



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA – UEFS

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO – PPPG



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM EM CIÊNCIAS DA
TERRA E DO AMBIENTE – PPGM**

Paulo Roberto Ribeiro Morais

**Mapeamento do Potencial de Geração Fotovoltaica: uma Conquista
sustentável**

**Feira de Santana
2023**

MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA: UMA CONQUISTA SUSTENTÁVEL

Paulo Roberto Ribeiro Morais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, da Universidade Estadual de Feira de Santana, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Moreira de Souza Júnior

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Jocimara Souza Britto Lobão

Feira de Santana

2023

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

M826 Morais, Paulo Roberto Ribeiro

Mapeamento do potencial de geração fotovoltaica: uma conquista sustentável / Paulo Roberto Ribeiro Morais. – 2023.

140f.: il.

Orientador: Carlos Moreira de Souza Júnior.

Coorientadora: Jocimara Souza Britto Lobão.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Feira de Santana, 2023.

1. Fontes renováveis. 2. Energias alternativas. 3. Geração fotovoltaica.
I. Título. II. Souza Júnior, Carlos Moreira, orient. III. Lobão, Jocimara Souza Britto, coorient. IV. Universidade Estadual de Feira de Santana.

CDU 620.91

Paulo Roberto Ribeiro Morais

**"MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA: UMA CONQUISTA SUSTENTÁVEL"**

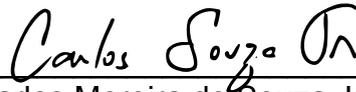
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Moreira de Souza Junior.

Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Data de aprovação: 18 de abril de 2023.

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Moreira de Souza Junior - Orientador
Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - IMAZON



Profª Drª Stefânia de Oliveira Silva
Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB



Prof. Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini
Universidade Federal da Bahia - UFBA

À minha família e a todos que me amam.

*“Dores todos temos e sempre teremos, mas que nossas dores nunca nos tenham.”
(Lilian Ribeiro)*

Agradecimentos

À Força Maior que move e sustenta tudo que existe.

Ao meu pai Pascoal (*in memoria*) e à minha mãe Celestina, por todo amor, sacrifício e abnegação durante toda a vida, muitas vezes cortando na própria carne para priorizar a educação dos filhos. À minha irmã Pollyana, por todo apoio e inspiração de garra, força de vontade e resiliência. À minha avó Maria das Mercês por ser um modelo de simplicidade, apoio, fé e motivação.

Aos colegas, amigos e alunos do IFBA Feira de Santana pelo incentivo e apoio em todos os momentos.

Ao professor Carlos Souza e à professora Jocimara Lobão pela parceria e orientação. Não somente por serem pesquisadores do mais alto nível, mas principalmente por não perderem de vista o elemento humano no processo. Por mais professores nos PPGs brasileiros como vocês!

Aos professores Carlos Lentini e Stefânia Oliveira pela participação desde a banca de qualificação. As contribuições dos senhores foram valiosíssimas e somente agregaram no resultado final.

Aos colegas da Turma XV do Mestrado do PPGM. Infelizmente a pandemia global da Covid-19 impediu que o nosso contato de forma presencial fosse mais constante, mas a interação gerada garantiu laços de companheirismo importantes. Desejo sucesso a todos!

À UEFS, ao PPGM e a todas as instituições públicas de ensino, pesquisa e extensão deste país, que mesmo em meio a tempos sombrios continuaram e continuarão resistindo. Viva a Universidade Pública!

Lista de Figuras

	Página
Figura 1.1: Fluxo da metodologia integrada da dissertação.....	20
Figura 2.1: Fluxograma da metodologia utilizada na seleção da base de dados bibliográficos.....	29
Figura 2.2: Comportamento do número de publicações de acordo com o ano.....	31
Figura 2.3: Número de publicações por periódico.....	32
Figura 2.4: Composição da base de dados final.....	33
Figura 3.1: Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.....	62
Figura 4.1: mapa de localização de Vitória da Conquista/BA.....	105
Figura 4.2: Distribuição de IGH médio anual em Vitória da Conquista.....	106
Figura 4.3: Fluxograma da metodologia utilizada.....	109
Figura 4.4: Mapas dos critérios de restrição.....	111
Figura 4.5: Mapa de áreas restritas e áreas disponíveis para geração de energia fotovoltaica em Vitória da Conquista.....	113
Figura 4.6: Mapas individuais dos fatores modelados por função Fuzzy.....	115
Figura 4.7: Mapa de potencialidade para geração de energia fotovoltaica em Vitória da Conquista.....	118
Figura 4.8: Mapa do potencial de geração de energia fotovoltaica no município de Vitória da Conquista/BA.....	119
Figura 4.9: Mapas obtidos para cada cenário da análise de sensibilidade.....	122

Lista de Quadros

	Página
Quadro 2.1: Resumo da abordagem das técnicas AMD detectadas na base de dados de análise.....	34
Quadro 3.1: Principais diplomas normativos do setor de energia no âmbito federal...	63
Quadro 3.2: Principais diplomas normativos e convênios aplicados ao setor de energia no Estado da Bahia.....	66
Quadro 4.1: Procedimentos de análise observados na literatura científica....	93
Quadro 4.2: Principais funções Fuzzy utilizadas em mapeamento de potenciais de geração de energia renovável.....	100
Quadro 4.3: Critérios utilizados no mapeamento do potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista/BA.....	107
Quadro 4.4: Parâmetros restritivos considerados no mapeamento do potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista.....	111
Quadro 4.5: Descrição dos fatores utilizados no estudo.....	114

Lista de Tabelas

	Página
Tabela 2.1: Composição da base de dados final de artigos.....	29
Tabela 3.1: Cinco municípios baianos com maior potência instalada de geração por fonte alternativa de energia.....	61
Tabela 4.1: Construção da matriz de comparação M dos critérios.....	98
Tabela 4.2: Escala de comparação entre os critérios.....	98
Tabela 4.3: Variação do índice randômico de acordo com o número de critérios.....	98
Tabela 4.4: Reclassificação do mapa de uso e cobertura da terra.....	114
Tabela 4.5: Matriz de comparação.....	116
Tabela 4.6: Pesos dos fatores obtidos via técnica AHP.....	117
Tabela 4.7: Área correspondente a cada classe de potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista/BA.....	120
Tabela 4.8: Estimativa de produção de energia elétrica.....	120
Tabela 4.9: Variação de pesos para cada cenário analisado.....	120
Tabela 4.10: Áreas em km ² correspondentes a cada classe por cenário.....	123
Tabela 4.11: Comparação dos cenários da análise de sensibilidade com o cenário de referência.....	124

Lista de Siglas e Abreviaturas

AHP – Análise Hierárquica Ponderada

AMD – Análise Multicritério de Decisão

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APP – Área de Preservação Permanente

BWM – Best-Worst Method

CEPRAM – Conselho Estadual de Meio Ambiente

CF – Constituição Federal

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONFAZ – Conselho Nacional de Política Fazendária

CR – Razão de Consistência

DEMATEL – Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory

IDH – Irradiância Horizontal Difusa

IDN – Irradiância Normal Direta

ELECTRE – Elimination et Choix Traduisant la Réalité

Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras S/A

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GD – Geração Distribuída

GEE – Gases de Efeito Estufa

GRA – Grey Relation Analysis

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IGH – Irradiância Global Horizontal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

Incra – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

Inpe – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

ISS – Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza

JCR – Journal Citations Reports

LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia

MAIRCA – MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis

MDE – Modelo Digital de Elevação

MME – Ministério de Minas e Energia

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OWA – Ordered Weighted Average

PASEP – Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PDE – Plano Decenal de Energia

PIB – Produto Interno Bruto

PIS – Programa de Integração Social

PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

REIDI – Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura

RI – Índice Randômico

RS – Revisão Sistemática da Literatura

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIGA – Sistema de Informações de Geração da Aneel

SIN – Sistema Interligado Nacional

SMAA-TRI – Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis

SWARA – Step-wire Weight Assesment Ratio Analysis

TCM-BA – Tribunal de Contas dos Municípios do Estado da Bahia

TOPISIS – Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

TUSD – Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição

USF – Usina Fotovoltaica

VIKOR – Visekriterijumsko Kompromisno Rangiranje

WLC – Weighted Linear Combination

RESUMO

A diversificação da matriz elétrica, pelo uso de fontes renováveis, tem sido estimulada em vários países do mundo para reduzir o uso de combustíveis fósseis, contribuindo para o enfrentamento do aquecimento global. No Brasil, apesar de ter uma matriz essencialmente renovável, há forte dependência da fonte hídrica. Dessa maneira, é importante aumentar a participação de outras fontes renováveis na matriz nacional. Tal tarefa, começa pelo mapeamento do potencial de geração no território para outras fontes. Há estudos que mapearam o potencial energético de fontes renováveis a nível nacional e regional, contudo tais estudos consideram apenas uma variável e são de escala geográfica muito abrangente, o que limita suas aplicações na escala municipal. Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver uma metodologia de mapeamento do potencial de geração de energia renovável, com foco na geração fotovoltaica, em escala local. Para tanto, conduzimos uma revisão sistemática da literatura, com o objetivo de analisar os modelos de mapeamento utilizados na ciência; examinamos o ambiente legislativo brasileiro, para compreender como cada ente federativo pode colaborar com a diversificação da matriz; e, finalmente propomos um modelo para mapear o potencial de geração de energia fotovoltaica e o testamos no município de Vitória da Conquista, Bahia. A revisão sistemática revelou que o mapeamento de potenciais de geração de energia elétrica deve ser feito por meio das técnicas de Análise Multicritério de Decisão, sendo a mais utilizada a Análise Hierárquica Ponderada. Além disso, a carência de estudos de mapeamento do potencial gerador na escala local ficou evidenciada. A análise do ambiente legislativo nacional mostrou que existem poucos normativos no arcabouço legal brasileiro para a produção de energia. Além disso, por força da Constituição Federal de 1988, Estados e Municípios, não podem legislar diretamente sobre o tema, atuando de forma marginal na promoção do uso de fontes de energia sustentáveis. Por fim, o modelo de mapeamento do potencial de energia fotovoltaica, combinou os métodos de Análise Hierárquica Ponderada, de análise Booleana e o modelamento Fuzzy. No modelo que propomos, são geradas cinco classes de potencial de geração de energia fotovoltaicas: áreas restritas, baixo, moderado, alto e excelente. O teste realizado no município de Vitória da Conquista revelou que o território analisado é promissor para geração fotovoltaica, pois 17,62% da área compõe as classes alto ou excelente. Considerando apenas a área da classe excelente, foi estimada uma produção anual de energia elétrica entre 15,9 GWh e 16,4 GWh. O método também tem o potencial para ser aplicado em municípios brasileiros porque usa variáveis e parâmetros genéricos que não são restritos à área de teste.

Palavras-chave: energias alternativas; análise multicritério; energia fotovoltaica; Análise Hierárquica Ponderada; modelagem espacial.

ABSTRACT

The diversification of the electric matrix, through the use of renewable sources, has been stimulated in several countries around the world to reduce the use of fossil fuels, contributing to the fight against global warming. In Brazil, despite having an essentially renewable matrix, there is a strong dependence on the hydroelectric source. Therefore, it is important to increase the participation of other renewable sources in the national matrix. The such task starts by mapping the generation potential in the territory for other sources. Some studies have mapped the energy potential of renewable sources at the national and regional levels, however, these studies consider only one variable and are of a very wide geographic scale, which limits their applications at the municipal scale. This research aims to develop a methodology for mapping the potential of renewable energy generation, with a focus on photovoltaic generation, at a local scale. To this end, we conducted a systematic literature review, to analyze the mapping models used in science; we examined the Brazilian legislative environment, to understand how each federative entity can collaborate with the diversification of the matrix; and finally, we proposed a model to map the potential for photovoltaic energy generation and tested it in the municipality of Vitória da Conquista, Bahia. The systematic review revealed that the mapping of electric power generation potentials should be done using Multicriteria Decision Analysis techniques and, the most used is the Analytic Hierarchy Process. Furthermore, the lack of mapping studies of the generating potential at the local scale was evidenced. The analysis of the national legislative environment showed that there are few regulations in the Brazilian legal framework for energy production. Furthermore, due to the 1988 Federal Constitution, States and Municipalities cannot legislate directly on the subject, acting marginally in promoting the use of sustainable energy sources. Finally, the model for mapping the potential of photovoltaic energy, combined the methods of Analytic Hierarchy Process, Boolean analysis and Fuzzy modeling. In the model we propose, five classes of photovoltaic energy generation potential are generated: restricted areas, low, moderate, high, and excellent. The test performed in the city of Vitoria da Conquista revealed that the analyzed territory is promising for photovoltaic generation since 17.62% of the area composes the high or excellent classes. Considering only the area of the excellent class, annual production of electric energy between 15.9 GWh and 16.4 GWh was estimated. The method also has the potential to be applied in Brazilian municipalities because it uses generic variables and parameters that are not restricted to the test area.

Key words: alternative energies; multicriteria analysis; pohtovoltaic power; Analytic Hierarchy Process; spacial modelling.

Sumário

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Geral	18
1.1.2 Objetivos Específicos	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO E METODOLOGIA GERAL.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
CAPÍTULO 2 – MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT	23
2.1 INTRODUÇÃO	24
2.2 METODOLOGIA.....	26
2.2.1 A Técnica Methodi Ordinatio	27
2.2.2 Busca de Artigos	27
2.3 RESULTADOS E ANÁLISES	30
2.3.1 Composição da Base de Análise.....	31
2.3.2 Síntese da Abordagem Utilizada	35
2.3.2.1 Geração de Energia Solar	36
2.3.2.2 Geração Eólica <i>Onshore</i>	41
2.3.2.3 Geração Eólica <i>Offshore</i>	43
2.3.2.4 Geração Eólica e Solar.....	44
2.3.2.5 Geração Híbrida Solar e Eólica.....	45
2.3.2.6 Outras Fontes.....	46
2.3 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO 3 – A LEGISLAÇÃO E O PAPEL DOS ENTES FEDERATIVOS NA DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	57
RESUMO.....	57
ABSTRACT	57
3.1 INTRODUÇÃO	58
3.2 METODOLOGIA.....	60
3.2 RESULTADOS	62

3.3.1 Principais Normas no Âmbito Federal	63
3.3.2 Principais Normas no Âmbito Estadual	66
3.3.3 Principais Normas no Âmbito Municipal	68
3.4 DISCUSSÃO	70
3.5 CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CAPÍTULO 4 – MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM ESCALA LOCAL: ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA DA CONQUISTA/BA	89
RESUMO.....	89
ABSTRACT	89
4.1 INTRODUÇÃO	90
4.2 REVISÃO DE LITERATURA	92
4.2.1 Padrão de Análise Observado.....	93
4.2.2 Análise Hierárquica Ponderada (AHP)	96
4.2.3 Análise Booleana e Modelagem Fuzzy	99
4.2.4 Levantamento dos Critérios e Parâmetros	100
4.3.5 Integração com SIG.....	103
4.3 METODOLOGIA.....	104
4.3.1 Área de Estudo.....	104
4.3.2 Fluxo Metodológico	107
4.4 RESULTADOS	110
4.4.1 Áreas Restritas	110
4.4.2 Áreas Potenciais	114
4.4.3 Análise de Sensibilidade	120
4.5 DISCUSSÃO	123
4.6 CONCLUSÃO.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	137

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas, tornou-se perceptível a busca pela substituição dos combustíveis fósseis, por fontes renováveis para produção de energia elétrica (SUM et al., 2020). Cetkovic e Buzogany (2016) afirmam que a geração de energia elétrica renovável favorece a economia com criação de empregos e propicia inovações tecnológicas. A substituição da matriz elétrica é também fundamental para as metas globais de redução de emissões de gases de efeito estufa.

As mudanças climáticas e as crises do petróleo ocorridas na década de 1970 são os principais fatores que motivaram as discussões sobre a transição energética (POZO et al., 2020). Assim, os debates globais sobre sustentabilidade passaram a inserir essa questão e, de acordo com Barbado e Leal (2021), merece destaque a 70ª Assembleia Geral das Nações Unidas, realizada em 2015, na qual foi adotada pelos países-membros a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Essa Agenda estabelece os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), dentre os quais encontra-se o ODS-7: “Energia Acessível e Limpa” que trata da obtenção e acesso à energia gerada por fontes limpas.

A matriz elétrica brasileira é considerada uma das mais sustentáveis do mundo. De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021, produzido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 83,7% da energia gerada no Brasil em 2020 foi proveniente de fontes renováveis. Dessa geração, 63,8% tiveram origem na geração hidráulica, 9,2% na energia eólica, 9% na energia da biomassa e 1,7% em energia solar.

