais, ou seja, dos 104,9 GWh (gigawatt-hora) emitidos, cerca de 36,2 GWh (gigawatt-hora) que corresponde a 34,5% não foram faturados. Esse volume de perdas é resultado de um sistema de distribuição obsoleto, de furto de energia e de fraude, impactando tanto a qualidade da energia fornecida quanto a capacidade de expansão do acesso à energia elétrica no país.

O sistema elétrico nacional em São Tomé foi construído ainda no período colonial e se estabelece a partir da construção da central hidroelétrica do rio Contador, finalizada no ano de 1967 na ilha de São Tomé. Fazem parte do sistema de produção da Ilha de São Tomé ainda as centrais

térmicas: São Tomé, Santo Amaro I e II e Bobo Forro 1 e 2. Fazendo com sejam hoje 6 centrais operacionais.

Como é dito por Esperança (2015), outro desafio observado nas centrais de produção administradas pela EMAE (Empresa de Água e Eletricidade) refere-se à escassez de mão de obra e de peças para manutenção dos equipamentos. Tratando-se da central hidroelétrica do Contador isto é ainda mais sério, visto que as unidades de produção são as mesmas desde o início de seu funcionamento em 1967. A transmissão de energia é feita em média tensão. Assim, os centros de produção são interligados aos centros de consumo por linhas aéreas numa tensão de 30 kV (quilovolt), observada principalmente na zona rural do país. A distribuição é feita por linhas aéreas e subterrâneas numa tensão de 6 kV (quilovolt).

3.4. Objetivos do Governo

Segundo Miguez (2018), o Governo de São Tomé e Príncipe pretende atingir 100% de acesso da população à eletricidade até 2030. Atualmente cerca de 70% da população tem acesso. No entanto, as infraestruturas elétricas apresentam sinais de degradação e envelhecimento e os serviços disponibilizados são de baixa qualidade e pouco confiáveis. Uma consequência destas circunstâncias é a de que a maior parte da atividade económica empresarial depende, pelo menos parcialmente, da produção independente, com recurso a motores a diesel. Presentemente, de facto, a produção energética em São Tomé e Príncipe (STP) assenta quase exclusivamente no diesel – importado, caro e poluente – sendo a percentagem estimada de energia com origem renovável no país de apenas 5%. Consequentemente, como forma de reduzir a dependência do país dos combustíveis fósseis e, simultaneamente, melhorar os aspetos financeiros do setor energético, o Governo de São Tomé e Príncipe pretende implementar o seu *Least Cost Development Plan (LCDP)*, propondo-se aumentar a participação de energia renovável na matriz energética para cerca de 50% até 2030. O objetivo geral do Programa de Mini-hídricas em São Tomé e Príncipe é garantir o desenvolvimento sustentável do sistema de energia de STP (São Tomé e Príncipe) e promover o crescimento verde, apoiando a implementação do *LCDP (Least Cost Development Plan)*. Isso envolverá a diversificação da matriz elétrica do país, aumentando a capacidade de produção de energia com base em energias renováveis, aumentando a confiabilidade do sistema de energia e promovendo o uso sustentável e eficiente da eletricidade.

3.5. Lacunas e barreiras legais

Segundo o RELATÓRIO DE ANÁLISE DA POLÍTICA ENERGÉTICA E LACUNAS DE DADOS (2021), a regulamentação aplicável à energia em STP (São Tomé e Príncipe) é reduzida, não existe uma lei geral sobre a energia e não existe um plano nacional de energia. No entanto, existem esforços recentes para promover as energias renováveis, como o Decreto-Lei n.º 1/2020, que é o regulamento que estabelece o regime especial e transitório para aquisição de energia com origem em fontes renováveis. Esse mesmo DL (Decreto-Lei) indica que tem a duração de um ano a contar da data da entrada em vigor (i.e., até fevereiro 2021) e que tem por finalidade permitir a produção independente de energia de origem renovável num regime de exceção, até à consolidação de um quadro jurídico-legal definitivo para o sector (Artigo 1). O RJSE (Regime Jurídico do Setor Elétrico), nomeadamente o DL 26/2014 representa a Lei de Bases do Sector Elétrico em STP (São Tomé e Príncipe), porque define as bases da organização do sistema. Não obstante a aprovação do RJSE (Regime Jurídico do Setor Elétrico), não existe ainda uma adequação entre o modelo de organização previsto e o modelo existente no mercado, o que dá indicação da necessidade de reforçar o quadro legal, reforçar as capacidades e meios dos diferentes atores e atrair investimento privado. O RJSE (Regime Jurídico do Setor Elétrico) prevê as normas gerais aplicáveis às atividades do sector elétrico incluindo a produção de energia através de fontes renováveis (artigo 50.º e seguintes). As normas do RJSE (Regime Jurídico do Setor Elétrico), estão na sua maioria prescritas e requerem desenvolvimento através de legislação complementar em particular em relação a Atividade de Produção, Acesso às Redes, Produção a partir de Fontes de Energias Renováveis. A Terceira Comunicação Nacional sobre as Mudanças Climáticas (TCN, de 2019) identificou opções de mitigação no setor energético que consistem na instalação de sistemas de aproveitamento dos recursos hídricos, na realização de estudos para avaliação do potencial de produção de energias alternativas (vento, solar, biomassa) e no desenvolvimento da produção de energias alternativas, particularmente, a energia solar. Além disso, é necessária a transferência de tecnologia, prioritariamente para o setor energético (equipamentos e construções de iluminação eficiente, material de construção de alto desempenho energético, aparelhos eletrodomésticos económicos em energia), em adição aos setores de transportes, agricultura e florestas e solos. Apesar da escassa regulamentação específica do sector energético, STP (São Tomé e Príncipe) dispõe de várias políticas e estratégias enquadradas quer a nível sectorial, regional e nacional que visam aumentar o acesso à energia e promover as energias renováveis e a eficiência energética. Por exemplo, na Lei 8/2019 Grandes Opções do Plano (GOP) 2019, o Governo manifesta que visa aumentar a capacidade de produção, a eficiência energética e reduzir o custo de importação de combustível, por meio da

implementação ou desenvolvimento de políticas (ex. Plano Diretor de Energia e Mapa Energético) e projetos (com combustíveis fósseis e renováveis) ou programas específicos (programas de eficiência energética). Além do GOP (Grandes Opções do Plano), o Governo de STP (São Tomé e Príncipe) publicou o Plano Nacional De Desenvolvimento Sustentável 2020-2024 (PNDS), focado em quatro eixos estratégicos de intervenção: aprofundamento do Estado de direito democrático; crescimento económico robusto e criação acelerada de emprego; melhoria da qualidade de saúde e proteção social; e política externa ao serviço de desenvolvimento. No domínio da energia, a estratégia destaca a necessidade de reverter a situação atual com a aplicação de medidas de eficiência energética e o aumento gradual do uso de energias renováveis, com vista à eletrificação sustentável e limpa do país (utilizando fontes hídricas, solares e eólicas). O quadro operacional do PNDS (Plano Nacional De Desenvolvimento Sustentável) é representado por uma matriz com 34 programas distribuídos entre os 4 objetivos e nos 3 pilares programáticos do plano, e um Programa de Gestão e Administração Geral adicional que é transversal aos mesmos. STP (São Tomé e Príncipe) apresentou em 2006 o seu Plano de Ação Nacional para Adaptação às Alterações Climáticas (PANA), e em 2017 (junho) o Plano Multisectorial de Investimentos de STP (São Tomé e Príncipe): integrar a resiliência às alterações climáticas e o risco de catástrofes na gestão da zona costeira. Não podemos ignorar a relevância que os impactos das alterações climáticas têm em pequenos países insulares como STP (São Tomé e Príncipe) e como fenómenos climáticos extremos podem afetar diretamente as infraestruturas básicas e fundamentais para o desenvolvimento socioeconómico do país, incluindo as infraestruturas energéticas. O mencionado Plano Multisectorial de Investimentos de 2017 identifica entre os vários riscos climáticos, a seca como um deles. No caso do setor de energia, a seca pode comprometer a produção de energia hidroelétrica. O plano identifica também lacunas relacionadas com a monitorização das mudanças climáticas, que incluem, em geral: falta de mapeamento e melhor entendimento dos riscos climáticos e vulnerabilidades dos setores; necessidade de capacitação; fraca coordenação entre os organismos governamentais e projetos executados por parceiros/doadores; entre outras.