Os balanços anuais publicados pela EPE, demonstram que a participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira tem crescido ao longo dos anos. Somente entre 2016 e 2020, houve um acréscimo de 70,35% na participação da energia eólica e de 12.508% em energia solar, na geração de energia nacional (EPE, 2021). Entretanto é inegável a forte dependência da geração hidráulica.

Sempre que o país atravessa um período de secas severas, a produção de energia das hidrelétricas é comprometida, o que leva o operador do sistema a acionar outras fontes de geração com maior frequência, em especial as usinas térmicas

movidas a combustíveis fósseis. No ano de 2020, marcado por um período de estiagem em várias regiões do Brasil, houve um aumento de 9,1% na geração elétrica por meio de derivados de petróleo em comparação com o ano anterior, interrompendo uma sequência de quedas (EPE, 2021).

Além disso existem outros problemas associadas à geração hidrelétrica como emissão de gases de efeito estufa, caso a produção seja inferior a 100 W/m² (SPERLING, 2012), redução da biodiversidade dos peixes (O'HANLEY et al., 2020) e fragmentação do rio pelo aumento da sedimentação (GRILL et al., 2019).

É necessário então, aumentar o investimento em fontes renováveis de energia, não somente como complemento da energia hidrelétrica, mas como parte fundamental da matriz elétrica nacional. Para isso, a investigação do potencial de geração do território é o primeiro e necessário passo.

Alguns estudos em nível nacional e regional foram elaborados nos últimos anos, como o Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017), o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (NEIVA et al., 2017), o Atlas de Bioenergia do Brasil (COELHO et al., 2012), o Atlas Solar Bahia (SETIC; SEINFRA; SENAI CIMATEC, 2018) e o Atlas Eólico Bahia (SETIC; SEINFRA; SENAI CIMATEC, 2013). Tais estudos, por envolverem territórios de dimensões consideráveis, focam em uma variável (radiação solar, velocidade dos ventos, produção de biomassa) para determinação do potencial de geração.

Entretanto, quando se reduz a escala ao nível municipal, no qual os empreendimentos geradores serão de fato implementados, particularidades locais como relevo, uso e ocupação da terra, áreas de preservação ambiental, territórios de povos originários e quilombolas, dentre outros, acabam por limitar ou mesmo impedir o aproveitamento energético. Projetos de análise de viabilidade, em escala local, são a alternativa para superar as limitações da aplicabilidade dos modelos regionais e de escala nacional. Dessa forma, o objetivo deste estudo é desenvolver um modelo geoespacial para avaliar do potencial elétrico para geração de energia fotovoltaica, de forma a contemplar o planejamento municipal e a implantação de projetos locais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo para mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica em escala municipal.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar modelos de otimização espacial para geração elétrica com fontes renováveis;
- Analisar o contexto sociopolítico do aproveitamento de energias renováveis no Brasil;
- Desenvolver um protocolo de mapeamento para fonte fotovoltaica em escala municipal e local (i.e., de projetos);
- Testar a aplicação da metodologia no município de Vitória da Conquista, Bahia.

1.2 JUSTIFICATIVA

De forma mais ampla, observamos a necessidade de maior diversificação da matriz elétrica nacional. Para viabilizar a inserção de novas fontes na geração brasileira, são necessárias ações concretas dos entes governamentais e uma análise do potencial geração de energia

Os atlas de potenciais energéticos publicados estão em escala muito abrangente e não levam em consideração aspectos locais. Segundo Atici et al. (2015), os estudos não indicam se é possível implantar uma usina de energia em um dado local. Ou seja, tais estudos podem apontar áreas que com alto potencial de disponibilidade do recurso energético (radiação solar, por exemplo), mas não fornecem informações detalhadas para implantação de projetos e para o planejamento da matriz energética na escala municipal. Assim, surge a necessidade de detalhar a escala dos estudos de mapeamento de fontes de energia.

Portanto, são três os pilares que justificam a pesquisa que se apresenta nesta dissertação: (i) a necessidade de diversificação da matriz elétrica nacional, de modo a reduzir a dependência da geração hidráulica; (ii) a escassez de trabalhos acadêmicos sobre mapeamento de potenciais de geração de energia elétrica em escala local e municipal, e (iii) uma vez com o potencial identificado, pode-se colaborar com o arcabouço legal para políticas públicas municipais de fomento e incentivo ao uso de fontes renováveis.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO E METODOLOGIA GERAL

A dissertação está estruturada em mais 4 capítulos (além deste de apresentação). Os capítulos 2, 3 e 4 foram escritos na forma de artigos científicos, os quais contemplam os objetivos específicos do estudo. Por fim, o capítulo 5 denominado “Conclusão e Recomendações” reúne as principais colaborações alcançadas por esta pesquisa e indicações de ações que podem viabilizar o incremento da geração fotovoltaica na área de estudo.

O capítulo 2 intitulado “Mapeamento do Potencial de Geração de Energia Elétrica Renovável: Revisão Sistemática da Literatura”, contempla o objetivo de avaliar modelos de otimização espacial para geração elétrica com fontes renováveis. Para tanto, empregamos a técnica *Methodi Ordinatio* para seleção da base de dados de trabalhos científicos que foram analisados. O artigo foca nos modelos utilizados no mapeamento de fontes renováveis em geral. Além de compreender estes modelos, esta fase forneceu as bases para definição dos critérios de avaliação que foram utilizados no mapeamento apresentado nesta dissertação.

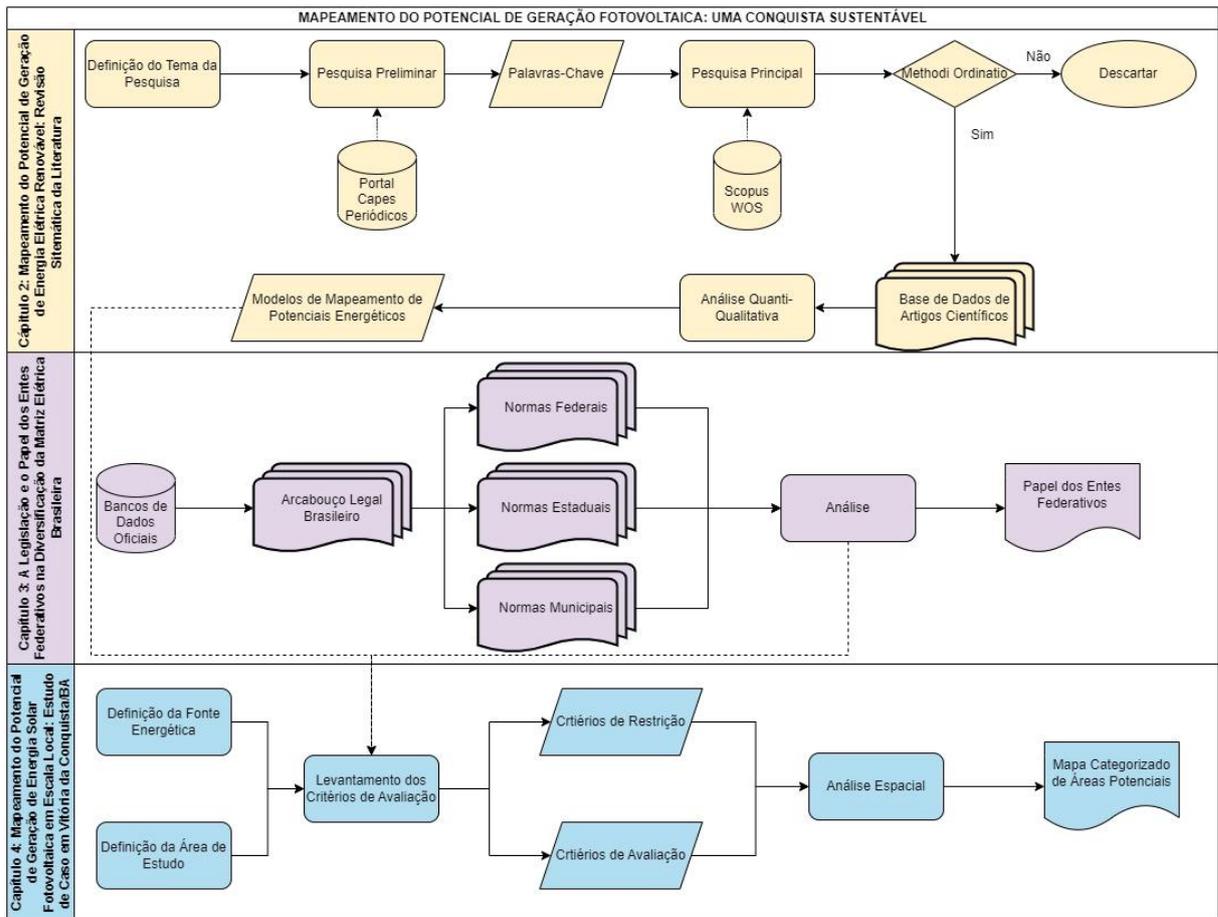
No capítulo 3 é apresentado o artigo “A Legislação e o Papel dos Entes Federativos na Diversificação da Matriz Elétrica Brasileira”. Aqui o objetivo é analisar o contexto sociopolítico do fomento à participação das fontes renováveis no parque gerador nacional. Analisamos leis e normas no âmbito federal, estadual e municipal, de forma a compreender como cada ente federativo do Estado brasileiro contribui para a formação da matriz elétrica. Este estudo evidenciou que existem lacunas no

ambiente normativo nacional sobre a orientação do aproveitamento energético de fontes alternativas.

O artigo “Mapeamento do Potencial de Geração de Energia Solar Fotovoltaica em Escala Local: Estudo de Caso em Vitória da Conquista/BA” compõe o capítulo 4 desta dissertação. Nele, apresentamos o desenvolvimento do protocolo de mapeamento proposto neste estudo e usamos como teste o município de Vitória da Conquista, Bahia. Geramos um mapa categorizado em cinco classes de potenciais, a partir da aplicação das técnicas Análise Hierárquica Ponderada (AHP), Análise Booleana e modelamento Fuzzy.

A Figura 1.1 ilustra o fluxo metodológico integrado deste trabalho. Cada artigo tem seu próprio fluxo detalhado, que estão descritos no texto de cada capítulo.

Figura 1.1: Fluxo da metodologia integrada da dissertação.



Fonte: autoria própria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATICI, Kazim B.; SIMSEK, Ahmet B.; ULUCAN, Aydin; TOSUN, Mustafa U. A GIS-based multiple criteria decision analysis approach for wind power plant site selection. **Utilities Policy**. V. 37, p. 86-96, 2015.

BARBADO, Norma; LEAL, Antônio C. Cooperação global sobre mudanças climáticas e a implementação da ODS 6 no Brasil. **Research, Society and Development**. V. 10, n. 3, 2021.

CETKOVIC, Stefan; BUZOGÁNY, Aron. Varieties of capitalism and clean energy transitions in the European Union: When Renewable energy hits different economic logics. **Climate Policy**. V. 16, n.5, p. 642-657, 2016.

COELHO, Suani T.; MONTEIRO, Maria B.; KARNIOL, Mainara R.; GHILARDI, Adrian. **Atlas de bioenergia do Brasil**. Cenbio: São Paulo, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2021: ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

GRIL, G.; LEHNER, B; THIEME, M.; GEENEN, B.; TICKNER, D.; et al. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**. V. 569, p. 215-221, 2019.

NEIVA, Antônio C. de B.; DUTRA, Ricardo M.; MELO, Sérgio R. F. C. de; GUEDES, Vanessa G.; CABRERA, Ângelo A. M.; ALMEIDA, Waldenio G. de; BRAZ, Rodrigo de O. **Atlas do potencial eólico brasileiro: simulações 2013**. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Rio de Janeiro, 2017.

O'HANLEY, Jesse R.; POMPEU, Paulo S.; LOUZADA, Marina; ZAMBALDI, Ludmilla P.; KEMP, Paul S. Optimizing hydropower dam location and removal in the São Francisco river basin, Brazil to balance hydropower and river biodiversity tradeoffs. **Landscape and Urban Planning**. V. 195, 9 p., 2020.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L. de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L. de; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Sílvia V.; SOUZA, Jefferson G. de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.

POZO, Hamilton; SOARES, Washington L. P.; AKABANE, Getulio K. Wind power renewable energy generation to reduce cost and the greenhouse effect. **Archives of Business Research**. V. 8, 21 p., 2020.

Secretaria da Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI); Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA); Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Campus Integrado de Manufatura e Tecnologias (SENAI CIMATEC). **Atlas eólico: Bahia**. Salvador, 2013.

_____. **Atlas solar: Bahia**. Salvador, 2018.

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**. V. 18, p. 110-118, 2012.

SUN, Kaiqi; XIAO, Huangqing; LIU, Shengyuan; YOU, Shutang; YANG, Fan; DONG, Yuqing; WANG, Weikang; LIU, Yilu. A review of clean electricity policies – from countries to utilities. **Sustainability**. V. 12, 22 p., 2020.

CAPÍTULO 2 – MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA RENOVÁVEL: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

RESUMO

A revisão sistemática de literatura é empregada neste artigo para avaliar como o mapeamento do potencial de geração de energia elétrica renovável é conduzido. Utilizamos a técnica *Methodi Ordinatio* para selecionar a base de dados de referências bibliográficas para análise. Selecionamos 44 artigos, publicados em periódicos científicos. A pesquisa revelou que 9% dos estudos foram conduzidos em escala local; as escalas regional, nacional, internacional e continental foram adotadas em 55%, 30%, 4% e 2%, respectivamente. Nestes estudos, são empregadas técnicas de Análise Multicritério de Decisão, sendo a mais utilizada a Análise Hierárquica Ponderada. Cinco etapas são aplicadas para determinação do potencial energético renovável: i) determinação da fonte energética; ii) levantamento dos critérios de avaliação; iii) análise multicritério; iv) elaboração dos mapas categorizados e v) avaliação dos resultados e aplicações. Os estudos diferem principalmente em função da técnica multicritério empregada e no método de ponderação dos pesos relativos dos critérios. Notamos também a tendência de mesclar as técnicas para garantir maior refinamento e confiabilidade nas análises. Os critérios adotados no processo de mapeamento devem priorizar a conservação ambiental e variam de acordo com a escala do estudo. Observamos ainda que não há normatização internacional para indicar o potencial de geração de energia elétrica renovável. Alguns países ao redor do globo, assim como o Brasil, conduziram estudos com foco em apenas um critério de análise. Entretanto, pesquisadores do tema adotam análise multicritério, utilizando parâmetros baseados na literatura científica. Esta revisão permitiu identificar os critérios relevantes para avaliar o potencial de geração de energia elétrica renovável, o método de decisão multicritério mais robusto, e forneceu as bases teóricas para propor um método para estimar o potencial de energia renovável na escala municipal.

Palavras-chave: modelos de mapeamento; fontes de energia; energia limpa; análise multicritério.

ABSTRACT

The systematic literature review is employed in this paper to assess how the mapping of renewable electricity generation potential is conducted. We used the *Methodi Ordinatio* technique to select the database of bibliographic references for analysis. We selected 44 articles, published in scientific journals. The research revealed that 9% of the studies were conducted at a local scale; regional, national, international, and continental scales were adopted at 55%, 30%, 4%, and 2%, respectively. In these studies, Multicriteria Decision Analysis techniques are employed, the most widely used being Analytic Hierarchy Process. Five steps are applied to determine the renewable

energy potential: i) determination of the energy source; ii) survey of the evaluation criteria; iii) multicriteria analysis; iv) elaboration of the categorized maps and v) evaluation of the results and applications. The studies differ mainly in terms of the multicriteria technique employed and the method of weighting the relative weights of the criteria. We also noticed the tendency to merge techniques to ensure greater refinement and reliability in the analyses. The criteria adopted in the mapping process must prioritize environmental conservation and vary according to the scale of the study. We also observed that there is no international standardization to indicate the potential to generate renewable electric power. Some countries around the globe, like Brazil, have conducted studies focusing on only one analysis criterion. However, researchers on the topic adopt multi-criteria analysis, using parameters based on scientific literature. This review enabled the identification of relevant criteria to assess the potential of renewable electric power generation, the most robust multicriteria decision method, and provided the theoretical basis to propose a method to estimate the renewable energy potential at the municipal scale.

Kew words: mapping models; power supplies; clean energy; multicriteria analysis.

2.1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica renovável tem crescido no mercado e em debates nos fóruns sobre conservação ambiental e desenvolvimento sustentável (RUEDA-BAYNONA et al., 2019; SEETHARAMAN et al., 2019). Além de colaborar com a redução da emissão de gases de efeito estufa, há benefícios socioeconômicos na geração de eletricidade por fontes renováveis, como melhoria no padrão de vida da localidade (KUMAR, 2020), contribuição para o planejamento espacial (SIKSNELYTE-BUTKIENE et al., 2020) e desenvolvimento regional (PRAENE et al., 2021).

O caso do Brasil é tanto quanto particular. A matriz elétrica brasileira é considerada limpa, pois 84,8% da geração tem origem em fontes renováveis (EPE, 2021). Entretanto, 63,8% dessa geração vem por meio da fonte hidráulica, o que leva à susceptibilidade do setor elétrico ao regime hídrico. Em períodos de seca, quando a produção hidrelétrica tem que ser diminuída, as usinas térmicas movidas a combustíveis fósseis são acionadas com maior frequência. Em 2020, quando ocorreu um período de estiagem no país, houve um aumento de 9,1% na participação de derivados de petróleo na geração elétrica nacional, em comparação com o ano anterior (EPE, 2021).

Além disso, a hidreletricidade gera outros problemas ambientais e sociais como emissão de gases de efeito estufa (GEE) - caso a produção seja inferior a 100 W/m² de área alagada (SPERLING, 2012), redução da biodiversidade dos peixes locais (O'HANLEY et al., 2020) e fragmentação do rio pelo aumento da sedimentação (GRILL et al., 2019). Dessa maneira, é crucial aumentar a participação de outras fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, como a eólica, a solar e a biomassa, a exemplo de outros países emergentes como Grécia (KONSTANTINOS et al., 2019), Iraque (SUN et al., 2020) e Turquia (COLAK et al., 2020).

Para investir em fontes de energia renováveis, o primeiro e decisivo passo é diagnosticar o potencial local (VILLACRESES et al., 2017). Sob essa premissa, países ao redor do mundo elaboraram estudos de mapeamento de potenciais de geração de energia elétrica renovável, considerando apenas um critério como determinante: a radiação solar ou a velocidade dos ventos, por exemplo. Pode-se citar como exemplo o Mapa Solar Europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2022) e o Atlas Europeu dos Ventos (NEWA, 2022).

De maneira semelhante, no Brasil, foram elaborados o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017), o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (Neiva et al., 2017), o Atlas de Bioenergia do Brasil (Coelho et al., 2012) e, a nível regional, cita-se o Atlas Solar: Bahia (SETIC; SEINFRA; SENAI CIMATEC, 2018) e o Atlas Eólico: Bahia (SETIC; SEINFRA; SENAI CIMATEC, 2013). Entretanto, estudos mostram que fatores de diferentes naturezas devem ser levados em consideração ao se fazer uma análise dos potenciais energéticos.

Segundo Kaya e Kahraman (2010), nos anos 1970 somente se consideravam critérios econômicos e técnicos e, a partir da década de 1980, os critérios ambientais ganharam relevância. Por isso, de acordo com Janke (2010), Al Garni e Awasti (2015), Merrouni et al. (2018), dentre outros, o mapeamento de potenciais energéticos deve ser feito utilizando técnicas de Análise Multicritério de Decisão (AMD).

Assim, nota-se o crescimento de estudos de mapeamento de potenciais de geração de energia renovável, com vistas a diversificação da matriz elétrica, em países como Grécia (VAGIONA e KAMILAKIS, 2018) e Espanha (DÍAZ e SOARES, 2021). Estes estudos possibilitam identificar áreas nas quais a produção de energia

será maximizada, em conformidade com a conservação ambiental. Trabalhos semelhantes também foram observados na Nigéria (AYODELE et al., 2018), Irã (GASHEMI et al., 2019) e México (DÍAZ-VASQUEZ et al., 2021).

Latinopoulos e Kechagia (2015), Askereh et al. (2017) e Mahdy e Bahaj (2018) afirmam que, por se tratar de análise de território, de recursos ambientais e que envolvem variáveis geográficas, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) se tornaram indispensáveis para tratar e gerar os dados necessários ao mapeamento de potenciais de geração de energia, quando aliados às técnicas AMD.

Faz-se necessário então, compreender como tem sido feita a detecção de áreas potenciais para geração de energia por fontes renováveis. Assim, o objetivo do presente trabalho é, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RS) científica, responder à seguinte pergunta: quais as principais técnicas AMD, quais os critérios mais utilizados e qual a abordagem aplicada no mapeamento de potenciais energia renovável?

2.2 METODOLOGIA

Atualmente, a RS tem sido adotada por grande parte dos pesquisadores. De acordo com Cerrão et al. (2018), a revisão sistemática torna a pesquisa replicável e mais confiável, pois é feita seguindo critérios bem definidos em seu escopo. De acordo com os pesquisadores, a RS “consiste em uma revisão bibliográfica acrescida de etapas e critérios rigorosos que garantem a qualidade e a reprodutibilidade dos documentos obtidos” (CERRÃO et al., 2018, p. 109).

Donato e Donato (2019) apontam que a revisão sistemática é preferível por ser imparcial e reduzir os vieses e erros no processo. As pesquisadoras entendem ainda, que a pesquisa bibliográfica gera grande número de referências e que, ao serem avaliadas segundo critérios pré-definidos, elas se reduzem a uma proporção que será de fato incluída na análise crítica da revisão.

Uma das principais etapas na produção da revisão sistemática é a seleção das produções que serão analisadas. Para tanto, protocolos bem definidos, que permitem o levantamento de dados quanti e qualitativos, têm sido utilizados com sucesso nas

revisões sistemáticas. Neste artigo optamos por utilizar uma adaptação da técnica *Methodi Ordinatio* para seleção dos trabalhos científicos que foram analisados.

2.2.1 A Técnica *Methodi Ordinatio*

A *Methodi Ordinatio* foi desenvolvida por Pagani et al. (2015). Os pesquisadores propõem uma equação para cálculo de um índice, denominado *InOrdinatio*, que determina a importância do trabalho. Para formar a base de trabalhos que serão analisados, tal índice leva em consideração o número de citações, o fator de impacto do meio de publicação e o ano da publicação. A equação (1) descreve o método de cálculo do *InOrdinatio*.

$$InOrdinatio = \left(\frac{IF}{1000}\right) + \alpha(10 - (\text{ano da pesquisa} - \text{ano da publicação})) + NC \quad (1)$$

onde IF representa o fator de impacto, NC é o número de citações e α é um fator que varia de 0 a 10, em números inteiros, que determina a importância do ano de publicação, sendo escolhido pelo pesquisador.

Os autores da *Methodi Ordinatio* orientam que o número de citações deve ser obtido via Google Scholar (sobretudo quando se usa mais de uma base indexada) e, para o fator de impacto deve ser consultado o *Journal Citations Report* (JCR) (PAGANI et al., 2015). Caso a publicação não tenha fator de impacto deve-se considerar 0 para este parâmetro. Campos et al. (2018) fizeram uma análise do parâmetro α e indicaram que quando o ano de publicação é o critério menos importante deve ser adotado valor 0, ao usar α igual a 10, aparecerão publicações mais recentes, mesmo que não tenham grande número de citações. Segundo os autores, a definição sobre o valor deste parâmetro cabe a sensibilidade do pesquisador.

2.2.2 Busca de Artigos

A primeira etapa foi a definição do tema de pesquisa, seguida de uma busca prévia na base dados do Portal CAPES Periódicos. A partir da leitura inicial dos resultados, estabelecemos um grupo de palavras-chave para estruturar a pesquisa nas bases de dados indexadas. Foram definidas como bases indexadas a *Scopus* e a *Web of Science*. Utilizamos o software *Microsoft Office Excel* para tratamento dos dados.

Em ambas as bases, optamos por não definir um ano inicial de publicação para os resultados da busca, entretanto definimos o ano de 2021 como limite temporal final das publicações. Além disso, para obter maior qualidade científica nos resultados, a pesquisa ficou restrita a artigos publicados em periódicos e revistas revisadas por pares. Das áreas de conhecimento disponíveis de acordo com a classificação de cada base indexada, selecionamos aquelas pertinentes ao tema da pesquisa. O último filtro utilizado foi a exclusão de artigos com acesso antecipado no caso da *Web of Science* e selecionar somente artigos no estágio final de publicação, no caso da base da *Scopus*.

Como resultado dessa busca, encontramos 401 artigos na base da *Scopus* e 372 na *Web of Science*. Passamos então à primeira etapa de refinamento, na qual foram lidos títulos e resumos para alinhamento das publicações encontradas com o tema da pesquisa. Após esse processo, o número de trabalhos foi reduzido a 136 e 158 trabalhos em cada base indexada, respectivamente. Unimos os resultados das duas bases e eliminamos as duplicatas, resultando em 237 artigos.

Como forma de garantir o melhor refinamento possível, a partir deste ponto, são seguidas as etapas propostas na *Methodi Ordinatio*. Em primeiro lugar é preciso calcular o *InOrdinatio* de cada artigo, conforme a equação (1). Adotamos o valor de α igual a 10 e conforme orientação de Pagani et al. (2015), caso algum periódico não tivesse fator de impacto deveríamos adotar 0 para este parâmetro.

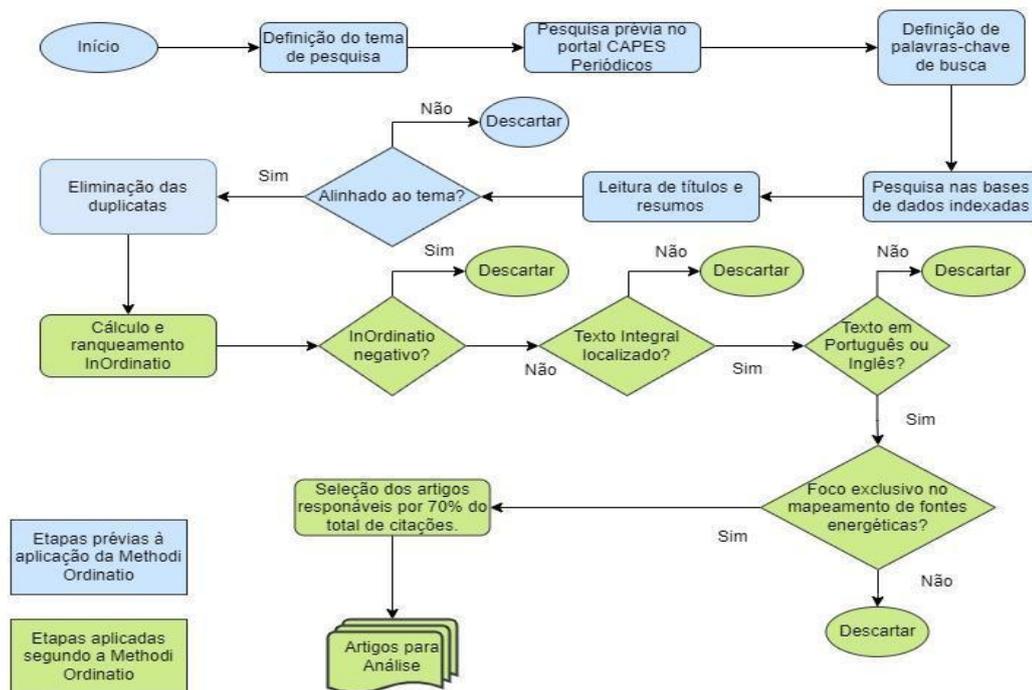
Após o cálculo do *InOrdinatio* de cada artigo, 1 artigo foi eliminado por ter índice negativo. Além deste trabalho, foram descartados mais 1 artigo cujo texto integral não foi localizado e, outros 3 que não foram localizados em português ou inglês, somente na língua original da publicação. Após esta fase foi feita mais uma leitura de títulos e resumos, na qual foram descartados 67 artigos cuja finalidade não era exclusivamente o mapeamento de potenciais de geração de energia, como por exemplo, artigos que mapearam áreas propícias para energia eólica offshore concomitante com áreas de aquicultura. Esta fase de refino, resultou numa base de dados com 165 artigos.

Com um número expressivo de trabalhos para análise, Pagani et al (2015) sugerem que a sensibilidade do pesquisador deve adicionar mais um filtro, gerando a base de dados final que será de fato analisada. Nesta pesquisa, mantendo-se o

ranqueamento do *InOrdinatio*, decidimos seleccionar os artigos que correspondiam a 70% do total de citações, resultando numa base para análise com 44 artigos.

A Figura 2.1 ilustra o fluxograma das etapas metodológicas seguidas para esta pesquisa, enquanto a Tabela 2.1 sintetiza os dados principais dos artigos analisados nesta revisão sistemática.

Figura 2.1: Fluxograma da metodologia utilizada na seleção da base de dados bibliográficos (as etapas prévias a aplicação da *Methodi Ordinatio* estão marcadas em azul, enquanto aquelas que seguem a *Methodi Ordinatio* estão marcadas em verde).



Fonte: autoria própria.

Tabela 2.1: Composição da base de dados final de artigos.

							(continua)
Nº	Autoria	Periódico	Ano	IF	Citações	InOrdinatio	
1	Kaya e Kahraman	Energy	2010	7,147	758	738,007	
2	Janke	Renewable Energy	2010	8,001	412	392,008	
3	Al Garni e Awasthi	Applied Energy	2017	9,746	296	346,010	
4	Latinopoulos e Kechagia	Renewable Energy	2015	8,001	289	319,008	
5	Watson e Hudson	Landscape and Urban Planning	2015	6,142	249	279,006	
6	Aydin et al.	Energy Conversion and Management	2013	9,709	261	271,010	
7	Villacreses et al.	Renewable Energy	2017	8,001	205	255,008	
8	Sánchez-Lozano et al.	Renewable Energy	2014	8,001	205	214,008	
9	Tegou et al.	Journal of Environmental Management	2010	6,789	227	207,007	
10	Aly et al.	Renewable Energy	2017	8,001	143	193,008	
11	Merrouni et al.	Renewable Energy	2019	8,001	127	187,008	

Tabela 2.1: Composição da base de dados final de artigos.

						(conclusão)
12	Goservski, et al.	Energy Policy	2013	6,142	177	187,006
13	Ayodele et al.	Applied Energy	2018	9,746	126	186,010
14	Ali et al.	Renewable Energy	2019	8,001	108	178,008
15	Colak et al.	Renewable Energy	2020	8,001	95	175,008
16	Noorollahi et al.	Energies	2016	3,004	134	174,003
17	Asakereh et al.	Solar Energy	2017	5,742	122	172,006
18	Al-Yahyai et al.	Renewable Energy	2012	8,001	169	169,008
19	Doorga et al.	Renewable Energy	2019	8,001	98	168,008
20	Atici et al.	Utilities Policy	2015	2,812	138	168,003
21	Delivand et al.	Journal of Cleaner Production	2015	9,297	133	163,009
22	Mahdy e Bahaj	Renewable Energy	2018	8,001	102	162,008
23	Konstantinos et al.	Energy Policy	2019	6,142	84	154,006
24	Giamalaki e Tsoutsos	Renewable Energy	2019	8,001	76	146,008
25	Pamucar et al.	Sustainability	2017	3,251	93	143,003
26	Firozjaei et al.	Renewable Energy	2019	8,001	71	141,008
27	Diemuodeke et al.	Renewable Energy	2019	8,001	66	136,008
28	Shorabeh et al.	Renewable Energy	2019	8,001	66	136,008
29	Solangi et al.	Environmental Science and Pollution Research	2019	4,223	58	128,004
30	Cradden et al.	Renewable Energy	2016	8,001	86	126,008
31	Chaouachi et al.	Energy Policy	2017	6,142	76	126,006
32	Rezaei et al.	International Journal of Hydrogen Energy	2018	5,816	66	126,006
33	Doljak e Stanojevic	Energy	2017	7,147	75	125,007
34	Fang et al.	Energy Conversion and Management	2018	9,709	64	124,010
35	Yousefi et al, 2018	Energies	2018	3,004	63	123,003
36	Jeong e Gómez-Ramírez	Journal of Cleaner Production	2018	9,297	62	122,009
37	Xu et al.	Energy	2020	7,147	34	121,147
38	Kannan et al.	Journal of Cleaner Production	2021	9,297	30	120,009
39	Ghasemi et al.	Renewable Energy	2019	8,001	49	119,008
40	Saraswat et al.	Renewable Energy	2021	8,001	25	115,008
41	Rediske et al.	Energy	2020	7,147	35	115,007
42	Majumdar e Pasqualetti	Renewable Energy	2019	8,001	43	113,008
43	Ghorbani et al.	Energy	2019	7,147	43	113,007
44	Diaz e Soares	Renewable & Sustainable Energy Reviews	2020	14,982	30	110,015

Fonte: autoria própria.