3.6. Plano de desenvolvimento de menor custo de produção e transmissão

Como citado por Migués (2018), a produção de energia no sistema interligado de São Tomé e Príncipe é uma combinação de produção térmica a óleo combustível leve (diesel) e produção hidroelétrica, embora no caso do Príncipe toda a produção disponível é térmica. A potência instalada deve ser capaz de satisfazer a procura de pico e proporcionar uma margem de reserva (tipicamente

pelo menos 10% da procura máxima) para permitir que o sistema continuar operando sem déficit no abastecimento durante os períodos em que alguns geradores estão indisponíveis devido a falhas planeadas ou não. As necessidades de ativos futuros do setor de energia são determinadas principalmente pelo alvo para cobrir a procura futura. Para o efeito, o fator-chave para garantir a sustentabilidade do abastecimento é assegurar que há suficiente capacidade de produção de energia e rede de capacidade suficiente para fornecer a previsão de procura máxima do sistema a cada ano para o futuro. Tal equilíbrio entre a produção e o fornecimento deve ser assegurado para evitar a falta de energia e a limitação de carga, que são indesejáveis. Além disso, existem várias maneiras de desenvolver sistemas para produção e transmissão de energia para fornecer a mesma procura máxima. A seleção da melhor estratégia é feita pela combinação ideal de investimentos em produção e transmissão de energia, ou seja, que resulta em um custo mínimo para o sistema, respeitando os critérios de fiabilidade selecionados e metas políticas definidas pelos decisores relevantes. Esta abordagem é chamada *Least Cost Development Plan (LCDP)*. Três tipos de sistema de energia estão presentes em São Tomé: o sistema interligado (ou sistema principal), os sistemas isolados (que têm a sua própria produção e uma pequena rede) e sistemas *off-grid*. Os três tipos de sistemas foram incluídos na análise, mas o foco é sobre os planos de desenvolvimento para o sistema interligado. O *Least Cost Development Plan (LCDP)* foi determinado para o período de 2018-2035 para São Tomé e Príncipe, com base na previsão de procura desenvolvida para o mesmo período e apresentadas no relatório de projeção de procura. A seguinte abordagem passo-a-passo foi implementada:

1. Identificação de uma seleção de projetos candidatos adequados, e classificá-las com base no seu *Level Energy Cost (LCOE)*, que é o custo nivelado da energia- incluindo os custos de conexão de rede, quando for o caso - para cada ano do período de simulação;
2. Determinação das necessidades de capacidade adicionais, para cada ano do período de simulação, com base em previsões de procura, cronogramas de desmantelamento para ativos existentes justificados neste relatório, e metas de margem de reserva, que são 10% em São Tomé e de 20% no Príncipe;
3. Para cada ano, onde há necessidades adicionais de capacidade, o déficit na oferta é recomendado para ser atendido por projetos candidatos, selecionados em ordem crescente de *Level Energy Cost (LCOE)*.

3.7. Projetos candidatos considerados

De acordo com Miguez (2018), a figura 2 mostra o *Level Energy Cost (LCOE)* calculado para cada central candidata em 2018 em São Tomé, e a figura 3 para os candidatos de Príncipe, com os candidatos classificados em ordem crescente de *Level Energy Cost (LCOE)*. As seguintes observações podem ser feitas:

- Em geral, as soluções de produção de energia hidroelétrica são a opção mais eficiente, seguido de soluções energéticas usando *HFO (heavy fuel oil)* que é óleo pesado de combustível, PV (painel fotovoltaico) Solar, soluções energéticas usando *LFO (light fuel oil)* que é óleo leve de combustível, soluções energéticas usando gás natural e por fim a energia eólica.
- Os resultados mostram que o uso soluções energéticas com *HFO (heavy fuel oil)* é mais eficiente do que com *LFO (light fuel oil)*. Portanto, as novas unidades térmicas serão transformadas com *HFO (heavy fuel oil)*, assim que ele estiver disponível na ilha.
- O gás natural foi considerado como uma opção para abastecer futuras centrais térmicas em São Tomé e Príncipe, porém seu custo é muito elevado. O fator chave que influencia os preços de entrega de gás natural para São Tomé é que a ilha não tem acesso ao gás natural e precisaria importar gás natural na forma liquefeita, que precisa ser gaseificado antes da utilização.
- Os custos de implementação de energia eólica não compensam em relação a eficiência da mesma no país, visto que a quantidade de vento é relativamente baixa no país em questão.

O ranking LCOE (Level Energy Cost) é muito pouco afetado por variações de preços de combustível ao longo do tempo.

Figura 2: Ranking de LCOE de candidatos em São Tomé

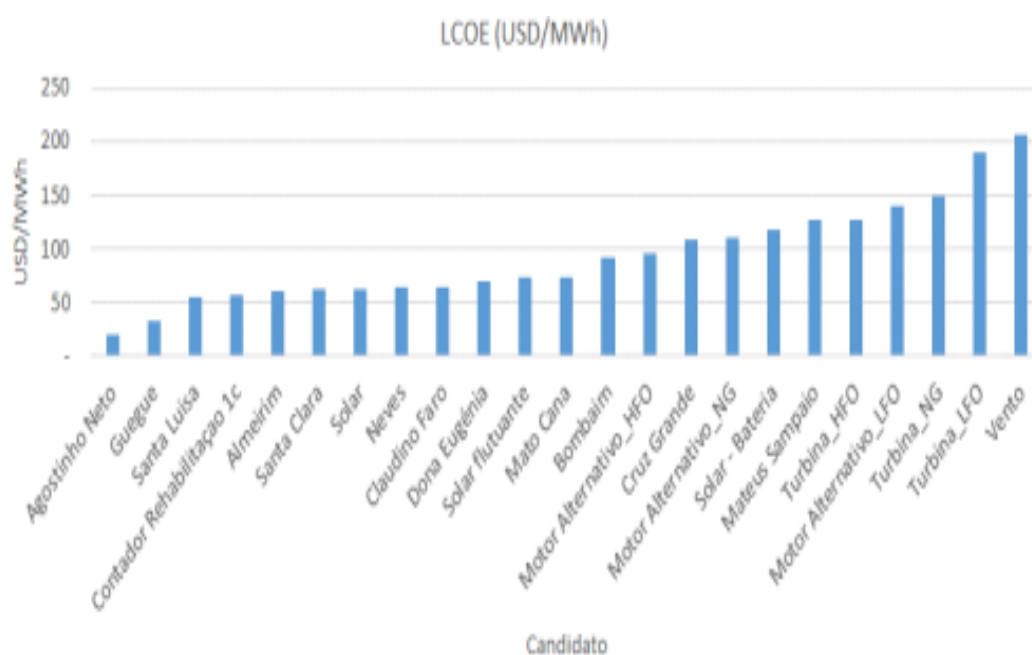
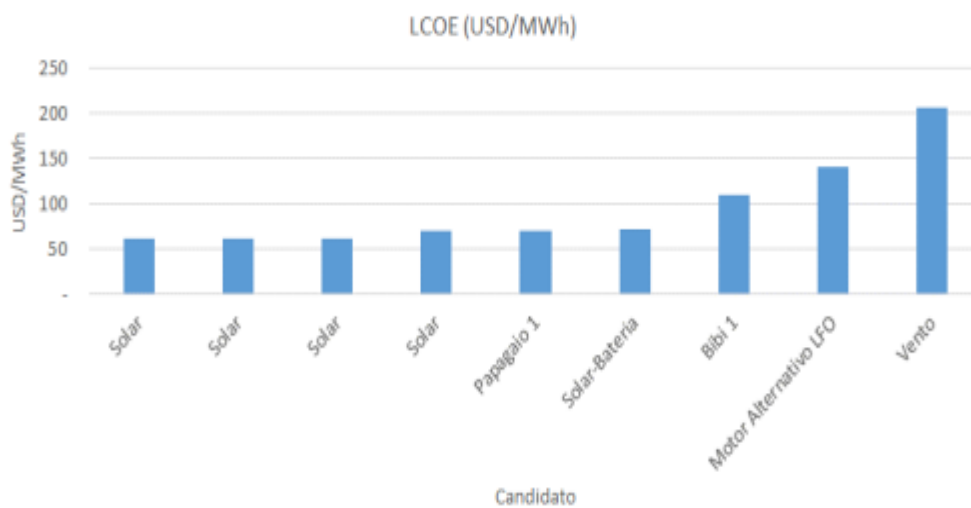


Figura 3: Ranking de LCOE de candidatos em Príncipe



Migues (2018) acrescenta que como é possível verificar nas figuras 4 e 5 os resultados mostram que em São Tomé, a futura matriz energética seria significativamente alterada pela implementação de uma série de projetos hidroelétricos. Com este plano de desenvolvimento, a percentagem de energia renovável na matriz está projetada para aumentar de 7,6% em 2018 para

57% em 2028, e para 53% em 2030. Por conseguinte, o plano proposto encontra o alvo de penetração renovável na faixa de 50%.

Figura 4: Evolução da mistura de capacidade de produção em São Tomé

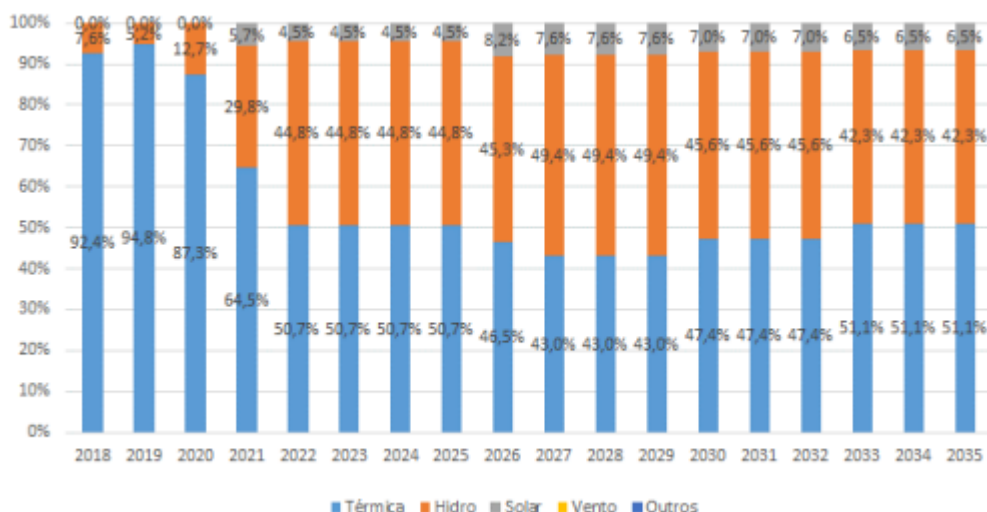
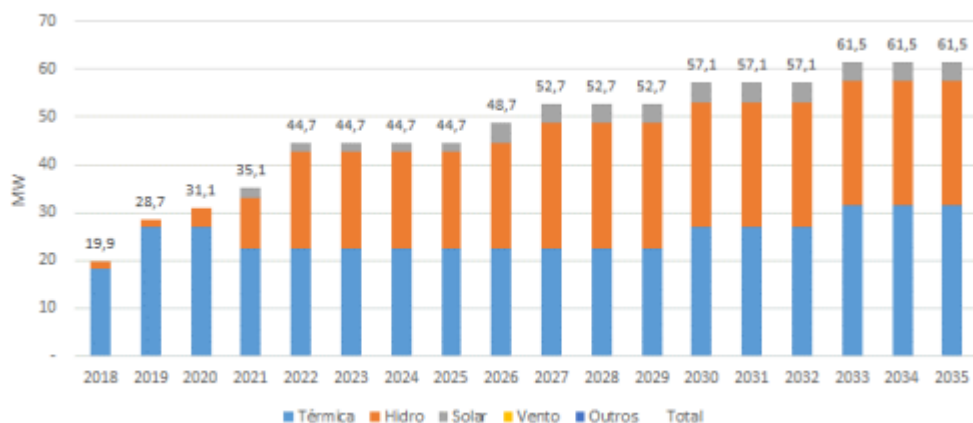


Figura 5: Evolução da capacidade total disponível de produção em São Tomé



Migues (2018) também cita que como é possível verificar nas figuras 6 e 7, os resultados mostram que em Príncipe, a quota das energias renováveis na matriz energética é projetada para aumentar de 0% em 2018 para 50% em 2026 e 50% em 2030. O objetivo de 50% de capacidade instalada em 2030 for renovável é atingido.