2.3 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção apresentamos o comportamento da base de análise de artigos, em relação à evolução da produção científica, à escala geográfica e fontes adotadas na análise e às técnicas AMD identificadas. Sintetizamos também a abordagem adotada em cada um dos 44 artigos da base de análise.

2.3.1 Composição da Base de Análise

O artigo mais antigo a compor a base de análise, foi publicado no ano de 2010. A partir de então, nota-se uma variação no número de publicações, com tendência de crescimento a partir do ano de 2014 e, aceleração da produção em 2016. Com um total de 44 artigos na base final, tem-se uma média 3,67 artigos por ano.

Não fizeram parte da base final, artigos publicados em 2011 e, somente dois artigos publicados em 2021 fazem parte do conjunto de publicações que foram analisadas. O ano com maior número de publicações foi 2019. Tal fato é explicado por duas razões: primeiro pelos critérios de refinamento utilizados nas fases de seleção prévias e segundo, pelo *InOrdinatio*, que embora o parâmetro $\alpha = 10$ reduza o efeito da idade do trabalho, o número de citações continua relevante no cálculo de tal índice. A Figura 2.2 mostra o gráfico do comportamento do número de publicações de acordo com o ano.

Figura 2.2: Comportamento do número de publicações de acordo com o ano.

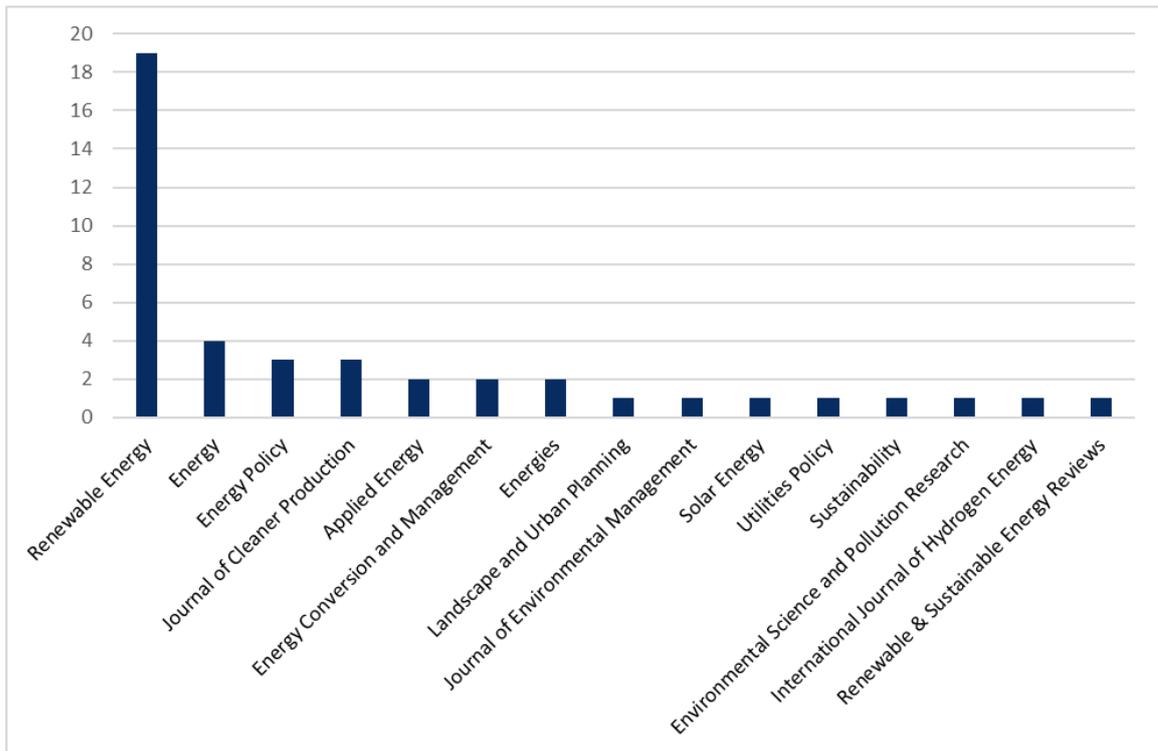


Fonte: Autoria própria.

Ao todo, 15 periódicos aparecem com pelo menos uma publicação. Conforme mostra a Figura 2.3, fica evidente a importância do periódico *Renewable Energy*, responsável por 19 das 44 publicações da base de dados final. Após ele, com 4

publicações aparece o periódico *Energy*. As revistas *Energy Policy* e *Journal of Cleaner Production* contribuíram com 3 publicações cada. *Applied Energy*, *Energy Conversion and Management* e *Energies* aparecem com 2 publicações cada uma. Os demais periódicos contribuíram com 1 artigo cada.

Figura 2.3: Número de publicações por periódico.



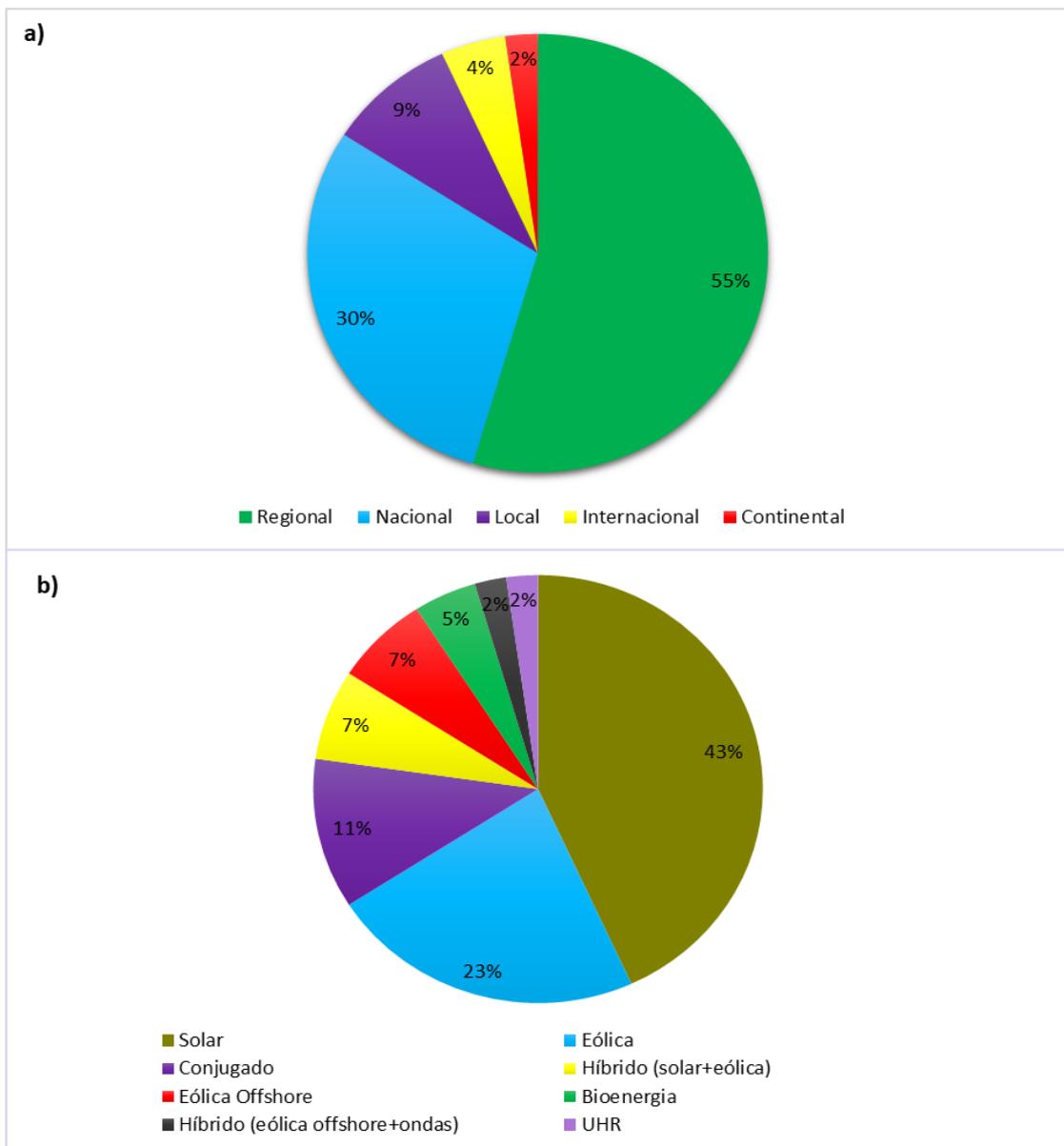
Fonte: autoria própria.

Em relação à escala geográfica das análises, 24 artigos adotaram a escala regional, realizando o estudo em províncias, estados ou regiões político-geográficas dentro de um determinado país, sendo responsáveis por 55% do total. Outros 13 trabalhos adotaram escala nacional, respondendo por 30% das publicações e apenas em 4 artigos, ou 9%, o estudo foi feito em escala local. Houve ainda 2 artigos que adotaram escala internacional (estudo feito no território de 2 ou mais países) e uma pesquisa feita em escala continental, correspondendo a 4% e 2% das publicações respectivamente.

Quanto à fonte analisada predominaram as fontes solar e eólica *onshore*. Cada uma foi responsável por 19 e 10 artigos respectivamente, ou 43% e 23% dos estudos analisados. Em 5 artigos foram investigadas mais de uma fonte para a mesma região, o que representa 11% das publicações. O potencial para sistemas híbridos energia

solar-eólica foi estudado em 3 publicações, da mesma maneira que a fonte eólica *offshore*, correspondendo a 7% da composição da base de análise. A bioenergia é analisada em 2 artigos, ou 5 % dos artigos, enquanto o potencial para um sistema híbrido eólico offshore-ondas e para usinas hidrelétricas reversíveis (UHR) é analisado em 1 artigo cada (2% do total de trabalhos). A Figura 2.4 mostra a composição da base de dados final por escala geográfica adotada nos artigos e por fonte de energia analisada.

Figura 2.4: Composição da base de dados final. a) por escala geográfica adotada nos artigos, b) por fonte analisada.



Fonte: autoria própria.

Foram observadas as seguintes técnicas AMD: Análise Hierárquica Ponderada (AHP – do inglês *Analytic Hierarchy Process*), variações da família ELECTRE (do francês *Elimination et Choix Traduisant la Réalité*), OWA (do inglês, *Ordered Weighted Average*), Método Borda, BWM (do inglês, *Best-Worst Method*), DEMATEL (do inglês, *Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory*), TOPSIS (do inglês, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) e Análise Booleana. Janke (2010), Cradden et al. (2016) e Diaz e Soares (2020) não aplicaram nenhuma das técnicas conhecidas, optando por desenvolverem técnicas para o caso específico ou adaptações próprias das técnicas anteriores.

Em relação à distribuição das técnicas de análise multicritério é nítida a predominância da AHP, presente em 28 publicações (63,63% da base de dados final). O método TOPSIS é utilizado em 4 artigos, enquanto as técnicas ELECTRE, OWA e BWM estão presentes em 2 trabalhos cada. As demais técnicas aparecem em 1 publicação cada. O Quadro 2.1 mostra o resumo da abordagem de cada técnica e o número de ocorrências.

Quadro 2.1: Resumo da abordagem das técnicas AMD detectadas na base de dados de análise.
(Continua)

Técnica	Abordagem	Ocorrências
AHP	São estabelecidos critérios de avaliação para os quais são atribuídos pesos de importância relativa, através da comparação pareada entre eles. A partir da atribuição dos pesos é construída a matriz de decisão.	28
TOPSIS	São estabelecidas duas soluções ideais: uma positiva e a outra negativa. As alternativas são avaliadas pela distância euclidiana em relação às soluções ideais. Aquela que esteja o mais próxima possível da solução ideal positiva e, mais distante da solução ideal negativa é indicada como a melhor solução.	4
OWA	São atribuídos pesos de ordenação aos critérios de avaliação. Através da variação e da agregação dos pesos dos critérios é possível obter diversos cenários de solução para o problema analisado.	2
BWM	Dentro de um conjunto de critérios são determinados o melhor e o pior (ou mais forte e mais fraco). Os demais critérios são comparados com o melhor e o pior critério numa escala que varia de 1 a 9, gerando dois vetores. A partir das diferenças absolutas entre os dois vetores são determinados os pesos dos critérios.	2
ELECTRE	A partir de índices de concordância e discordância, são determinadas relações de classificação. São atribuídos valores e pesos aos critérios, através dos quais são obtidos os índices de concordância e discordância. Existem várias versões do método ELECTRE, divergindo entre si na forma de obtenção dos valores dos critérios e dos pesos.	2

Quadro 2.1: Resumo da abordagem das técnicas AMD detectadas na base de dados de análise.
(Conclusão)

Técnica	Abordagem	Ocorrências
DEMATEL	Analisa as relações de causa e efeito entre os critérios, atribuindo valores relativos à influência de um critério sobre o outro.	1
Borda	É aplicado a um conjunto de avaliadores. Cada avaliador pontua e ordena os fatores de acordo com critérios pré-estabelecidos. A soma das pontuações de cada fator, determina a ordem final de importância.	1
Análise Booleana	Atribui apenas dois valores aos critérios de análise: verdadeiro ou falso. Gerando dois resultados possíveis: adequado ou inadequado.	1

Fonte: autoria própria.

Houve também o emprego de técnicas diferentes para se obter os pesos relativos dos critérios de avaliação e/ou realizar o ranqueamento das áreas aptas. Dentre os métodos de ponderação observa-se o uso das técnicas Fuzzy em 9 trabalhos, do WLC (*Weighted Linear Combination*) em 4 pesquisas, o OWA em 2 publicações, o TOPSIS como método de ranqueamento em 2 trabalhos, o SMAA-TRI (*Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis*) presente em 1 artigo, a MAIRCA (*MultiAttributive Ideal-Real Comparative Analysis*), também observada em 1 trabalho. O método VIKOR (do bósnio *Vlsekriterijumsko Kompromisno Rangiranje*) e duas variações Fuzzy-VIKOR e VIKOR + GRA (*Grey Relation Analysis*) foram detectados em 1 publicação cada. Houve 1 artigo que aplicou a técnica AHP e fez uma comparação entre métodos de ponderação. As demais publicações, aplicaram as próprias técnicas AMD para realizar a ponderação dos pesos ou, fizeram uma mescla entre elas.

2.3.2 Síntese da Abordagem Utilizada

De maneira geral o mapeamento dos potenciais de geração de energia por fonte renovável é feito de acordo com a seguinte lógica: primeiro determina-se a fonte e a região a serem analisadas, depois é feito o levantamento dos critérios que restringem a geração de energia no território (legais, sociais, ambientais, técnicos) e daqueles que potencializam o uso da fonte analisada. A sobreposição dos critérios restritivos e potencializadores gera o mapa de áreas potenciais para aproveitamento energético e áreas restritas. Com a aplicação de técnicas de análise multicritério é feita a classificação das áreas potenciais. A partir daí, procede-se a análise e indicações de possíveis aplicações. Os principais fatores que variam de um trabalho

para outro são a escala do estudo, a fonte analisada, os critérios de análise e as técnicas AMD.

Foram citados como critérios de avaliação: uso e cobertura do solo, irradiação global horizontal, velocidade média e distribuição dos ventos, reservas naturais, inclinação do terreno, presença dos corpos d'água, orientação do terreno, tipos de solo, presença de vegetação, locais protegidos, distância de rodovias, subestações e linhas de transmissão, áreas agricultáveis, dentre outros.

Passamos então à análise da abordagem aplicada nos trabalhos, por fonte estudada.

2.3.2.1 Geração de Energia Solar

O mapeamento de potenciais de geração de energia solar foi objeto de estudo em 19 artigos analisados. Destes somente em Sánchez-Lozano et al. (2014) foi adotada a escala local. Asakereh et al. (2017), Fang et al (2018), Merrouni et al. (2018), Yousefi et al. (2018), Ghasemi et al. (2019), Giamalaki e Tsoutsos (2019), Majumdar e Pasqualetti (2019), Shorabeh et al. (2019), Colak et al. (2020), Redisk et al. (2020) e Kanan et al. (2021) fizeram a análise em escala regional. Já a escala nacional foi usada em Al Garni e Awasthi (2017), Aly et al. (2017), Doorga et al. (2019), Noorollahi et al. (2016), Firozjaei et al. (2019), Doljak e Stanojevic (2017) e Solangi et al. (2019).

No trabalho de Sánchez-Lozano et al. (2014) os critérios são classificados em: ambientais, orográficos, locais e climatológicos. Foi empregada a técnica ELECTRE-TRI. Após gerar os mapas de áreas restritas, foi gerado um mapa para cada critério e pela superposição dos mapas foi obtido o mapa final com quatro classes de aptidão.

Em Noorollahi et al. (2016), foram definidos 11 critérios com base na revisão de literatura e entrevistas com especialistas, que foram divididos em restrições e fatores de ponderação. O mapa de restrições foi elaborado a partir da análise booleana. Para cada critério de ponderação, foi gerado um mapa categorizado em 5 classes de aptidão. É aplicada a técnica Fuzzy-AHP para determinar o mapa de áreas viáveis.

Al Garni e Awasthi (2017) determinaram quatro critérios restritivos e sete de decisão. Para cada critério de decisão é elaborado um mapa temático e através da técnica AHP é gerado o mapa das áreas classificadas de acordo com o potencial de geração. A análise booleana das restrições dá origem ao mapa de áreas restritas. A sobreposição do mapa de áreas restritas e do mapa de áreas potenciais gera o mapa de adequação para geração de energia solar na região de estudo.

Na abordagem de Aly et al. (2017) foram estabelecidos 6 critérios de exclusão e 7 critérios de avaliação, a partir da revisão de literatura. O mapa de exclusão é gerado por meio da análise booleana. Já o mapa de aptidão é obtido pela aplicação da técnica AHP, na qual se utiliza WLC para o cálculo dos pesos dos critérios. A sobreposição dos mapas de exclusão e de aptidão gera o mapa de adequação classificado em cinco categorias.

O trabalho de Asakereh et al. (2017) começa pela determinação da distribuição solar da região de estudo por meio da interpolação de dados de 20 estações meteorológicas. Os pesquisadores determinaram 10 critérios de avaliação, por meio da revisão da literatura. Foi então aplicada a lógica Fuzzy para determinar os pesos de cada critério. A técnica AHP foi utilizada para obter o mapa de potencial de geração solar do território de análise.

O uso da técnica AHP é visto também em Doljak e Stanojevic (2017). Os pesquisadores definiram 9 critérios de avaliação, a partir da revisão de literatura e, por meio da ponderação dos fatores, foi gerado o mapa de áreas adequadas para exploração da energia solar.

No artigo de Merrouni et al. (2018) os autores determinaram 4 critérios e 7 subcritérios de avaliação mediante a revisão de literatura. Após a aplicação do método AHP, foi obtido o mapa de adequabilidade para geração de energia solar, classificado em 5 níveis.

Em Youssefi et al. (2018), os pesquisadores definiram 13 critérios de avaliação a partir da revisão de literatura e opinião de especialistas. Para cada critério foi gerado um mapa individual. Os critérios de restrição foram tratados através da análise booleana, enquanto os demais foram ponderados por meio de funções Fuzzy. A

sobreposição de todos os mapas deu origem ao mapa de áreas adequadas para implantação de usinas solares.

O método TOPSIS foi aplicado em Fang et al. (2018). Os critérios são classificados em restritivos e de ponderação. São calculados os pesos de cada variável e, pela matriz de ponderação são classificadas as melhores áreas para instalação de usinas fotovoltaicas. Diferente dos outros trabalhos, os resultados não são apresentados em forma de mapas, mas de tabelas e gráficos.

Doorga et al. (2019) foi mais um artigo em que foi aplicada a técnica AHP. Foram definidos 6 critérios de restrição e 8 de avaliação. A análise dos critérios de restrição gerou o mapa de áreas excluídas. Os critérios de avaliação tiveram seus respectivos pesos determinados e ranqueados através do WLC e foram produzidos mapas para cada um, os quais serviram de entrada para o método AHP. O mapa de aptidão foi obtido por meio da sobreposição dos mapas individuais dos critérios, com o mapa de exclusão.

A partir da revisão de literatura, Ghasemi et al. (2019) determinaram 13 critérios organizados em quatro grupos: climatológicos, orográficos, ambientais e econômicos. Foi utilizada AHP para determinação dos pesos dos critérios. Cada um dos grupos de critérios gerou um mapa, os quais foram sobrepostos aos mapas da distribuição da radiação solar da região analisada, que foram considerados pelos pesquisadores como mapas do potencial teórico.

Giamalak e Tsoutsos (2019) determinaram 16 critérios por meio da revisão de literatura. A partir da análise da legislação pertinente, foram estabelecidos os parâmetros de restrição, os quais deram origem ao mapa de áreas restritas. Os demais critérios serviram como dados de entrada para análise AHP, na qual são ponderados e gerados os mapas individuais. A sobreposição dos mapas individuais com o mapa das áreas restritas gerou o mapa de áreas adequadas para geração solar, classificadas de acordo com o nível de aptidão.

Em Majumdar e Pasqualetti (2019) foram estabelecidos 18 critérios de restrição e 9 fatores de avaliação. Para cada critério de restrição é gerado um mapa individual e através da sobreposição é obtido o mapa de áreas aptas e áreas restritas. Os fatores

de avaliação são analisados nas áreas aptas por meio da AHP, na qual são gerados 8 cenários diferentes conforme os pesos dos critérios são modificados. A inovação desta pesquisa é que a opinião pública, obtida em um trabalho anterior, é considerada um fator de avaliação.

O método OWA é aplicado no artigo de Firozjahi et al. (2019). Os autores determinaram 5 critérios de avaliação que geraram mapas individuais normalizados entre 0 e 1. Os pesos dos critérios foram obtidos por meio do OWA e a sobreposição dos mapas deu origem ao mapa final com a classificação das áreas potenciais da menos à mais adequada. Os pesquisadores ainda propuseram cenários diferentes, ao mudar os pesos dos critérios.

Na pesquisa apresentada em Sorabeh et al. (2019) foram estabelecidos 13 critérios classificados em restrição e ponderação, para os quais foram gerados mapas individuais. Os mapas de restrição foram padronizados de forma binária e pela sobreposição foi gerado o mapa de restrição geral. Os critérios de ponderação foram normalizados e avaliados pela técnica OWA e serviram de entrada para a técnica AHP. A sobreposição dos mapas individuais com o mapa de restrição geral gerou o mapa de aptidão da área de estudo.

Uma metodologia híbrida AHP e Fuzzy-Vikor é proposta por Solangi et al. (2019). Por meio do método AHP foram analisados 20 critérios de avaliação e determinou-se um ranking de importância entre eles. Foram escolhidas 14 cidades em diferentes regiões do país e através do método Fuzzy-Vikor, os autores estabeleceram um ranking da cidade mais promissora, para a menos promissora para implantação de usinas fotovoltaicas.

O método AHP foi aplicado em sua essência na pesquisa de Colak et al. (2020). Os pesquisadores identificaram 11 critérios de avaliação a partir da revisão de literatura. Após o cálculo dos pesos dos critérios, foram elaborados mapas de cada um e pela sobreposição dos mapas, chegou-se ao mapa de áreas adequadas para implantação de usinas solares.

Em Redisk et al. (2020) os pesquisadores partiram da revisão de literatura e definiram 7 critérios de restrição e 7 fatores de decisão. Os critérios restritivos geraram

o mapa de áreas restritas e áreas aptas para geração de energia solar. A técnica AHP foi aplicada aos 7 fatores decisivos, na qual a matriz dos pesos foi obtida através de entrevistas a um grupo de especialistas. A técnica TOPSIS foi utilizada para classificar as áreas aptas, gerando o mapa categorizado em 4 classes: inadequada, boa, muito boa e excelente.

Três técnicas diferentes foram observadas no artigo de Kanan et al. (2021). Inicialmente os autores definiram 16 critérios e 14 localidades na região de interesse, a partir da revisão de literatura e de entrevistas com especialistas. O método BWM foi utilizado para calcular os pesos dos critérios, bem como o ranking de importância entre eles. Os critérios são analisados nas localidades indicadas e pelas técnicas VIKOR e GRA é elaborado o ranking de prioridade dos locais avaliados.

Percebemos um padrão nos estudos analisados: após a definição da área de estudo, são levantados os critérios por meio da pesquisa bibliográfica e em alguns casos, aliando a revisão de literatura com entrevistas a especialistas do setor. Os critérios são classificados em restritivos e avaliativos (ou de ponderação). Após isso, é aplicada a técnica AMD.

A técnica de análise multicritério mais utilizada foi a AHP, com variações quanto à obtenção dos pesos relativos dos critérios. Também foram utilizadas as técnicas ELECTRE, OWA, TOPSIS, BWM e Análise Booleana. Nos estudos mais recentes nota-se a tendência de usar a combinação de técnicas para fazer a análise dos pesos dos critérios, como AHP e OWA em Shorabeh et al. (2019), AHP e TOPSIS em Rediske et al. (2020) e BWM e VIKOR em Kanan et al. (2021).

Observamos ainda que em alguns trabalhos aplica-se uma análise prévia dos critérios de restrição, para gerar o mapa de áreas restritas para exploração da energia solar, antes de avaliar os critérios de ponderação. Enquanto em outros, a análise das restrições e potencialidades é feita conjuntamente.

Dos trabalhos analisados a pesquisa de Solangi et al. (2019) segue um padrão completamente diferente dos demais ao escolher cidades específicas para análise, em vez de analisar a região como um todo. Já Fang et al. (2018) é o único artigo cujo resultado não é apresentado na forma de mapas, mas de tabelas e gráficos. Em

Majumdar e Pasqualetti (2019) a inovação fica a cargo de ser o único trabalho que considera a opinião pública da população da área de estudo como um fator de ponderação.

2.3.2.2 Geração Eólica *Onshore*

A análise do potencial de geração de energia eólica *onshore* foi alvo de estudo em 10 trabalhos. Al-Yayai et al. (2012), Villacreses et al. (2017) e Ayodele et al. (2018) fizeram uma pesquisa em escala nacional. Já Goersevski et al. (2013), Latinopoulos e Kechagia (2015), Atici et al. (2015), Pamucar et al. (2017) e Konstantions et al. (2019) adotaram escala regional em seus estudos. A escala local foi observada nos trabalhos de Tegou et al. (2010) e Xu et al. (2020).

Em Tegou et al. (2010) os critérios são classificados em restritivos e avaliativos. O mapa de áreas aptas e restritas é gerado a partir da análise booleana dos critérios restritivos, enquanto os critérios avaliativos foram utilizados na análise AHP para classificar o grau de aptidão das áreas aptas, gerando um segundo mapa. A sobreposição dos dois mapas gerou o mapa de áreas potenciais, classificado em 5 categorias.

Uma combinação das técnicas AHP e OWA foi utilizada para gerar o mapa de áreas aptas para geração eólica em Al-Yahyai et al. (2012). Foram estabelecidos 8 critérios de avaliação, os quais foram classificados em técnicos e econômicos-ambientais-sociais. Para as duas classes de critérios foram geradas matriz de pesos relativos e para agregá-las, foi aplicada a combinação AHP-OWA.

No trabalho de Goersevski et al. (2013), os critérios foram classificados em restrições e objetivos, que por sua vez foram divididos em fatores ambientais e econômicos. O método Borda foi aplicado para classificar a importância dos critérios e foi utilizado WLC para determinar os pesos relativos de cada um. Foi construído um mapa com a indicação de áreas aptas segundo os critérios ambientais e outro segundo os critérios econômicos. A sobreposição destes dois mapas gerou o mapa das áreas aptas para geração eólica na região de estudo.

Latinopoulos e Kechagia (2015) adotaram 10 critérios de análise, identificados na revisão de literatura e na legislação pertinente. O mapa de áreas aptas e restritas

foi gerado por meio da análise booleana dos critérios de exclusão. A técnica AHP foi aplicada para indicar dentre as áreas aptas, aquelas com maior potencial de geração. A modelagem Fuzzy foi utilizada para gerar os pesos de cada critério.

A pesquisa de Atici et al. (2015) adota os critérios de avaliação com base na revisão de literatura e na legislação pertinente. São aplicadas as técnicas ELECTRE III, para identificar e excluir as áreas inaptas; a ELECTRE-TRI, para fazer uma classificação de aptidão a nível micro e a técnica SMAA-TRI para ranquear as áreas aptas no nível macro.

O artigo de Villacreses et al. (2017) classifica os critérios de análise em critérios de restrição e potencializadores. Após a obtenção do mapa de áreas restritas, foi utilizada a técnica AHP para calcular os pesos relativos de cada critério potencializador. Para ranqueá-los foram utilizadas as técnicas OWA, VIKOR, OCRA e TOPSIS, gerando mapas de classificação de áreas potenciais de geração eólica.

A revisão bibliográfica permitiu aos pesquisadores em Pamucar et al. (2017), determinarem 7 critérios de avaliação e, com base em entrevistas com 7 especialistas. Foi utilizada a técnica BWM para determinar os pesos dos critérios. Após a parametrização, são gerados mapas individuais para cada critério e, pela sobreposição, o mapa de áreas adequadas para geração eólica *onshore* é obtido. Por fim, os autores aplicaram a técnica MAIRCA para indicar e ranquear os locais com maior aptidão para implantação de usinas.

Em Ayodele et al. (2018) os critérios foram classificados em técnico-ambientais e econômico-sociais. Os pesquisadores entrevistaram especialistas para determinar os pesos dos critérios e aplicaram uma junção da técnica AHP com funções Fuzzy para determinar a matriz de comparação. Para cada critério foi gerado um mapa com cinco classes de aptidão de 0 a 4 e, pela sobreposição é obtido o mapa final de classificação das áreas potenciais.

Com base na revisão de literatura e na legislação aplicável, Konstantinos et al. (2019) estabeleceram os critérios de avaliação. A análise das restrições gera as zonas de exclusão e as áreas aptas. Através da AHP, os pesquisadores geraram o mapa de aptidão, categorizado em 5 classes. Foram selecionados 34 pontos nas áreas com

maior adequação e por meio da técnica TOPSIS foi feito o ranqueamento dos melhores locais para implantação de usinas eólicas.

Para garantir a segurança da biodiversidade local e da produção na pesquisa de XU et al. (2020), os pesquisadores estabeleceram 3 critérios de exclusão e 6 critérios de ponderação. O mapa de áreas aptas e inaptas foi obtido pela análise dos critérios de exclusão. Nas áreas aptas, foi aplicada uma variante da técnica AHP, denominada IAHP (Interval AHP), para avaliar os pesos dos critérios e a técnica VIKOR foi usada para ranqueamento. O mapa final foi elaborado a partir da sobreposição do mapa de áreas restritas e dos mapas ponderados de cada critério.

Nos trabalhos mencionados, existem semelhanças e diferenças quanto a abordagem utilizada. Em geral, os pesquisadores seguem o padrão de definir os critérios de avaliação com base na revisão bibliográfica, legislação pertinente ou opinião de especialistas entrevistados, de maneira análoga aos estudos com foco na geração solar.

As principais diferenças de abordagem observadas são: as técnicas de análise multicritério utilizadas e, o produto gerado, que em alguns trabalhos foi a classificação de áreas aptas para geração de energia eólica e, em outros, além da classificação a indicação de melhores localizações para implantação das usinas. Vale citar ainda, como diferença entre os estudos, que em alguns casos são gerados os mapas de áreas restritas, para posteriormente classificar as áreas aptas à geração eólica e, em outros casos, a análise de áreas adequadas e inadequadas é feita conjuntamente.

Da mesma maneira que nos estudos envolvendo energia solar, a técnica multicritério mais utilizada foi a AHP. Observamos também a presença das técnicas BORDA, ELECTRE e BWM. Nota-se que nos estudos mais recentes, são feitas adaptações entre técnicas diferentes, de modo a otimizar o resultado, citando como exemplo Xu et al. (2020) no qual foi usada uma combinação AHP e VIKOR.

2.3.2.3 Geração Eólica *Offshore*

O mapeamento do potencial eólico offshore foi abordado em Chaouachi et al. (2017), Mahdy e Bahaj (2018) e Diaz e Soares (2020). Destes trabalhos, o segundo adotou escala nacional na análise e os outros escala internacional.

Em Chaouachi et al. (2017) primeiramente foram determinados os locais potenciais, através da análise dos critérios de exclusão. A técnica AHP foi aplicada para ranquear os locais determinados, com base na opinião de especialistas.