Figura 6: Evolução da mistura de capacidade de produção em Príncipe

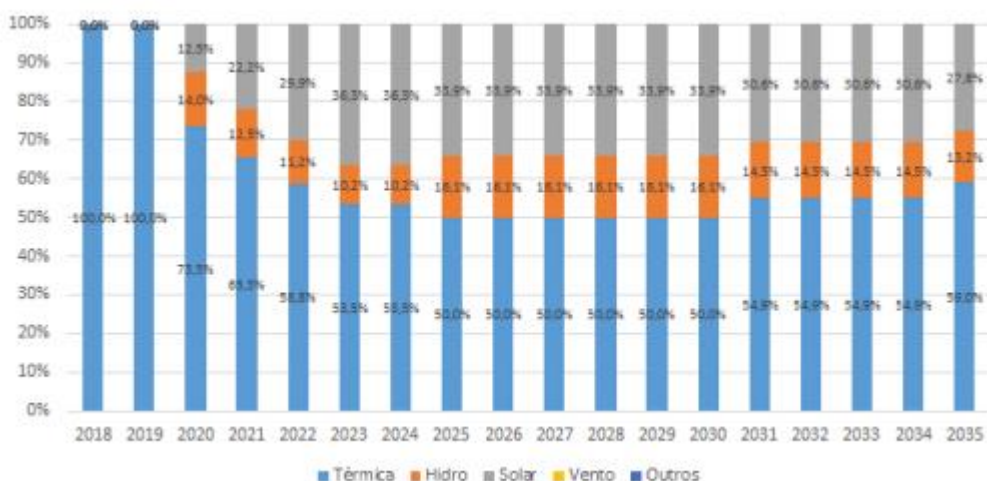
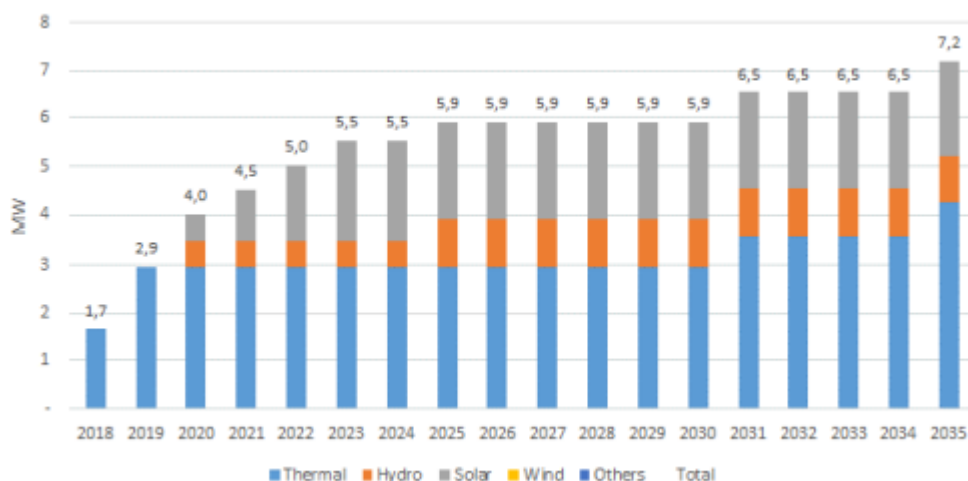


Figura 7: Evolução da capacidade total disponível de produção em Príncipe



3.8. Estratégia de eletrificação de centros de carga não ligados à rede

Migues (2018) cita que a política energética de São Tomé inclui uma meta de atingir uma taxa de eletrificação de 100% em 2030. A previsão de base caso a procura é compatível com esse objetivo, mas observa que seria mais econômico considerar uma combinação de soluções de eletrificação, a saber:

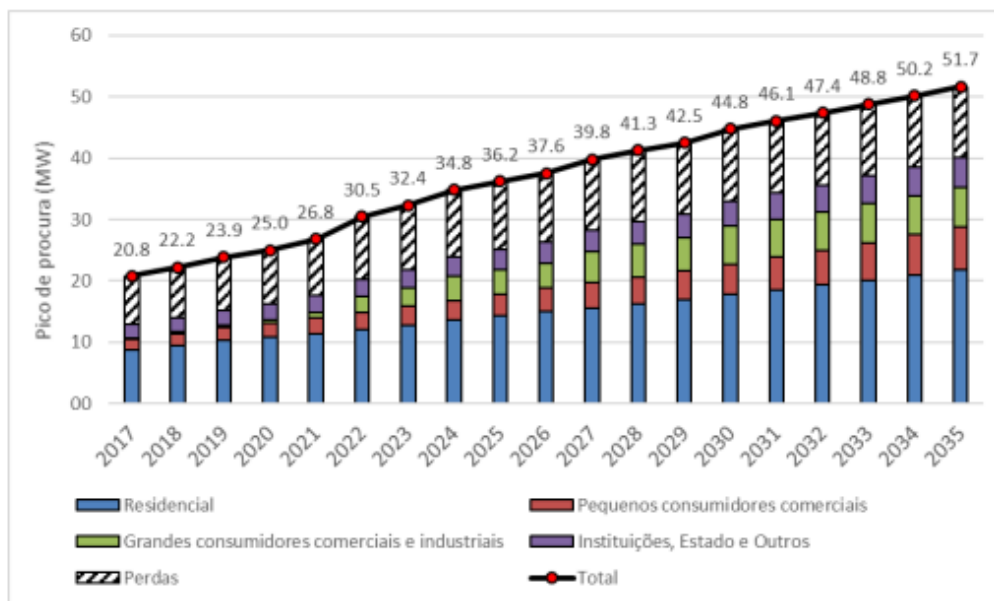
1. Extensão do sistema de transmissão existente para alcançar novos centros populacionais;

2. Desenvolvimento de novas miniredes (por exemplo com uma combinação de unidades diesel, fotovoltaicas sem/com bateria) ou ampliar as já existentes para atender novos consumidores de energia elétrica;
3. Sistemas domésticos de energia solar, para proporcionar acesso à eletricidade nos casos em que a rede principal ou o desenvolvimento uma mini rede não é rentável.

3.9. Projeção de procura

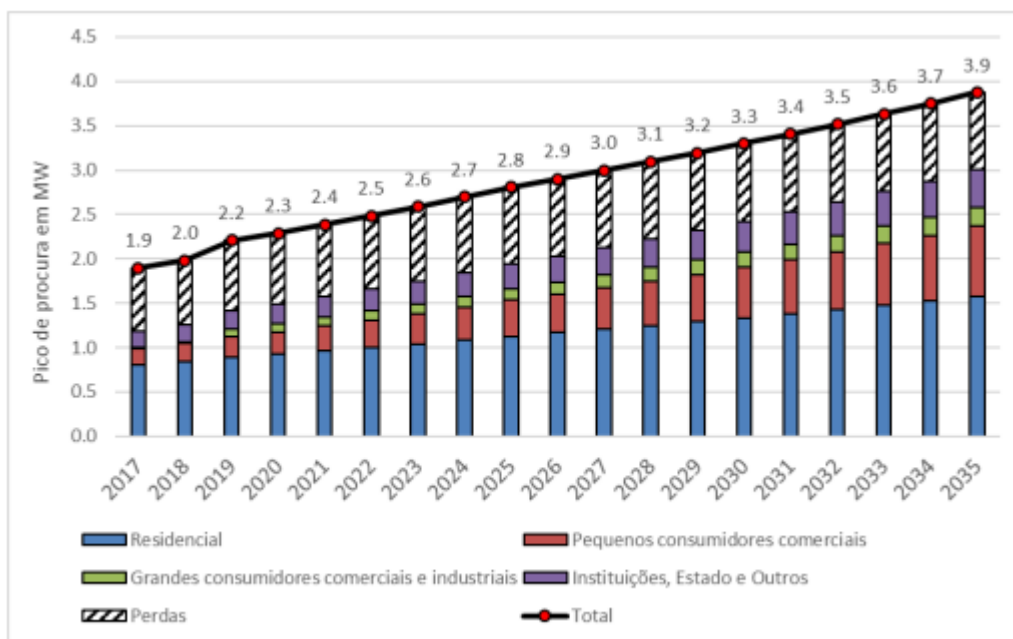
Migues (2018) acrescenta que, as projeções de crescimento da procura no período 2018-2035 previstas para os sistemas interligados em São Tomé e Príncipe são apresentadas na figura 8 abaixo, mostram que o pico de procura não constrangido deve crescer a partir de 20,8 MW (megawatt) em 2017 até 51,7 MW (megawatt) em 2035. A taxa de crescimento acumulativo anual está projetada para ser de 5,2% durante o período, resultante de um crescimento significativo na procura das categorias “grande comercial e industrial” e “pequenos comerciais” (com taxas de crescimento acumulativo anual de 18,4% e 8,1%, respetivamente), bem como um crescimento moderado da procura da categoria de clientes residenciais (5,3%). O menor crescimento esperado na categoria residencial é devido à expectativa de que o acesso à energia elétrica deve chegar a aproximadamente 90% em 2025, o que significa que o aumento da procura dos clientes depois de 2026 é essencialmente um resultado do crescimento demográfico.

Figura 8: Projeções de crescimento da procura no período 2018-2035 prevista para os sistemas interligados em São Tomé



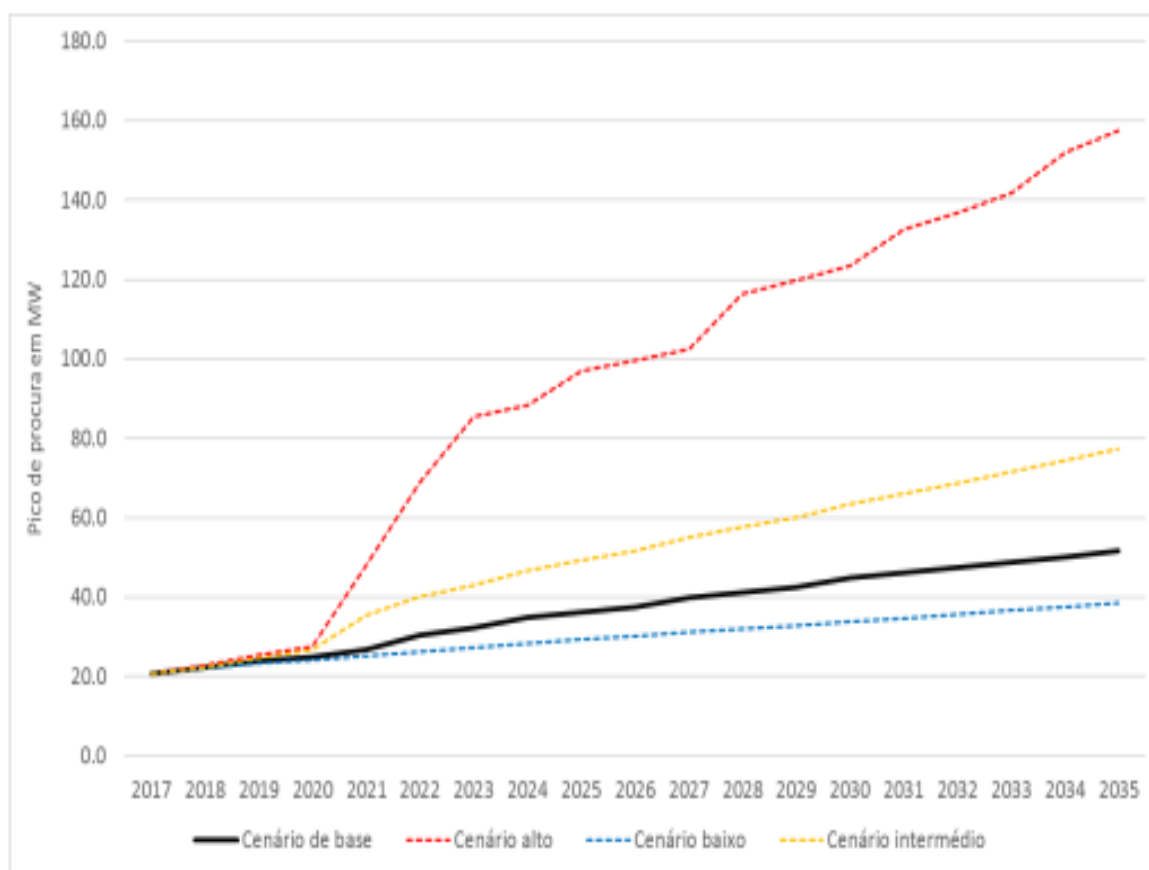
As projeções para Príncipe, sob as premissas do caso base e como apresentadas na figura 9 abaixo, mostram que o pico de procura não constrangido deve crescer a partir de 1,9 MW (megawatt) em 2017 até 3,9MW em 2035. A taxa de crescimento acumulativo anual (CAGR) está projetada para ser de 4% durante o período, resultante de um crescimento significativo na procura das categorias “grande comercial e industrial” e “pequenos comerciais” (com taxas de crescimento acumulativo anual de 18,5% e 8,5%, respetivamente), bem como um crescimento moderado da procura da categoria de clientes residenciais (3,8%). O menor crescimento esperado na categoria residencial é devido ao fato de que o acesso à eletricidade já é muito elevado em 2017 (96%), o que significa que o aumento da procura será essencialmente resultado do crescimento demográfico.

Figura 9: Projeções de crescimento da procura no período 2018-2035 prevista para os sistemas interligados no Príncipe



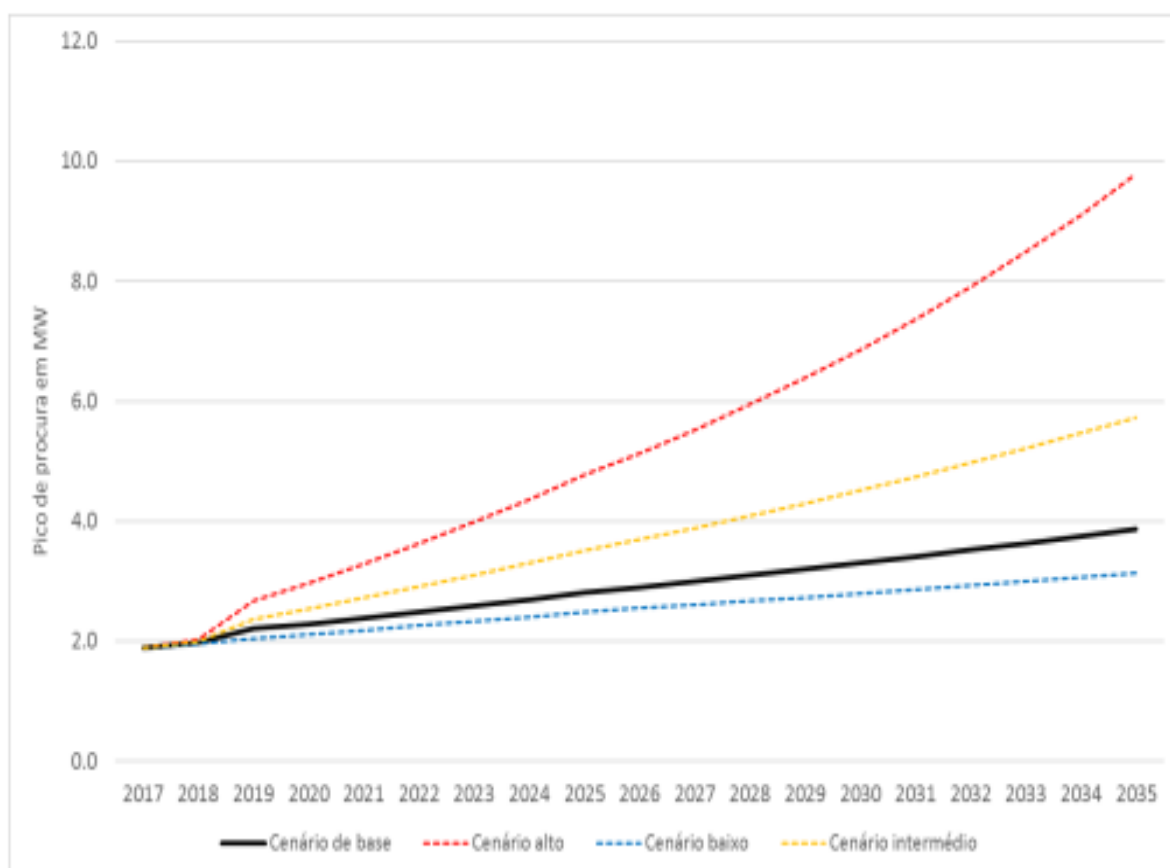
Segundo Miguez (2018), uma seleção de casos de sensibilidades foi considerada em adição ao caso base: procura alta, baixa e intermediária. O caso de procura alta é uma representação muito otimista sobre a evolução futura da procura, onde todos os grandes projetos industriais na *timeline* atual seriam encomendados, e teria um consumo agregado igual ao previsto pelas agentes oficiais. Os casos de procura baixa e intermediária representam as alternativas mais realistas para a comparação com o caso base. O caso de procura baixa tem uma visão mais conservadora do que o caso base sobre a colocação de grandes projetos industriais intensivos em energia e novas ligações, enquanto o caso intermediário tem uma visão menos conservadora do que o caso base nestes dois aspetos. Em São Tomé, por volta de 2025, a previsão da procura de pico caso alto (96,9 MW (megawatt)) e caso intermediário (49,2 MW (megawatt)) está projetada para ser de 168% e 36% mais elevada do que no caso de base (36,2 MW (megawatt)) respetivamente; enquanto a procura de pico no caso baixo (29,4 MW (megawatt)) é projetada para ser 19% menor do que no caso de base. Em 2035, a previsão da procura de pico no caso alto (157,5 MW (megawatt)) e intermediário (77,3 MW (megawatt)) está projetada para ser de 205% e 50% mais elevada do que no caso de base (51,7 MW (megawatt)) respetivamente; e a procura de pico no caso baixo (38,6 MW (megawatt)) é projetada para ser 25% menor do que no caso de base.