A técnica AHP foi seguida em sua totalidade no trabalho de Mahdy e Bahaj (2018). Os autores determinaram os critérios utilizados por meio da revisão de literatura. O mapa de áreas inaptas foi obtido aplicando-se uma máscara nos critérios de restrição. A aplicação da AHP gerou o mapa classificado em 10 categorias de aptidão.

No trabalho de Diaz e Soares (2020), os autores analisaram 12 critérios de exclusão e 23 critérios de ponderação com base na literatura internacional e na legislação de cada país. Primeiramente geraram o mapa de restrições e logo após, as áreas aptas foram avaliadas de modo quantitativo, no qual os parâmetros dos critérios de ponderação são investigados em cada uma delas.

Percebe-se muita semelhança na abordagem utilizada nos trabalhos que determinaram os potenciais de energia eólica offshore. A única restrição é no artigo de Diaz e Soares (2020) no qual não se utiliza a técnica AHP, tampouco é feito um ranqueamento de áreas aptas.

2.3.2.4 Geração Eólica e Solar

Janke (2010), Watson e Hudson (2015) e Ali et al. (2019) optaram por fazerem estudos em escala regional, analisando o potencial de geração a partir da fonte eólica e solar. Já em Saraswat et al. (2021) a pesquisa foi feita em escala nacional.

Janke (2010) considera como mapas teóricos os mapas de distribuição da radiação solar e da velocidade dos ventos. O pesquisador sobrepõe os mapas teóricos com o mapa de uso e cobertura da terra para identificar áreas restritas e áreas aptas. Após isso, são atribuídos pesos de 0 a 3 aos critérios de avaliação e através da análise ponderada das áreas aptas o potencial de cada uma é classificado numa escala de 0 a 7.

Em Watson e Hudson (2015) foi feita a análise booleana entre fatores restritivos e os mapas de potenciais teóricos, para identificar as áreas restritas. Nas áreas aptas

é aplicada a AHP, utilizando os fatores potencializadores para indicar áreas com maior aptidão para implantação de usinas eólicas e solares.

Na pesquisa de Ali et al. (2019) os critérios são classificados em fisiográficos, ambientais e econômicos e divididos em subcritérios. A AHP foi aplicada para obter o mapa de áreas adequadas e não adequadas. São obtidas 4 classes de adequação para geração eólica e 5 classes para geração solar.

No trabalho de Saraswat et al. (2021) os pesquisadores estabeleceram 13 critérios a partir da revisão de literatura. Foi aplicada a técnica AHP e os pesos dos critérios foram obtidos por meio de funções Fuzzy. Para cada critério foi gerado um mapa de áreas adequadas classificadas numa escala de 1 (altamente adequada) a 5 (não adequada). A sobreposição dos mapas gerou um mapa de adequação para geração solar e outro para geração eólica.

Os três primeiros estudos seguem o padrão de identificar os potenciais teóricos de geração, os fatores de restrição e os fatores potencializadores. A diferença da abordagem é que enquanto Janke (2010) e Watson e Hudson (2015) fazem uma análise booleana prévia, para identificar as áreas restritas, Ali et al. (2019) partem diretamente para análise de fatores restritivos e potencializadores através da técnica AHP. Já Saraswat et al. (2020) não classifica os critérios em restritivos ou de ponderação, analisando-os de maneira conjunta.

2.3.2.5 Geração Híbrida Solar e Eólica

Aydin et al. (2013), Rezaei et al. (2018) e Diemuodeke et al. (2019) mapearam o potencial de geração híbrida solar e eólica em escala regional.

Aydin et al. (2013) determinaram os critérios de avaliação a partir da revisão de literatura, da legislação e de entrevistas com especialistas. Após estabelecerem os pesos dos critérios e utilizarem WLC para determinar a ordem de relevância de cada um, os pesquisadores obtiveram os mapas de adequação para geração eólica e solar individualmente. A sobreposição desses mapas, gerou o mapa de áreas adequadas para geração híbrida solar e eólica.

Em Rezaei et al. (2018) os autores estabeleceram 13 critérios de avaliação por meio da revisão bibliográfica. Uma combinação Fuzzy-TOPSIS foi utilizada para avaliar os critérios nos municípios pertencentes à província escolhida e ranqueá-los de acordo com o potencial de investimento. Outros métodos AMD como AHP e ELECTRE-III foram utilizados para validar os resultados.

Inicialmente, a pesquisa de Diemudeke et al. (2019) faz uma análise de demanda, na qual são indicados locais potenciais para implantação de usinas híbridas. São investigados 15 critérios de avaliação através do método TOPSIS, obtendo como resultado um ranking dos locais mais indicados para o aproveitamento dos recursos energéticos.

O trabalho de Diemuodeke et al. (2019) traz uma pequena inovação em relação aos demais, ao realizar um estudo de demanda antes da análise multicritério, para indicar os locais onde há necessidade de expansão da oferta de energia.

2.3.2.6 Outras Fontes

Kaya e Kahraman (2010) fizeram a detecção de potencial de geração de energia para a região de Istambul na Turquia. Os pesquisadores analisaram cinco fontes: geotérmica, eólica, solar, hidrelétrica e biomassa. A análise do potencial energético foi feita através de uma comparação pareada dos critérios, seguindo o método AHP. O peso dos critérios foi determinado pelos pesquisadores através de uma técnica Fuzzy-VIKOR.

Os trabalhos de Delivand et al. (2015) e Jeong e Ramírez-Gómez (2017) mapearam o potencial de geração elétrica por bioenergia. Ambos os estudos usaram a escala regional para análise e adotaram 13 critérios de avaliação, divergindo na classificação dos critérios e na abordagem de cada um.

Delivand et al. (2015) determinam os critérios de restrição por meio da legislação local, gerando um mapa com áreas disponíveis e não disponíveis. Os autores então aplicaram a AHP para classificar as áreas disponíveis numa escala de aptidão que varia de 0 a 10. Por fim, dentre as áreas com maior aptidão, foram indicados locais mais propícios para implantação de usinas, no qual o fator preponderante foi a distância para o transporte da biomassa.

O estudo de Jeong e Ramírez-Gomes (2017) estabeleceu os critérios de avaliação a partir da revisão bibliográfica e da consulta a especialistas. Os critérios foram classificados em ambientais, geofísicos e socioeconômicos e foi utilizada como técnica de análise multicritério a DEMATEL, através da qual foram calculados os pesos relativos dos critérios. Para cada tipo de critério foi elaborado um mapa, e através da sobreposição gerou-se o mapa de áreas aptas. A WLC foi usada para classificar as áreas adequadas e indicar as melhores localizações para implantação de usinas.

Como diferença nas duas abordagens, notamos que enquanto em Delivand et al. (2015) é gerado primeiramente o mapa de áreas restritas, para só então realizar a classificação das áreas aptas, em Jeong e Ramírez-Gomes (2017) a classificação é feita, considerando todos os fatores de uma só vez, de modo que o mapa gerado já indica as áreas restritas como uma das classes de adequabilidade.

Na pesquisa de Cradden et al. (2016) foram detectadas áreas para geração de energia a partir da força eólica e das ondas, em escala continental. Os autores consideraram dois tipos de plataforma flutuante. Primeiramente o estudo eliminou áreas inaptas para geração, tendo como principal parâmetro a velocidade dos ventos. Após isso, foram escolhidas algumas localidades das áreas aptas para analisar os parâmetros que influenciam no desempenho das plataformas escolhidas. Tais parâmetros foram definidos com base na revisão bibliográfica. De acordo com a previsão de rendimento das plataformas, com base nos parâmetros considerados, é feito o ranqueamento das áreas consideradas propícias.

No trabalho de Cradden et al. (2016) a escala utilizada influenciou no tipo de abordagem, sendo completamente distinto do que foi visto em outros estudos, nos quais não foi definido um tipo de sistema de geração pré-determinado, mas feita uma análise do potencial da área de estudo de acordo com as características da região. Em outras palavras, os pesquisadores determinaram os locais mais adequados a um determinado tipo de sistema a ser utilizado, não o potencial de geração de uma área em si.

Em Ghorbani et al. (2019) foram detectadas áreas potenciais para instalação de usinas hidrelétricas reversíveis (URH) no Irã. Os pesquisadores utilizaram a técnica

TOPSIS e adotaram 7 critérios de avaliação, para 4 tipos de topologias diferentes. Para cada topologia foi gerado um mapa categorizado em 8 níveis de adequação para instalação de URH.

2.3 CONCLUSÃO

A pesquisa revelou que não existe padronização normativa internacional para detecção de potenciais de geração de energia. Contudo, de modo geral são seguidas cinco etapas: definição da fonte, levantamento dos critérios de avaliação, análise multicritério, geração de mapas categorizados e análises e aplicações.

Constatamos a relevância da técnica AHP, presente em grande parte dos trabalhos analisados. Tal fato indica a robustez, versatilidade e confiabilidade desta técnica. Entretanto, na ponderação dos pesos relativos dos critérios são empregados diversos métodos, com destaque para o Fuzzy, TOPSIS, WLC e OWA. Este caminho é uma tentativa de aumentar a confiabilidade dos resultados.

Os critérios de avaliação devem ser escolhidos de forma a permitir o aproveitamento energético, mas priorizando a conservação ambiental da área de estudo. Em alguns casos, os critérios e parâmetros estavam disponíveis na legislação pertinente, contudo, na maior parte dos estudos os pesquisadores definiram as restrições e fatores de ponderação a partir da literatura científica.

Outra constatação é que os estudos multicritério, foram conduzidos em geral, pela comunidade científica, sem uma participação direta dos governos locais. O que denota pouco interesse num diagnóstico mais aprofundado dos potenciais energéticos das áreas analisadas.

Por fim, salientamos que esta RS forneceu as bases metodológicas para propor um modelo para estimação e diagnóstico do potencial energético renovável a ser aplicado nas mais variadas escalas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL GARNI, Hassan Z.; AWASTHI, Anjali. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. **Applied Energy**. v. 206, p. 1225-1240, 2017.

ALI, Shahid; TAWEEKUN, Juntakan; TECHATO, Kuaanan; WAEWSAK, Jompob; GYAWALI, Saroj. GIS based site selection suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. **Renewable Energy**. v. 132, p. 1360-1372, 2019.

ALY, Ahmed; JENSEN, Steen S.; PEDERSEN, Anders B. Solar power potential of Tanzania: identifying CSP and PV hot spots through a GIS multicriteria decision making analysis. **Renewable Energy**. v. 113, p. 159-175, 2017.

AL-YAHYAI, Sultan; CHARABI, Yassine; GASTLI, Adel; AL-BADI, Abdullah. Wind farm land suitability indexing using a multi-criteria analysis. **Renewable Energy**. v. 44, p. 80-87, 2012.

ASAKEREH, Abbas; SOLEYMANI, Mohsen; SHEIKHDAVOODI, Mohammad J. A GIS-based fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: case study in Khuzestan province, Iran. **Solar Energy**. v. 155, p. 342-353, 2017.

ATICI, Kazim B.; SIMSEK, Ahmet B.; ULUCAN, Aydin; TOSUN, Mustafa U. A GIS-based multiple criteria decision analysis approach for wind power plant site selection. **Utilities Policy**. v. 37, p. 86-96, 2015.

AYDIN, Nazli Y.; KENTEL, Elcin; DUZGUN, H. S. GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: a case study from western Turkey. **Energy Conversion and Management**. v. 70, p. 90-106, 2013.

AYODELE, T. R.; OGUNJUYIGBE, A. S. O.; ODIGIE, O.; MUNDA, J. L. A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: the case study of Nigeria. **Applied Energy**. v. 228, p. 1853-1869, 2018.

CAMPOS, Elaine A. R. de; PAGANI, Regina N.; RESENDE, Luís M.; PONTES, Joseane. Construcion and qualitative assessment of a bilbiographic portfolio using the methodology Methodi Ordinatio. **Sicentometrics**. 116, p. 815-842, 2018.

CERRAO, Natalia G.; CASTRO, Fabiano F. de; JESUS, Ananda, F. de. O método de revisão sistemática de literatura (RS) na área da Ciência da Informação no Brasil: análise de dados de pesquisa. **Informação & Tecnologia**. Marília/João Pessoa. v. 5, n. 1, p. 105-116, jan./jun. 2018.

CHAOUACHI, Aymen; CATALIN, Feliz C.; ARDELEAN, Mircea. Multi-criteria selection of offshore wind farms: case study for the Baltic States. **Energy Policy**. v. 103, p. 179-192, 2017.

COELHO, Suani T.; MONTEIRO, Maria B.; KARNIOL, Mainara R.; GHILARDI, Adrian. **Atlas de bioenergia do Brasil**. Cenbio: São Paulo, 2012.

COLAK, H. E.; MEMISOGLU, Tugba; GERCEK, Yasin. Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: a case study of Malatya province, Turkey. **Renewable Energy**. v. 149, p. 565-576, 2020.

CRADDEN, L.; KALOGERI, C.; BARRIOS, I. M.; GALANIS, G.; INGRAM D.; KALLOS, G. Multi-criteria site selection for offshore renewable energy platforms. **Renewable Energy**. v. 87, p. 791-806, 2016.

DELIVAND, Mitra K.; CAMMERINO, Anna R. B.; GAROFALO, P.; MONTELEONE, Massimo. Optimal locations of bioenergy facilities, biomass spatial availability logistics costs and GHG (greenhouse gases) emissions: a case study on electricity productions in South Italy. **Journal of Cleaner Production**. v. 99, p. 129-139, 2015.

DIAZ, H.; SOARES, C. G. An integrated approach for site selection of floating offshore wind farms in the Atlantic continental european coastline. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 134, 19 p., 2020.

DÍAZ, Hugo; SOARES, Carlos G. A multi-criteria approach to evaluate floatin offshore wind farms siting in the Canary Islands (Spain). **Energies**, v. 14, 18 p., 2021.

DÍAZ-VÁZQUEZ, Diego; ALVARADO-CUMMINGS, Susan C.; MEZA-RODRÍGUEZ, Demetrio; SENÉS-GUERRERO, Carolina; et al. Evaluation of biogas potential from livestock manures and multicriteria site selection for centralized anaerobic digester systems: the case of Jalisco, México. **Sustainability**, v. 14, 32 p., 2020.

DIEMUODEKE, E. O.; ADDO, A.; OKO, C. O. C.; MULUGETTA, Y.; OJAPAH, M. M. Optimal mapping of hybrid Renewable energy systems for locations using multi-criteria decision-making algorithm. **Renewable Energy**. v. 134, p. 461-477, 2019.

DOLJAK, Dejan; STANOJEVIC, Gorica. Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. **Energy**. v. 127, p. 291-300, 2017.

DONATO, Helena; DONATO, Mariana. Etapas na condução de uma revisão sistemática. **Acta Med Port**. 32 (3), p. 227-235, 2019.

DOORGA, Jay R. S.; RUGHOPUTH, Soonil D. D. V.; BOOJHAWON, Ravindra. Multi-criteria GIS-based modelling technique for identifying potential solar farm sites: a case study in Mauritius. **Renewable Energy**. v. 133, p. 1201-1219, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balço energético nacional 2021: ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

EUROPEAN COMMISSION, Photovoltaic Geographical Information System. Disponível em : https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. Acesso em: 25.11.2022.

FANG, Hong; LI, Jing; SONG, Wenyan. Sustainable site selection for photovoltaic power plant: an integrated approach based on prospect theory. **Energy Conversion and Management**. v. 174, p. 755-768, 2018.

FIROZJAEI, Mohammad K.; NEMATOLLAHI, Omid; MIJANI, Naeim; SHORABEH, Saman N.; FIROSJAEI, Hamzeh K.; TOOMANIAN, Ara. An integrated GIS-based ordered weighted averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: current conditions and future planning. **Renewable Energy**. v. 136, p. 1130-1146, 2019.

GHASEMI, Golar; NOOROLLAHI, Younes; ALAVI, Hamed; MARZBAND, Mousa; SHAHBAZI, Mahmoud. Theoretical and technical potential evaluation of solar power Generation in Iran. **Renewable Energy**. v. 138, p. 1250-1261, 2019.

GHORBANI, Narges; MAKIAN, Hamed; BREYER, Christian. A GIS-based method to identify potential sites for pumped hydro energy storage – case of Iran. **Energy**. v. 169, p. 854-867, 2019.

GIAMALAKI, Marina; TSOUTSOS, Theocharis. Sustainable siting of solar power installations in Mediterranean using GIS approach. **Renewable Energy**. v. 141, p. 64-75, 2019.