Figura 10: Casos de sensibilidade em São Tomé



Migues (2018) acrescenta que, no Príncipe, em 2025, a previsão da procura de pico no alto (4,8 MW (megawatt)) e casos intermediários (3,5 MW (megawatt)) são 70% e 25% mais elevada do que no caso de base (2,8 MW (megawatt)) respetivamente; enquanto a procura de pico no caso baixo (2,5 MW (megawatt)) é 11% menor do que no caso de base. Em 2035, a procura de pico no alto (9,8 MW (megawatt)) e intermediário (5,7 MW (megawatt)) é de 153% e 48% mais elevada do que no caso de base (3,9 MW (megawatt)); enquanto a procura de pico no caso baixo (3,1 MW (megawatt)) é 19% menor do que no caso de base. Em Príncipe, por volta de 2025, a previsão da procura de pico caso alto (4,8 MW (megawatt)) e caso intermediário (3,5 MW (megawatt)) está projetada para ser de 70% e 25% mais elevada do que no caso de base (2,8 MW (megawatt)) respetivamente; enquanto a procura de pico no caso baixo (2,5 MW (megawatt)) é projetada para ser 11% menor do que no caso de base. Em 2035, a previsão da procura de pico no caso alto (9,8 MW (megawatt)) e intermediário (5,7 MW (megawatt)) está projetada para ser de 153% e 48% mais elevada do que no caso de base (3,9 MW (megawatt)) respetivamente; e a procura de pico no caso baixo (3,1 MW (megawatt)) é projetada para ser 19% menor do que no caso de base.

Figura 11: Casos de sensibilidade no Príncipe



3.10. Sistemas de produção de energia

3.10.1. Produção térmica

Migues (2018) diz que, as turbinas a gás e motores alternativos foram consideradas como geradores candidatos de energia térmica. O tamanho da unidade de referência para os novos motores alternativos foi fixado em 4,40 MW (megawatt) para São Tomé e 0,65 MW (megawatt) para Príncipe. O tamanho da unidade foi deliberadamente limitado, tendo em vista a relativamente pequena procura de pico sem restrições nas ilhas (aproximadamente 21 MW (megawatt) em São Tomé e 2 MW (megawatt) em Príncipe, em 2018. Mesmo que geradores maiores iriam se beneficiar de economias de escala, a sua instalação comprometeria a estabilidade do sistema e causaria grandes quantidades de restrição de carga em caso de falha do que as unidades menores. O tamanho de referência para novas turbinas a gás foi fixado em 5,10 MW (megawatt). Não foi possível identificar uma turbina a gás de menor tamanho adequado para a produção *dual* de energia. Com base em dados publicamente disponíveis dos fabricantes, os motores convencionais tipicamente têm uma maior

eficiência térmica que as turbinas de gás que funcionam em modo ciclo aberto. Além disso, e apesar do fato de que isto não é formalmente representada na análise económica, vale acrescentar que os motores alternativos são capazes de queimar uma gama mais ampla de combustíveis do que as turbinas a gás deste tamanho. Todas as opções térmicas consideradas foram opções em terra, uma vez que não se tem conhecimento de nenhum precedente de centrais térmicas flutuantes (também conhecidas como “*powerbarges*”) disponíveis com unidades tão pequenas quanto as exigidas em São Tomé e Príncipe.

Com base na análise dos preços dos combustíveis, concluiu-se que todas as novas unidades deveriam estar operando com o *HFO (heavy fuel oil)* o mais cedo possível. Nesta base, todas as novas unidades térmicas em São Tomé deverão estar localizadas em Neves, perto do atual terminal de *LFO (light fuel oil)* para minimizar o armazenamento adicional e as despesas de infraestrutura. O tipo de motores alternativos considerados na análise tem a capacidade de queimar *HFO (heavy fuel oil)*, *LFO (light fuel oil)* ou gás natural. Para cada tipo de motor, foram considerados três centrais candidatas separadas, cada uma utilizando um tipo de combustível diferente. Geralmente é mais cara de operar uma instalação de *HFO (heavy fuel oil)* do que uma *LFO (light fuel oil)*, porque *HFO (heavy fuel oil)* é mais viscoso do que *LFO (light fuel oil)*, e requer armazenamento aquecido para manter uma temperatura mínima de 40°C, em comparação com 10°C para *LFO (light fuel oil)*. Consequentemente, um *mark-up* de 20% foi utilizado para derivar o *OPEX* (despesas operacionais) de centrais *HFO (heavy fuel oil)* em relação de centrais *LFO (light fuel oil)*.

3.10.2. Produção hídrica

O Plano Geral de Desenvolvimento de Recursos de Água da República Democrática de São Tomé e Príncipe, preparado por CECI, em 2008, identificou uma série de potenciais projetos hidroelétricos que poderiam ser desenvolvidas em São Tomé e Príncipe. Foram considerados dois “projetos candidatos de reabilitação”: Guegue (360 kVA) e Augustinho Neto (400 kVA).

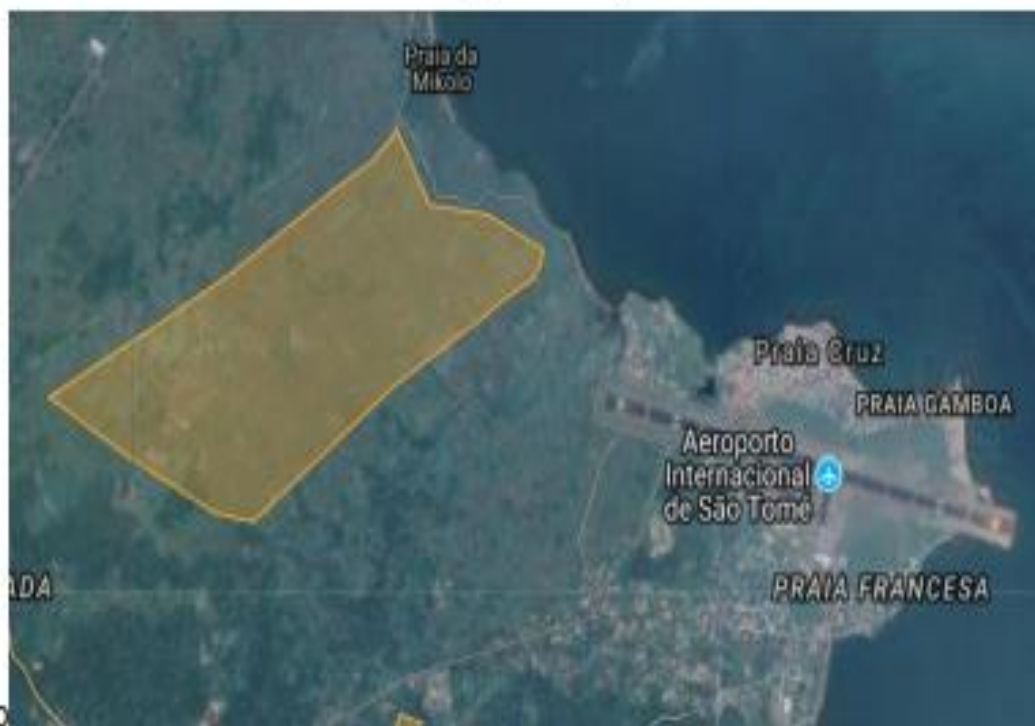
3.10.3. Energia solar

Por Miguez (2018), os principais critérios para selecionar um local potencialmente adequado são:

- Topografia favorável - muitos locais na ilha seriam montanhosos demais para acomodar uma central fotovoltaica;
- Condições favoráveis de sombreamento - muitos locais na ilha seriam inadequados, uma vez que os painéis fotovoltaicos seriam sombreados por árvores e vegetação circundantes.

Acredita-se que o local identificado ao lado do aeroporto é ideal no sentido em que parece plano e sem sombra. No entanto, recomenda-se que estudos detalhados de avaliação dos recursos solares sejam realizados para confirmar a adequação deste local, e investigar se existem outros locais mais adequados na ilha. Além disso, a avaliação do local precisará considerar as regulamentações internacionais estabelecidas pela Organização da Aviação Civil Internacional, já que o reflexo da luz do sol proveniente dos painéis pode ser considerado perigoso para o tráfego aéreo em volta e no aeroporto. Para fins de exaustividade, também se considera uma central candidata de 2 MW (megawatt) com painéis solares flutuando na água do mar. Estas demonstraram ter a vantagem de apresentar maiores rendimentos energéticos do que painéis fotovoltaicos terrestres com as mesmas especificações, pois os painéis são arrefecidos pelos ventos constantes e pela evaporação da água, o que, em algumas circunstâncias, pode compensar o acréscimo de investimento de capital associado a configuração flutuante.

Figura 12: Local identificado ao lado do aeroporto via satélite



Em ambos os casos (sistema de São Tomé e Sistema do Príncipe), deixando ao lado as razões de localização, a capacidade solar total tem sido limitado para evitar efeitos indesejáveis na estabilidade elétrica da rede. A experiência regional, em circunstâncias semelhantes, mostrou que, a esse respeito, é melhor limitar a capacidade instalada de centrais solares individuais a não mais de 10% da demanda máxima do sistema, a menos que estudos de integração de renováveis provem o contrário. No caso do sistema de São Tomé e Príncipe, devem ser realizados estudos de transmissão adicionais em cada ilha para determinar a capacidade solar máxima (por local e no total) que o sistema pode acomodar, com o conjunto atual de ativos de rede previstos, sem comprometer a estabilidade da carga do sistema.

Ambos os locais têm as vantagens de ser planos, sem vegetação alta nas proximidades e estão perto de centros de infraestrutura e de carga existentes. Para ambos os locais, assumiu-se que o fator médio de central que pode ser obtido com sistemas fotovoltaicos solares montados no solo seria de 17.2%. Sistemas solares fotovoltaicos flutuantes também foram incluídos como candidatos na análise, porque esta tecnologia tem feito avanços nos últimos anos e o número de projetos de referência em todo o mundo está crescendo. O fator de central assumido para centrais candidatas flutuantes foi de 17,5%, o que é ligeiramente maior do que a assumida para uma central montada no chão do mesmo tamanho, para representar a influência positiva do arrefecimento do mar sobre a eficiência térmica. Ao mesmo tempo, as premissas de custo de capital assumidas para sistemas fotovoltaicos flutuantes são 20% mais elevados do que os utilizados para a energia solar montada no solo.

3.10.4. Armazenamento de bateria

Migues (2018) também considerou soluções híbridas usando painéis fotovoltaicos e armazenamento de baterias, com um custo de investimento total mais do que dobrando o custo de investimento por kW (quilowatt) de sistemas fotovoltaicos comuns, mas com um fator de coincidência significativamente maior (0,7). As suposições técnicas foram derivadas de simulações de armazenamento realizadas no software Homer Pro ©.

As fontes renováveis de energia, como solar e eólica, produzem eletricidade de forma intermitente durante o dia e ao longo do ano, o que dificulta antecipar sua contribuição para atender a demanda de eletricidade no sistema. Além disso, a produção de energia das centrais solares é tipicamente máxima por volta do meio-dia (quando a irradiação solar é mais alta), enquanto a procura máxima por eletricidade no sistema é tipicamente experimentada à noite. Como o Governo de São Tomé e

Príncipe pretende aumentar a quota de fontes renováveis no mix energético, o armazenamento de energia pode tornar-se uma solução cada vez mais atrativa para compensar a intermitência de fontes renováveis e facilitar a sua integração. O tipo mais comum de armazenamento de energia é a tecnologia de baterias. As tecnologias de bateria variam de ácido-chumbo a baterias de íon-lítio, à base de sódio e de fluxo. A Lithium-Ion é hoje a tecnologia mais madura para armazenar eletricidade durante um período de poucas horas, permitindo, por exemplo, usar a energia produzida por uma turbina eólica, ou a produzida por um central solar fotovoltaica na noite seguinte à produção. As baterias de lítio-íon também são populares devido à sua alta eficiência, baixa auto descarga, robustez, leveza e ao fato de que são livres de manutenção. O custo do armazenamento de baterias tem impedido a implantação de tecnologias de armazenamento nas últimas décadas. No entanto, os sistemas de tecnologia de armazenamento de baterias continuam a ser desenvolvidos com melhoria de desempenho e redução de custos.

3.10.5. Produção eólica

Segundo Mígues (2018), um relatório da UNEP RISO Centro indicou que o recurso natural vento é relativamente fraco em São Tomé. Porém, com o objetivo de exaustividade, um parque eólico candidato de 2MW (megawatt) foi incluído entre as centrais candidatas para comparação. A localização do candidato permanece não identificado na análise. Por motivos de topografia e disponibilidade de espaço, a localização mais adequada em São Tomé pode estar ao lado do aeroporto.

3.10.6. Biomassa

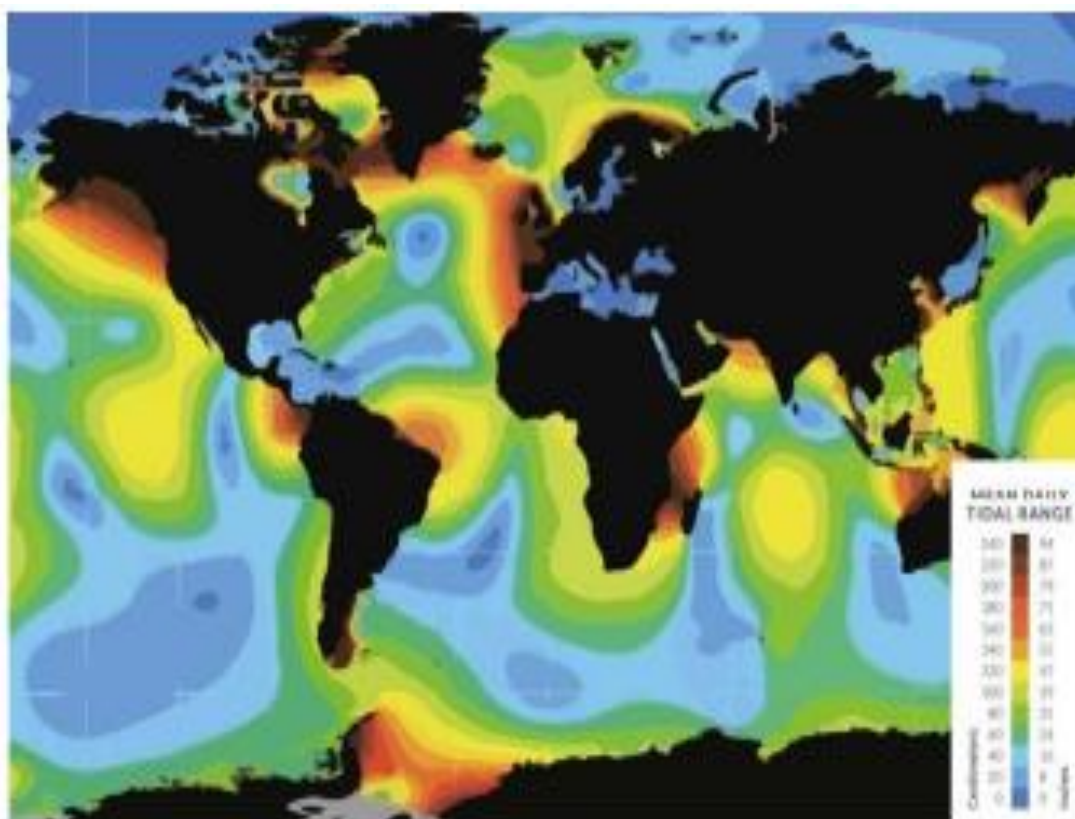
Mígues (2018) cita que a opção de queimar resíduo de coco numa instalação de combustão de biomassa em São Tomé foi considerada, com base em reuniões com o produtor de óleo de coco Valudo. A perspectiva de utilização de resíduo de coco do processo de fabricação uma vez que a fábrica atinja sua meta de produção de 20.000 cocos processados por dia foi avaliada por estudantes da Paris Tech Universidade MINES (Paris, França). O estudo mostra que o potencial de resíduo de coco para produzir eletricidade e injetar o excesso para a grelha é muito limitado em escala, mesmo quando alimentada por resíduo de 20.000 cocos por dia, e não é necessariamente financeiramente competitivo contra a opção alternativa de uma central que produz apenas calor. Não se identificou fontes alternativas adequadas para a cogeração com biomassa em quantidade suficiente e com

propriedades caloríficas suficientemente atraentes em São Tomé ou em Príncipe. Assim, as centrais de biomassa candidatas não foram considerados neste estudo.

3.10.7. Energia das marés e das ondas

Segundo Migues (2018), o potencial aproveitamento da energia das marés depende principalmente do intervalo das marés. Apenas alguns países instalaram energia de maré até hoje, por exemplo: Coreia do Sul, França, Reino Unido e Canadá. Estes são os países com maiores faixas médias de maré e têm a maior capacidade de energia das marés instalada do mundo. Como mostrado na figura 13 abaixo, as condições de maré de São Tomé são menos vantajosas do que nos países mencionados acima, sugerindo um potencial mais limitado de energia das marés.

Figura 13: Condições de marés em São Tomé e Príncipe



Fonte: World Energy Council. World energy resources 2016: Marine Energy

Enquanto a energia das marés usa o ciclo diário das marés para gerar eletricidade, o poder das ondas usa a força cinética das ondas para produzir eletricidade. Este último parece mais apropriado para São Tomé. Existem vários tipos de *Wave Energy Converters* (WECs), que são conversores de energia das ondas, mas esta tecnologia ainda é menos desenvolvida do que os fluxos de marés. Até o momento, apenas alguns projetos comerciais de energia das ondas foram desenvolvidos, refletindo a imaturidade atual e os altos custos das tecnologias de energia das marés e das ondas. A Agência Internacional de Energia ainda categoriza ambas as tecnologias como “tecnologias em teste piloto”.

Devido ao baixo nível de maturidade, essas tecnologias estão atualmente entre as opções mais caras para produção de energia. Como tal, não foram consideradas como tecnologias apropriadas para São Tomé nesta análise.

3.10.8. Gás natural

Migues (2018) cita que, a análise do gás natural como uma potencial alternativa para os derivados de petróleo é particularmente complexa. Apesar dos preços de gás natural no mercado internacional serem mais atraentes do que os derivados de petróleo por unidade de energia equivalente, é essencial considerar todos os blocos da cadeia de abastecimento desde a extração até a central de energia na análise. No caso de São Tomé e Príncipe, a soma de todos esses custos adicionais sobrepõe largamente qualquer vantagem econômica dos preços do gás natural sobre *HFO* (*heavy fuel oil*) e até mesmo preços *LFO* (*light fuel oil*). O fator chave impactando os preços de entrega de gás natural para São Tomé é que a ilha não tem acesso ao gás natural por tubaria, portanto, precisa importar gás natural liquefeito (GNL), e evaporar o mesmo antes da utilização.