GOSERVSKI, Perce V.; CATHCART, Steven C. MIRZAEI, Golrockh; JAMALI, Mohsin M.; YE, Xinyue; GOMEZDELCAMPO, Enrique. A group-based spatial decision support system for wind farm site selection in Northwest Ohio. **Energy Policy**. v. 55, p. 374-385, 2013.

GRIL, G.; LEHNER, B; THIEME, M.; GEENEN, B.; TICKNER, D.; et al. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**. v. 569, p. 215-221, 2019.

JANKE, Jason R. Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. **Renewable Energy**. v. 35, p. 2228-2234, 2010.

JEON, Jin S.; GÓMEZ-RAMÍREZ, Álvaro. Optimizing the location of biomass plant with a fuzzy-decision-making trial and evaluation laboratory (F-DEMATEL) and multi-criteria spatial decision assessment for renewable energy management and long-term sustainability. **Journal of Cleaner Production**. v. 182, p. 509-520, 2018.

KANNAN, Devika; MOAZZENI, Sahar; DARMIAN, Sobhan M.; AFRASIABI, Ahmadreza. A hybrid approach based on MCDM methods and Monte Carlo Simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. **Journal of Cleaner Production**. v. 279, 19 p., 2021.

KAYA, Tolga; KAHRAMAN, Cengiz. Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: the case of Istanbul. **Energy**. v. 35, p. 2517-2527, 2010.

KONSTANTINOS, Ioannou; GEORGIOS, Tsantopoulos; GARYFALOS, Arabatzis. A decision support system methodology for selecting wind farm installation locations using AHP and TOPSIS: case study in Eastern Macedonia and Thrace region, Greece. **Energy Policy**. v. 132, p. 232-246, 2019.

KUMAR, Mahesh. Social, economic, and environmental impacts of renewable energy resources. In: OKEDU, K. E.; TAHOUR, A.; AISSAOU, A. G.; **Wind Solar Hybrid Renewable Energy System**. Londres: IntechOpen, 2020. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/70874>. Acesso em: 15.11.2022.

LATINOPOULOS, D.; KECHAGIA, K. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm selection. A regional scale application in Greece. **Renewable Energy**. v. 78, p. 550-560, 2015.

MAHDY, Mostafa; BAHAJ, AbuBakr S. Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. **Renewable Energy**. v. 118, p. 278-289, 2018.

MAJUMDAR, Dabaleena; PASQUALETTI, Martin J. Analysis of land availability for utility-scale power plants and assessment of solar photovoltaic Development in the state of Arizona, USA. **Renewable Energy**. v. 134, p. 1213-1231, 2019.

MERROUNI, Ahmed A.; ELALAOUI, Fakhreddine E.; MEZRHAB, Ahmed; MEZRHAB Abdelhamid; GHENNIQUI, Abdellatif. Large scale pv sites selection by combining GIS and analytical hierarchy process. Case study: Eastern Morocco. **Renewable Energy**. v. 119, p. 863-873, 2018.

NEIVA, Antônio C. de B.; DUTRA, Ricardo M.; MELO, Sérgio R. F. C. de; GUEDES, Vanessa G.; CABRERA, Ângelo A. M.; ALMEIDA, Waldenio G. de; BRAZ, Rodrigo de O. **Atlas do potencial eólico brasileiro: simulações 2013**. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Rio de Janeiro, 2017.

NEWA. New European Wind Atlas. Disponível em: <https://map.neweuropeanwindatlas.eu>. Acesso em 25.11.2022.

NOOROLLAHI, Ehsan, FADAI, Dawud; SHIRAZI, Mohsen A.; GHODSIPOUR, Seyed H. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) - a case study of Iran. **Energies**. v. 9, 2016.

O'HANLEY, Jesse R.; POMPEU, Paulo S.; LOUZADA, Marina; ZAMBALDI, Ludmilla P.; KEMP, Paul S. Optimizing hydropower dam location and removal in the São Francisco river basin, Brazil to balance hydropower and river biodiversity tradeoffs. **Landscape and Urban Planning**. v. 195, 9 p., 2020.

PAGANI, Regina N.; KOVALESKI, João L.; RESENDE, Luis M. M. de. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**. 105, p. 2109-2135, 2015. DOI 10.1007/s11192-015-1744-x.

PAMUCAR, Dragan; GIGOVIC, Ljubomir; BAJIC, Zoran; JAOSEVIC, Milojko. Location selection for wind farms using GIS multi-criteria hybrid model: an approach based on fuzzy and rough numbers. **Sustainability**. v. 9, 2017.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L. de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L. de; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Sílvia V.; SOUZA, Jefferson G. de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p.

PRAENE, Jean P.; FAKRA, Damien A. H.; BENARD, Fiona; AYAGAPIN, Leslie; RACHADI, Mohamed N. M. Comoro's energy review for promoting renewable energy sources. **Renewable Energy**. v. 169, p. 885-893, 2021.

REDISK, Graciele; SILUK, Júlio C. M.; MICHELS, Leandro; RIGO, Paula D.; ROSA, Carmem B.; CUGLER, Gilberto. Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. **Energy**. v. 197, 16p., 2020.

REZAEI, Mostafa; MOSTAFAEIPOUR, Ali; QOLIPOUR, Mojtaba; TAVAKKOLI-MOGHADDAN, Reza. Investigation of the optimal location design of hybrid wind-solar plant: a case study. **International Journal of Hydrogen Energy**. v. 43, p. 100-114, 2018.

RUEDA-BAYONA, Juan G.; GUZMÁN, Andres; ERAS, Juan J. C.; SILVA-CASARÍN, Rodolfo; BASTIDAS-ARTEAGA, Emilio; HORRILLO-CARABALLO, José. Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology. **Journal of Cleaner Production**. v. 220, p. 529-543, 2019.

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M.; ANTUNES, Carlos H.; GÁRCIA-CASCALES, Maria S.; DIAS, Luis C. GIS-based photovoltaic solar farms site selection usgin ELECTRE-TRI: evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. **Renewable Energy**. v. 66, p. 478-494, 2014.

SARASWAT, S. K.; DIGALWAR, Abhijeet K.; YADAV, S. S.; KUMAR, Gaurav. MCDM and GIS based modelling technique for assessment of solar and wind farm locations in India. **Renewable Energy**. v. 169, p. 865-884, 2021.

Secretaria da Ciência, Tecnologia e Inovação (SECTI); Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA); Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Campus Integrado de Manufatura e Tecnologias (SENAI CIMATEC). **Atlas eólico: Bahia**. Salvador, 2013.

_____. **Atlas solar: Bahia**. Salvador, 2018.

SEETHARAMAN, Krishna M.; PATWA, Nitin; SARAVANAN, Yash G. Breaking barriers in deployment of renewable energy. **Heliyon**. v. 5, 23 p., 2019.

SHORABEH, Saman N.; FIROZJAEI, Mohammad K.; NEMATOLLAHI, Omid; FIROZJAEI, Hamzeh K.; NIARAKI-JELOKHANI, Mohammadreza. A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site in different climates: a case study in Iran. **Renewable Energy**. v. 143, p. 958-973, 2019.

SIKSNELYTE-BUTKIENE, Indre; ZAVADSKAS, Edmundas K.; STREIMIKIENE, Dalia. Multi-criteria decision-making (MCDM) for the assessment of renewable energy technologies in a household: a review. **Energies**. v. 13, 22 p., 2020.

SOLANGI, Yasir A.; SHAH, Syed A. A.; ZAMEER, Hashim; IKRAM, Muhammad; SARACOGLU, Burak Omer. Assessing the solar PV power project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy VIKOR approach. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 26, p. 30286-30302, 2019.

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**. v. 18, p. 110-118, 2012.

SUN, Kaiqi; XIAO, Huangqing; LIU, Shengyuan; YOU, Shutang, et al. A review of clean electricity policies - from countries to utilities. **Sustainability**. v. 12, 22 p., 2020.

TEGOU, Leda-Ioanna; POLATIDIS, Heracles; HARALAMBOPOULOS, Dias A. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. **Journal of Environmental Management**. v. 91, p. 2134-2147, 2010

VAGIONA, Dimitra G.; KAMILAKIS, Manos. Sustainable site selection for offshore wind farms in the South Aegean - Greece. **Sustainability**, v. 10, 18 p., 2018.

VILLACRESES, Geovana; GAONA, Gabriel; MARTÍNEZ-GÓMEZ, Javier; JIJÓN, Diego J. Wind farms suitability location using geographical information system (GIS), based on multi-criteria decision making (MCDM) methods: the case of continental Ecuador. **Renewable Energy**. v. 109, p. 275-286, 2017.

WATSON, Joss J. W.; HUDSON, Malcolm D. Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. **Landscape and Urban Planning**. v. 138, p. 20-31, 2015

XU, Ye; LI, Ye; ZHENG, Lijun; CUI, Liang; LI, Sha; LI, Wei; CAI, Yanpeng. Site selection of wind farms using GIS and multi-criteria decision making method in Wafangdian. China. **Energy**. v. 207, 12 p., 2020.

YOUSEFI, Houssein; HAFEZNIA, Hamed; YOUSEFI-SAHZABI, Amin. Spatial site selection for solar power plants using GIS-based boolean-fuzzy logic model: a case study of Markazi Province, Iran. **Energies**. v. 11, 18 p., 2018.

CAPÍTULO 3 – A LEGISLAÇÃO E O PAPEL DOS ENTES FEDERATIVOS NA DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

RESUMO

A garantia do suprimento energético é tema de constante preocupação entre os governos e, nos últimos anos, os debates envolvendo a sustentabilidade apontam para o uso das fontes renováveis de energia, em especial na geração elétrica. No Brasil, a matriz elétrica apresenta forte presença de fontes renováveis, entretanto, é altamente dependente da fonte hidráulica. É preciso aumentar a participação de outras fontes de energia no parque gerador brasileiro. Para tanto, a ação estatal é fundamental no que diz respeito ao estabelecimento de normas e no fomento de novos empreendimentos. Dessa forma, o presente artigo teve como objetivo, a partir da análise do ambiente normativo brasileiro, avaliar a participação de cada ente federativo (União, Estados e Municípios) na inserção e utilização de fontes renováveis na matriz elétrica nacional. A pesquisa revelou que o tema energia tem poucos diplomas legais específicos, e muito do que é aplicado é retirado da legislação ambiental geral. Notamos ainda, que por força da Constituição Federal de 1988, a União detém a competência legislativa sobre o tema, e portanto, estabelece normas e regras gerais, enquanto Estados e Municípios atuam de forma marginal, especialmente em matéria fiscal e nas ações de licenciamento ambiental. Ficou evidente ainda, a falta de objetividade, padronização e a não existência de critérios técnicos específicos para o aproveitamento energético. Constatamos também, que a maior parte do que foi estabelecido legalmente constitui em programas de governo e não em políticas de Estado. Dessa maneira, se faz necessário ampliar a participação de Estados e Municípios na elaboração dos planos nacionais de aproveitamento energético, bem como na revisão e padronização técnica das normas de licenciamento. Estas lacunas devem ser preenchidas, para que o desenvolvimento sustentável, princípio estabelecido na Constituição, seja fortalecido e viabilizado.

Palavras-Chave: desenvolvimento sustentável; legislação; energias renováveis; geração de energia.

ABSTRACT

The guarantee of the energy supply is a constant concern among governments and, in recent years, the debates involving sustainability point to the use of renewable energy sources, especially in electricity generation. In Brazil, the electric matrix presents a strong presence of renewable sources, however, it is highly dependent on the hydraulic source. It is necessary to increase the participation of other energy sources in the Brazilian generation park. To this end, state action is essential for the establishment of standards and the promotion of new ventures. Thus, this article aimed

to, from the analysis of the Brazilian regulatory environment, evaluate the participation of each federative entity (Union, States, and Municipalities) in the insertion and use of renewable sources in the national electric matrix. The research revealed that the energy theme has few specific legal texts, and much of what is applied is taken from the general environmental legislation. We also noticed that, by force of the Federal Constitution of 1988, the Union has the legislative competence on the subject, and therefore, establishes norms and general rules, while States and Municipalities act marginally, especially in fiscal matters and in environmental licensing actions. It was also evident, the lack of objectivity, standardization, and the non-existence of specific technical criteria for energetic use. We also verified that most of what was legally established constitutes government programs and not State policies. In this way, it is necessary to extend the participation of States and Municipalities in the elaboration of national plans for energy use, as well as in the revision and technical standardization of the licensing norms. These gaps must be filled, so that sustainable development, a principle established in the Constitution, is strengthened and made possible.

Key words: sustainable development; legislation; renewable Energies; power generation.

3.1 INTRODUÇÃO

Na sociedade industrializada atual, a necessidade de energia é constante e crescente. A demanda por eletricidade acompanha a evolução de fatores socioeconômicos tais como aumento da população, crescimento da economia, distribuição de renda, perfil de consumo, dentre outros.

Durante algum tempo, os combustíveis fósseis constituíram o principal insumo na geração elétrica. Contudo, de acordo com Rueda-Baynona et al. (2019) e Seetharaman (2019), a preocupação com a geração de energia renovável cresceu tanto no mercado, quanto nos fóruns sobre conservação ambiental.

Ao longo do século XX, muitos países passaram a incentivar a inserção das fontes renováveis em suas respectivas matrizes elétricas, especialmente, após as crises do petróleo ocorridas na década de 1970, dentre eles o Brasil (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019). Em 2020, cerca de 84% da matriz elétrica brasileira foi composta por fontes renováveis de energia, sendo que somente a fonte hidráulica foi responsável por 63,8% da eletricidade gerada no território nacional (EPE, 2021).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), houve crescimento da participação das fontes renováveis de energia na matriz elétrica nacional, em especial a biomassa, a eólica e a solar, com variações entre 2016 e 2020 de 19,04%, 70,35% e 12.508% respectivamente. Mesmo com este incremento, a crise hídrica ocorrida em 2020 obrigou o operador do sistema a acionar as usinas térmicas com maior frequência, o que representou um aumento de 9,1% na geração por derivados de petróleo, em relação a 2019, interrompendo uma tendência de queda (EPE, 2021).

Para que o suprimento energético seja constante e atenda às demandas da sociedade, é necessário realizar um planejamento integrado que leve em consideração as principais variáveis que influenciam neste processo. Desta maneira, o Ministério de Minas e Energia (MME) em parceria com a EPE elaborou o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (PDE 2030), no qual é feita uma análise dos cenários previstos para o setor energético nacional no horizonte entre 2021 e 2030. Ressalta-se que, o PDE 2030 é uma revisão e ampliação do Plano anterior, elaborado em 2019 (BRASIL, 2021).

No cenário esperado, a economia deve apresentar uma taxa média de crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) de 2,9% anuais e que a população alcance um total de 224 milhões de habitantes em 2030, num acréscimo de 0,5% ao ano. O consumo total de eletricidade deve saltar de 546 TWh em 2019 para 762 TWh em 2030, o que representa um crescimento médio 3,1% ao ano. Dentre as classes de consumo, destaca-se o setor residencial com uma taxa de crescimento de 3,4% ao ano, enquanto os setores industrial e comercial devem crescer a uma taxa de 2,5% e 3% ao ano, respectivamente (BRASIL, 2021). Nota-se, a tendência de crescimento de demanda da eletricidade superior ao crescimento médio do PIB e da população no horizonte do PDE 2030.

Para garantir o atendimento da demanda, o PDE 2030 projeta um crescimento de aproximadamente 53,3 GW de potência instalada no parque gerador brasileiro. A expectativa é que ao final de 2030, a participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira cresça a ponto de quase zerar a participação do carvão e derivados do petróleo. O destaque é o crescimento das fontes eólica e solar, estimado em 102%

e 187% respectivamente. Outro ponto interessante é a expectativa da adesão à geração distribuída, feita por fontes renováveis, que deve responder em 2030 por 24,5 GW da potência de geração instalada no Brasil, ou 11,3% da matriz elétrica nacional.

O PDE 2030 aponta que a expectativa do crescimento das fontes renováveis ao longo do tempo na matriz elétrica nacional, se dá principalmente pela consolidação das tecnologias de geração e redução dos custos de acesso e produção. Entretanto, o Plano de Decenal também indica que o crescimento dessas fontes pode ser freado, ou mesmo a participação delas na matriz ser reduzida, caso haja incentivos político-econômicos para o setor das termelétricas (BRASIL, 2021).

Assim, é prudente analisar o ambiente normativo do setor de energia brasileiro, sob a ótica do incentivo estatal à inserção das fontes renováveis alternativas na matriz elétrica nacional.