3.11. Outras necessidades de infraestrutura

Migues (2018) diz que, a análise *LCOE* (*Level Energy Cost*) indica que o *LCOE* (*Level Energy Cost*) dos motores alternativos (RICE) que queimam *HFO* (*heavy fuel oil*) é muito menor do que os motores alternativos que queimam *LFO* (*light fuel oil*). Em outras palavras, transformar motores alternativos com *HFO* (*heavy fuel oil*) é mais eficiente do que transformá-los com *LFO* (*light fuel oil*). Portanto, as novas unidades térmicas serão transformadas com *HFO* (*heavy fuel oil*) assim que ele estiver disponível na ilha. No entanto, apesar do fato de que a análise mostra que, de acordo com as suposições do caso base, o GNL (gás natural liquefeito) atualmente não é competitivo

em relação ao *HFO (heavy fuel oil)*, isso pode mudar no futuro. Portanto, todas as novas unidades térmicas devem ser unidades de combustível dual (isto é, capazes de queimar *LFO (light fuel oil)*, *HFO (heavy fuel oil)* e gás natural). Os ativos existentes de transporte e armazenamento de combustível foram projetados para o *LFO (light fuel oil)*. Portanto, novas instalações de transporte e armazenamento serão necessárias. Esta seção fornece custos indicativos para esses investimentos adicionais em infraestrutura.

3.12. Avaliação dos requisitos de armazenamento

Migues (2018) cita que, os requisitos de armazenamento foram estimados com base na suposição de que as principais instalações precisam ser capazes de armazenar o equivalente a três meses de necessidade de combustível na central. Uma vez que foi estimado que cada central de *HFO (heavy fuel oil)* de 4,4 MW (megawatt) exigirá aproximadamente 650 m³ (metro cúbico) de combustível pesado em um mês, os requisitos de armazenamento total por unidade são de aproximadamente 2.000 m³ (metro cúbico).

3.13. Avaliação do impacto direto do carbono no plano de desenvolvimento

Segundo Migues (2018), a figura 14 compara as emissões diretas globais anuais de CO₂ (dióxido de carbono) provenientes de produção de energia caso do plano de desenvolvimento para São Tomé e Príncipe recomendado pelo estudo com as emissões diretas de CO₂ (dióxido de carbono) se a mistura atual de energia (92% de diesel em São Tomé e 100% de diesel em Príncipe) fosse mantida. A figura 15 mostra as emissões de CO₂ (dióxido de carbono) global anual diretos de produção de energia no âmbito do plano de desenvolvimento recomendado pelo estudo ESTA, em kgCO₂e (quilograma de dióxido de carbono emitido) por MWh (megawatt-hora) emitidos por centrais elétricas. Os comentários a seguir podem ser feitos:

- Em termos gerais, a implementação do *LCDP (Least Cost Development Plan)* permitiria evitar 700.000 toneladas de CO₂e (dióxido de carbono emitido) entre 2018 e 2035, e, portanto, reduzir as emissões de carbono em média por mais de 26% em relação ao mesmo período;
- Sob o *LCDP (Least Cost Development Plan)*, as emissões médias de carbono por unidade de energia deverão manter-se estáveis no curto prazo (2018-2020), o que corresponde à aplicação de um programa de emergência térmica. No entanto, espera-se que as emissões médias de carbono por

unidade de energia diminuam drasticamente à medida que novos e reabilitados projetos hidroelétricos sejam desenvolvidos (2020-2023) e manter-se estáveis ao longo prazo (2023-2035).

As análises efetuadas têm que, necessariamente, de ser entendidas e contextualizadas num momento temporal, que é o presente. Assim, baseiam-se num conjunto de valores que retratam as realidades atualmente existentes, seja a nível dos valores ambientais, seja da ocupação humana do território ou outras infraestruturas em presença, e que são, conseqüentemente, válidas apenas enquanto esses mesmos pressupostos se mantiverem.

Figura 14: Emissões anuais de CO2e do sistema de geração (em Tons de CO2e)

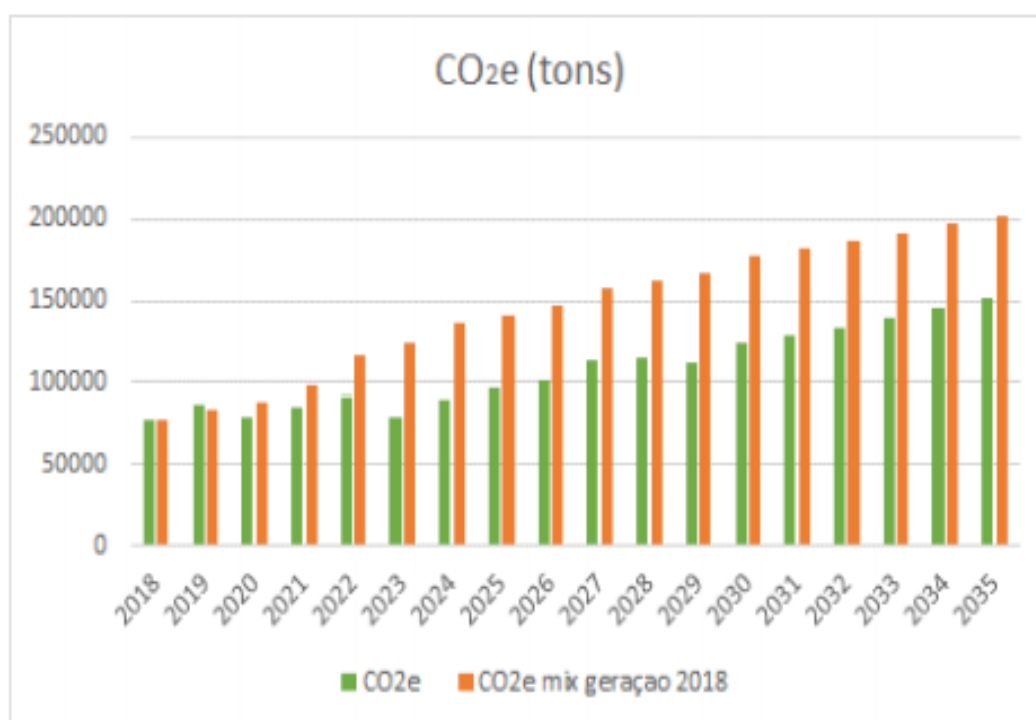
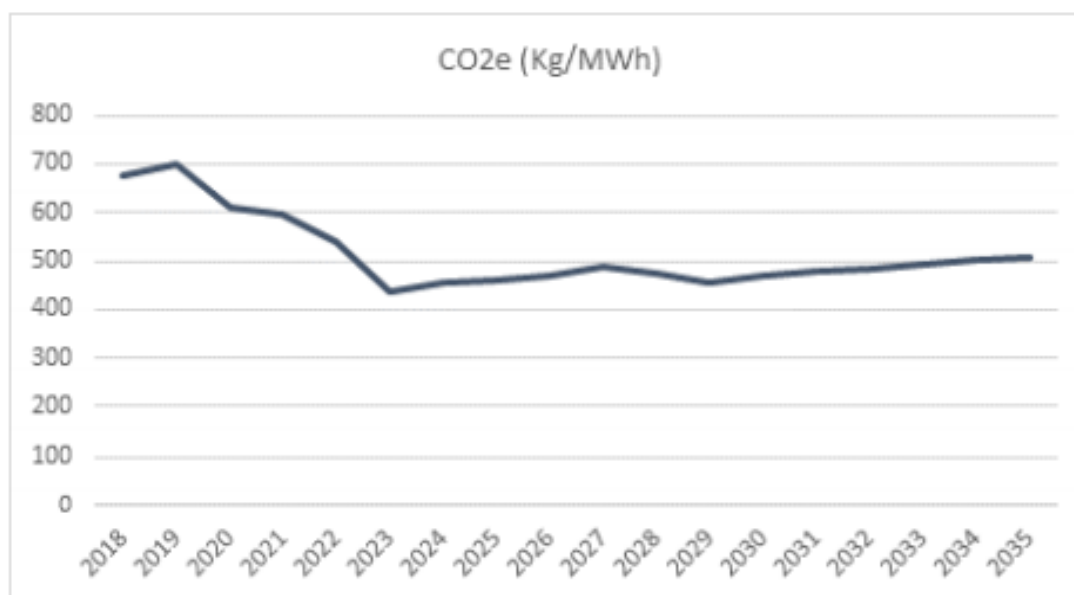


Figura 15: Média anual de CO₂e por unidade de energia despachada pelas centrais de geração



4. Análise e discussão dos resultados

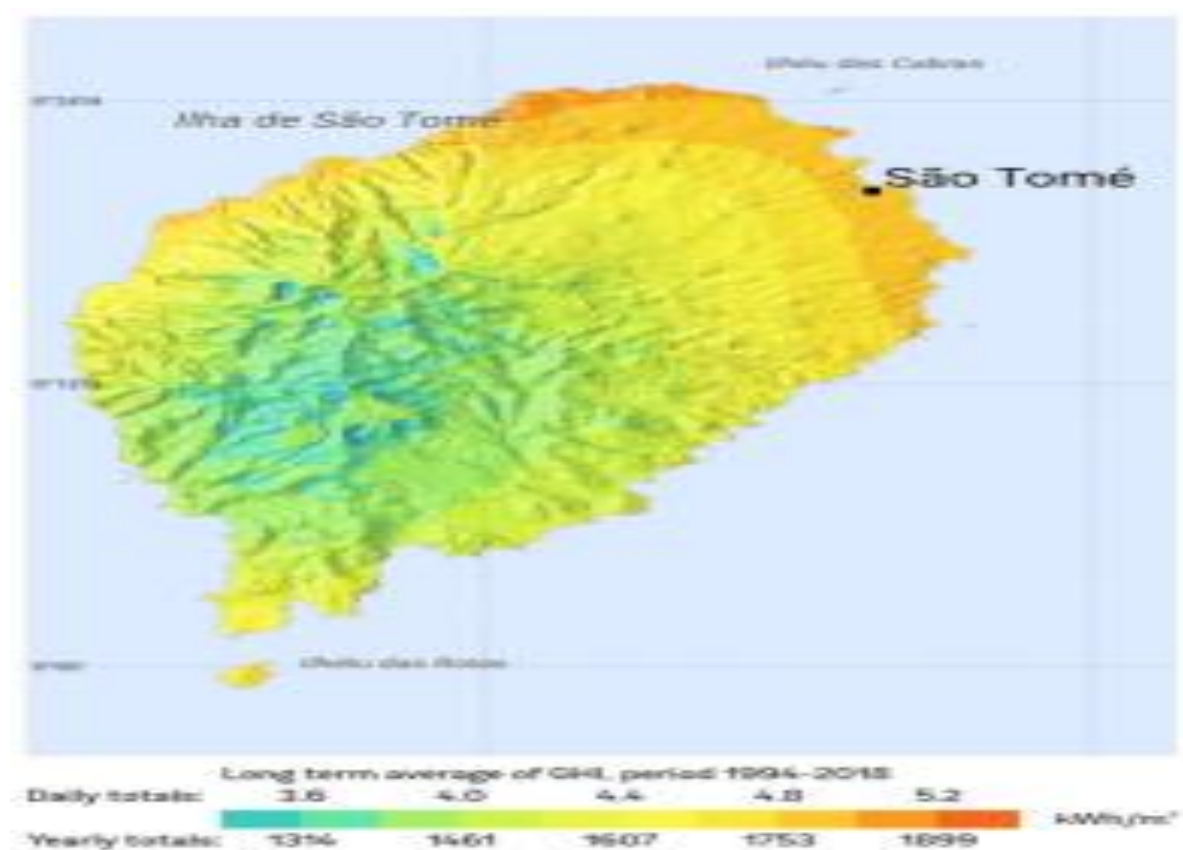
As fontes renováveis de energia abordadas estão em crescente desenvolvimento e podem vir a ter uma enorme preponderância na geração energética de São Tomé e Príncipe. São Tomé e Príncipe tem características que o tornam uma região com potencial para produção de energia visando a sua autossuficiência, sendo este um fator importantíssimo no desenvolvimento socioeconômico e de sustentabilidade socioambiental.

Mudanças na produção de energia em São Tomé e Príncipe devem ser encarradas como uma oportunidade de inovação tecnológica, com vista a expandir o acesso à energia, melhorar a segurança e eficiência da mesma, reduzir os níveis atuais de pobreza energética e reduzir a dependência nos combustíveis fósseis.

Não há recursos de petróleo ou de gás natural comprovados, *onshore* ou *off-shore*, em São Tomé e Príncipe, portanto, os combustíveis terão de ser importados.

Segundo Neto (2018), a irradiação global horizontal média em São Tomé é em torno de 4,5 kWh/m² (quilowatt-hora por metro quadrado) ao dia, com recurso solar abundante principalmente na região Norte do país, como ilustra a figura 16.

Figura 16: Irradiação global horizontal média em São Tomé



Apesar dos níveis de irradiação propícios para a produção fotovoltaica, questões relacionadas ao elevado custo inicial de projeto, ausência de incentivos para aquisição e necessidade de importação de equipamentos, faz com que apenas alguns sistemas fotovoltaicos de microprodução listados na tabela 2 foram implementados no país.

Tabela 2: Sistemas fotovoltaicos instalados São Tomé

Projeto	Capacidade Instalada (kW)	Financiador
Sistemas em escolas rurais	8,00	Governo -Coop. Portuguesa
Sistemas em cooperativas	12,00	Governo e PNUD
Iluminação pública solar	-	Fundos internacionais
Hotel Eco. Praia Inhame	30,00	Privado
Rádio Comunitária	9,60	Fundos internacionais
Sistema Cooperativa Agrícola	2,00	AECID
Estações Meteorológicas	-	GEF
Associação Mengai	1,80	Coop.Japonesa
Assoc. de pescadores	1,20	Coop.Japonesa
Central Fotovoltaica CST	5,00	CST
Residência	0,51	Privado
Edifício Bairro	0,51	Privado

Em São Tomé e Príncipe, a política de regulamentação de geração renovável contempla apenas plantas de larga escala conectadas à rede. A Resolução n°26 de 2019 autoriza projetos que variam de 10 MW (megawatt) a 15 MW (megawatt) prevendo uma tarifa *feed-in* de 0,105 USD/kW (dólar americano por quilowatt), não havendo, portanto, políticas de compensação ou venda de excedentes para consumidores conectados à rede. Com essa autorização para realização dos projetos de energia solar fotovoltaica em São Tomé com a assinatura da resolução acima descrita, existe a possibilidade de acréscimo na expectativa de que o país regule outros empreendimentos de energia solar de menor porte, porém essa possibilidade ainda não se concretizou.

Teoricamente falando, uma vez incorporadas as atualizações, as redes de São Tomé e Príncipe devem ser capazes de funcionar dentro dos critérios de funcionamento normais durante uma situação de desempenho normal do sistema e durante uma situação de perturbação que provoque uma indisponibilidade simples do sistema, fazendo com que as constantes falhas de energia atualmente registadas sejam suplantadas.

Segundo Miguez (2018), os resultados da análise mostram que cerca de 800 sistemas de energia solar seriam necessários em São Tomé em 2035 para eletrificar centros de carga fora da grade identificados no relatório de previsão de procura. Esta é baseada em 732 projetados no distrito de Cauê, 44 no distrito de Lembá e 23 no distrito de Lobata. As despesas de capital acumulado necessárias para implementar este programa durante o período de 2020 a 2035 são estimadas em valores muito altos.

5. Conclusão

De acordo com Fortes et al. (2020), as energias renováveis (ER) têm maior relevância, por serem menos poluentes, “inesgotáveis”, acessíveis e de baixo custo, fonte de inserção econômica e social, e pela possibilidade de substituir os combustíveis fósseis em algumas aplicações, tornando-se ideal para minimizar parte dos problemas ambientais que o Mundo enfrenta.

Cada barreira possui diferentes impactos em cada país, mostrando que não é adequado ter a mesma abordagem para todas as situações. Além disso, todas as barreiras se relacionam e impactam umas às outras (Mendonça et al., 2020).

Segundo Handayani et al. (2019), “O alto gasto inicial para instalação de tecnologias renováveis é um dos fatores que dificultam a implantação de energias renováveis.”

As energias renováveis contribuem para a geração de rendimento e a diminuição da taxa de desemprego. As fases de projeto de instalação, operação e manutenção para serem executadas necessitam de mão de obra local.

Depois de uma análise cuidadosa de alguns documentos e de retratar possíveis soluções energéticas é permitido concluir que a solução energética mais viável seria uma mistura de energia solar e energia hidroelétrica, com foco mais acentuado na última, pois, apesar de ser um país tropical, a captação solar no mesmo não é tão vantajosa por causa da quantidade de vegetação presente, o que influencia a incidência solar sobre o país, além de que, o país em questão possui uma quantidade significativa de recursos hídricos a serem explorados. Apesar de todas as vantagens citadas ao longo deste trabalho, são as questões financeiras e econômicas que restringem os incentivos ao investimento em tecnologias de energias renováveis no país.

Referências

Handayani, K., Krozer, Y., & Filatova, T. (2019). From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning. *Energy Policy*, 127, 134-146.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518307833>

Mendonça, A. K., Braga, T. G., Barni, G. D., Zamparetti, L. d., & Bornia, A. C. (2020). Estado da arte das pesquisas sobre barreiras a difusão de energias renováveis: uma revisão da literatura. *RG&SA*, 9, 156-183.

http://portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9625/5277

Migues, C. (2018). *Plano de Desenvolvimento de Menor Custo para São Tomé e Príncipe*. Reino Unido: Ricardo Energy & Environment, 27-29.

Fortes, A. G., Mutenda, F. M., & Raimundo, B. (2020). Energias Renováveis em Moçambique: disponibilidade, geração, uso e tendências futuras. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 23(1), 6-27.

<https://www.revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/681>

Pacheco, F. *Energias Renováveis: breves conceitos*. Conjuntura re Planejamento, Salvador: SEI, n 149, p.4-11, outubro, 2006. <https://pt.slideshare.net/juniorpsouza/conceitos-energias-renovveis>

São Tomé Príncipe. Regime Jurídico da Organização do Sector Elétrico Nacional. 2014.

São Tomé Príncipe. Orgânica do XVII Governo Constitucional. 2019.

Amram, T. Plano de Desenvolvimento de Menor Custo. [S.l.], 2018.

Esperança, H. B. Stability and Economic Impact of Interconnecting a Utility-scale PV Generation System of Sao Tome Island. Tese (Doutorado), 2015.

São Tomé Príncipe. Relatório de análise da política energética e lacunas de dados. 2021.

São Tomé Príncipe. Plano Geral de Desenvolvimento de Recursos de Água da República Democrática de São Tomé e Príncipe. 2008.

Neto, B. Recursos e Projectos de Energias Renováveis. 2018.

Marion, B. et al. Performance parameters for grid-connected PV systems. Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, n. February, p. 1601–1606, 2005. ISSN 01608371.

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., & Gorini, R. (2019).

The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300082>

Maji, I. K., Sulaiman, C., & Abdul-Rahim, A. S. (2019). Renewable energy consumption and economic growth nexus: A fresh evidence from West Africa. *Energy Reports*, 5, 384-392.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718302269>

Brutinel, M. et al. Energy Access Diagnostic Report Based on the Multi-Tier Framework: São tomé and príncipe. [S.l.], 2019.