Neste aspecto, o presente artigo tem como objetivo identificar os principais diplomas legais que regem o setor de geração de energia no Brasil e assim, analisar o papel dos entes federativos no ambiente legislativo do setor energético nacional, no que diz respeito à inserção e utilização dos recursos renováveis para geração de energia elétrica. Pretende-se ainda, apontar possíveis lacunas na legislação brasileira e assim, sugerir meios eficazes de aumentar a influência das unidades federativas no planejamento energético nacional.

3.2 METODOLOGIA

A forma federativa de organização do Estado brasileiro garante às unidades da Federação certa autonomia para redigir normas jurídicas que devem ser observadas em seus respectivos territórios geográficos. Dessa maneira, em muitos temas, respeitados os limites constitucionais, coexistem normas federais, estaduais (ou distritais) e municipais.

O artigo 22, inciso IV da Constituição Federal de 1988 (CF) é taxativo ao delegar à União competência privativa para legislar sobre o tema de energia. Enquanto sobre meio ambiente, a competência legislativa é dada à União, Estados e Distrito Federal concorrentemente e, acrescenta ainda os Municípios na competência

comum às outras unidades federativas de proteção ao meio ambiente, nos termos dos arts. 24, incisos VI e VII e, 23, inciso VI (BRASIL, 1988).

Assim, para analisar o papel dos Estados, enquanto entes federativos, dada a quantidade expressiva de unidades federativas brasileiras, foi preciso restringir a pesquisa, escolhendo o estado da Bahia como objeto do estudo. No âmbito municipal, a quantidade de municípios também impõe que se limite a um número determinado para viabilizar a análise. Dessa maneira, definimos que os 5 municípios baianos com maior potência de geração de energia renovável instalada, teriam suas respectivas estruturas normativas analisadas. Pretendemos compreender se algum aspecto do ambiente normativo desses entes, os torna mais atrativos para que ocupem lugar de destaque na geração de energia renovável no estado baiano.

Os municípios foram escolhidos de acordo com os dados de geração de energia disponíveis no Sistema de Informações de Geração da Aneel (SIGA), atualizados em fevereiro de 2022. Segundo o SIGA, no estado da Bahia a geração por fonte renovável se dá por meio da fonte hidrelétrica, solar, eólica e biomassa. A Tabela 3.1 mostra os 5 municípios com maior potência instalada de geração por fontes renováveis no estado da Bahia, excluindo a fonte hidráulica. Além da potência instalada, temos os dados da população, de densidade demográfica e do Índice de Desenvolvimento Humano dos municípios. Percebe-se que todos priorizaram os investimentos em energia eólica.

Tabela 3.1: Cinco municípios baianos com maior potência instalada de geração por fonte alternativa de energia

Município	População (habitantes)	Dens. Demográfica (hab/km²)	IDH (2010)	Potência Instalada (MW)	Fonte
Sento Sé	37.425	2,95	0,585	1.127,8	Eólica
Pindaí	15.628	25,45	0,603	986,5	Eólica
Campo Formoso	66.616	9,18	0,586	884,4	Eólica
Morro do Chapéu	35.164	6,12	0,588	812,7	Eólica
Caetité	47.515	19,45	0,625	558,2	Eólica

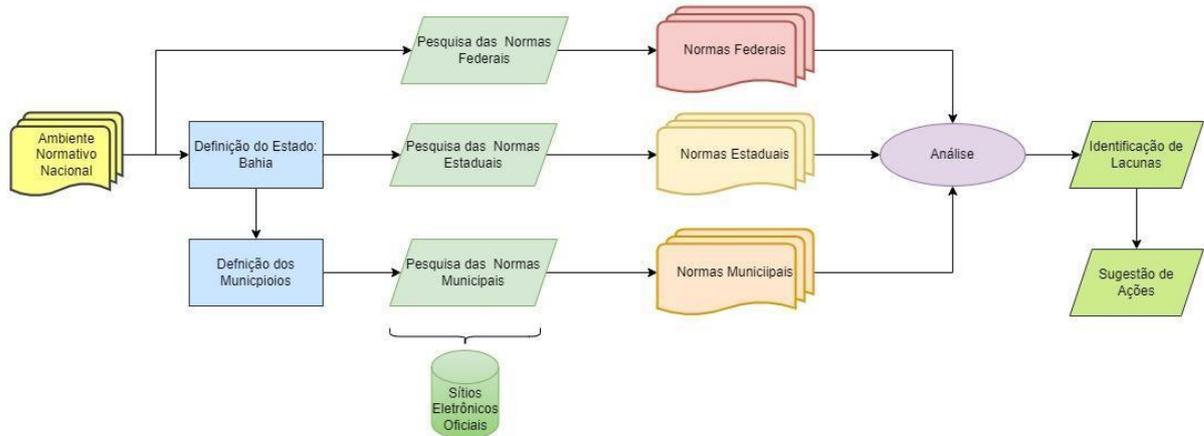
Fonte: SIGA, 2022; IBGE, 2023 (Dados referentes ao Censo 2010).

A pesquisa dos instrumentos normativos foi feita nos sítios eletrônicos oficiais dos entes federativos. No caso do âmbito federal, foram consultados os sítios do Palácio do Planalto, da Câmara dos Deputados, do Senado Federal, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e dos órgãos envolvidos no processo de

licenciamento ambiental. No nível estadual, foram consultadas as páginas do Governo do Estado da Bahia, da Assembleia Legislativa da Bahia e da Secretaria de Infraestrutura do Estado. Já no âmbito municipal foram consultadas as páginas eletrônicas das respectivas prefeituras e Câmaras de Vereadores, além da página do Tribunal de Contas dos Municípios do Estado da Bahia (TCM-BA).

A figura 3.1 ilustra o fluxograma metodológico adotado nesta pesquisa.

Figura 3.1: Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

3.2 RESULTADOS

Além da Carta Magna de 1988, outros diplomas legais infraconstitucionais, regionais e locais atribuem funções a serem exercidas pelos entes federativos nacionais. São eles que regulam o ambiente econômico-social e podem interferir de maneira positiva ou negativa, para o uso das fontes de energias renováveis. A pesquisa revelou a escassez de diplomas normativos específicos sobre a energia, por isso, muito do que é aplicado ao aproveitamento energético vem da regulação ambiental em geral. Nesta seção, apresentamos as principais normas legais aplicáveis ao setor energético brasileiro, nos âmbitos federal, estadual e municipal.

3.3.1 Principais Normas no Âmbito Federal

De acordo com Tronco (2017), o primeiro diploma normativo a fazer referência ao desenvolvimento sustentável foi a lei n. 6.938 de 1981, que instituiu a Política Nacional do Meio Ambiente.

A partir da CF de 1988, surgem no arcabouço legal nacional dispositivos que visam normatizar o aproveitamento das fontes de energia. Tais normas podem ser entendidas quanto a ação que promovem em quatro categorias: (i) as que fixam normas gerais, (ii) as que criam a estrutura administrativa do setor, (iii) aquelas que estabelecem políticas e programas de incentivo e (iv) as que tratam do licenciamento e uso de recursos ambientais.

O Quadro 3.1 mostra os principais diplomas normativos aplicáveis ao setor energético no Brasil.

Quadro 3.1: Principais diplomas normativos do setor de energia no âmbito federal.

(continua)

Norma	Principal Objeto	Tipo de Ação
Constituição Federal de 1988	Estabelece o meio ambiente como direito constitucional e determina normas gerais a serem seguidas no ambiente normativo.	Fixa normas gerais
Lei n.º 6.938 de 1981	Institui a Política Nacional do Meio Ambiente	Fixa normas gerais
Lei n.º 9.427 de 1996	Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL	Estrutura administrativa do setor
Lei n.º 9.478 de 1997	Dispõe sobre a Política Energética Nacional, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo	Estrutura administrativa do setor
Lei n.º 9.991 de 2000	Dispõe sobre investimento em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética por parte das concessionárias	Políticas e programas de incentivo
Lei n.º 10.257 de 2001	Institui o Estatuto da Cidade	Fixa normas gerais
Lei n.º 10.438 de 2002	Cria o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica	Políticas e programas de incentivo
Lei n.º 11.488 de 2007	Cria o REIDI - Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura	Políticas e programas de incentivo
Lei n.º 12.187 de 2009	Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima	Fixa normas gerais
Lei Complementar 140 de 2011	Fixa normas para cooperação entre os entes federativos em decorrência da defesa do meio ambiente.	Fixa normas gerais
Lei n.º 12.651 de 2012	Institui o novo Código Florestal	Fixa normas gerais
Lei nº 13.169 de 2015	Zera alíquotas de contribuição para o PIS/Pasep e COFINS incidentes sobre a energia ativa injetada na rede de distribuição correspondente à mesma quantidade pela mesma unidade consumidora.	Políticas e programas de incentivo

Quadro 3.1: Principais diplomas normativos do setor de energia no âmbito federal.**(conclusão)**

Norma	Principal Objeto	Tipo de Ação
Lei nº 14.300 de 2022	Institui o marco legal da microgeração e da minigeração distribuída	Fixa normas gerais
Decreto Presidencial de 27/12/1994	Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM	Políticas e programas de incentivo
Decreto 2003 de 1996	Regulamenta a produção de energia por produtor independente e autoprodutor	Políticas e programas de incentivo
Decreto 3.520 de 2000	Dispõe sobre a estrutura e o funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética.	Estrutura administrativa do setor
Decreto 5.025 de 2004	Regulamenta o PROINFA.	Políticas e programas de incentivo
Decreto 9.578 de 2018	Dispõe sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima.	Políticas e programas de incentivo
Decreto 10.946 de 2022	Dispõe sobre a cessão de espaços físicos e aproveitamento de recursos naturais de posse da União para geração eólica offshore.	Licenciamento ambiental
Portaria Interministerial 60 de 2015	Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação de órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental.	Licenciamento ambiental
Res. Aneel 482 de 2012	Estabelece as condições gerais para microgeração e minigeração distribuída.	Políticas e programas de incentivo
Res. Aneel 687 de 2015	Revisão da Resolução 482 de 2012.	Políticas e programas de incentivo
Res. Aneel 876 de 2020	Estabelece requisitos para outorga de autorização e ampliação de capacidade instalada de empreendimentos de geração por fontes alternativas.	Licenciamento ambiental
Res. Conama 006 de 1987	Dispõe sobre licenciamento de obras no setor de geração de energia.	Licenciamento ambiental
Res. Conama 279 de 2001	Procedimentos para licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno impacto ambiental.	Licenciamento ambiental
Res. Conama 462 de 2014	Estabelece procedimentos para licenciamento ambiental para geração eólica.	Licenciamento ambiental

Fonte: autoria própria.

A atual Constituição brasileira elevou a defesa do meio ambiente à categoria de princípio constitucional e atribuiu ao Estado, com a colaboração da sociedade, a missão de preservação e promoção ambiental. Dessa forma, as políticas públicas de desenvolvimento nacional, especialmente no que trata do aproveitamento de recursos naturais, entre eles os energéticos, devem ser norteadas por tal princípio.

Consta também na atual Constituição Federal, que os potenciais de energia hidráulica são bens da União e, que Estados, Distrito Federal e Municípios juntamente com a União participam no resultado da exploração de recursos hídricos para fins de

geração de energia que estejam localizados em seus territórios, nos termos do art. 20 inciso VII e parágrafo 1º. Além disso, o art. 21 permite à União explorar serviços e instalações de energia elétrica e o aproveitamento energético dos cursos d'água.

Como dispositivo fixador de normas gerais, vale citar ainda a Lei Complementar 140 de 2011, pois com ela os papéis dos entes federativos nas ações administrativas na defesa e proteção do meio ambiente foram definidos de maneira mais clara. Os principais aspectos abordados dizem respeito ao licenciamento ambiental e instrumentos e ações de cooperação entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios.

Dentre as políticas e programas de incentivo ao uso das energias renováveis, além do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), merece destaque a Lei nº 13.169 de 2015 que em seu artigo 8º reduz a zero as alíquotas de contribuição do Programa de Integração Social e do Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (PIS/PASEP) e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) “incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora” (BRASIL, 2015, p. 2).

Com Resolução nº 482 de 2012 e sua revisão, a Resolução 687 de 2015 a ANEEL, além de definir os níveis de potência de microgeração e minigeração distribuída (até 75 kW e entre 75 kW e 5 MW, respectivamente), estabeleceu critérios para acesso ao sistema de distribuição e estabeleceu o sistema de compensação de energia elétrica, a partir do qual os consumidores passaram a ser compensados pela energia produzida e injetada na rede.

Recentemente foi sancionada a Lei n.º 14.300 de 2022, a qual estabelece o marco legal da geração distribuída no Brasil. Dentre as principais alterações em relação à Res. ANEEL 482/2012 podemos citar o fim da compensação de 100% dos créditos, o estabelecimento do limite de 3 MW de potência para geração solar e manutenção de 5 MW para outras fontes, a exigência de garantia de fiel cumprimento

para empreendimentos acima de 500 kW e o estabelecimento da cobrança de taxas e encargos que não haviam anteriormente, como a Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição - TUSD (BRASIL, 2022).

Por fim, há que se falar das normas que tratam do licenciamento ambiental. De maneira geral, as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), bem como o Decreto 10.946/2022, se restringem a orientações de caráter burocrático, como o estabelecimento de prazos e documentos a serem entregues aos órgãos licenciadores para obtenção das licenças. A exceção fica pela Resolução 462/2014, aplicada à geração eólica *onshore*, que traz uma definição de empreendimentos que não serão considerados de baixo impacto, entretanto outorga aos órgãos licenciadores locais a análise técnica dos impactos.

Ressalta-se ainda a importância do Código Florestal de 2012 e da Portaria Interministerial 60 de 2015. O Código estabelece limites de exploração de recursos naturais nas áreas de proteção permanente, enquanto a Portaria 60/2015 estabelece procedimentos administrativos a serem seguidos nos casos em que o licenciamento ambiental envolve além de impactos ambientais, impactos sobre terras indígenas e quilombolas, patrimônio histórico e cultural e questões de saúde pública.

3.3.2 Principais Normas no Âmbito Estadual

Embora a Constituição de 1988 tenha delegado à União competência privativa para legislar sobre energia, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios podem elaborar políticas públicas voltadas ao aproveitamento racional dos recursos energéticos. O Quadro 3.2 mostra os principais diplomas normativos da legislação estadual baiana pertinente ao tema da energia.

Quadro 3.2: Principais diplomas normativos e convênios aplicados ao setor de energia no Estado da Bahia.

(continua)

Norma	Principal Objeto
Constituição Estadual de 1989	Preservação ambiental e normas gerais dentro do escopo permitido.
Lei nº 10.431 de 2006	Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia
Lei nº 11.612 de 2009	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos

Quadro 3.2: Principais diplomas normativos e convênios aplicados ao setor de energia no Estado da Bahia.

(conclusão)

Lei nº 13.914 de 2018	Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar no Estado da Bahia
Decreto nº 14.024 de 2012	Regulamenta as Leis 10.431/2006 e 11.612/2009
Decreto nº 15.682 de 2014	Atualiza o Decreto 14.024/2012
Resolução CEPRAM nº 4.145 de 2010	Aprova a Norma Técnica que trata sobre análise ambiental integrada para empreendimentos de aproveitamento hidrelétrico
Resolução CEPRAM nº 4180 de 2011	Aprova a Norma Técnica que dispõe sobre Processo de Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Geração Eólica
Resolução CEPRAM nº 4327 de 2013	Dispõe sobre atividades de impacto local de competência dos municípios.
Convênio ICMS 101 de 1997	Concede isenção de ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica.
Convênio ICMS 16 de 2015	Concede isenção de ICMS nas operações relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Fonte: autoria própria.

A Constituição Baiana se restringe a falar sobre a responsabilidade do governo estadual na proteção e promoção do meio ambiente em todos os setores da sociedade. A preocupação do legislador baiano com o tema fica evidenciada no artigo 45 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, o qual diz: “Lei instituirá, até seis meses após a promulgação desta Constituição, o Plano Estadual de Meio Ambiente” (BAHIA, 1989).

Apesar da previsão na constituição estadual, a Política Estadual de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade foi instituída somente em 2006 através da Lei nº 10.431. O uso racional da energia é evidenciado nos dispositivos da norma. O artigo 3º inciso III diz que um dos objetivos da lei supracitada é: “otimizar o uso de energia, bens ambientais e insumos, visando à economia dos recursos naturais e à redução da geração de resíduos líquidos, sólidos e gasosos” (BAHIA, 2006). A regulamentação da Política Estadual do Meio Ambiente se deu com o Decreto nº 14.024 de 2012 e sua atualização no Decreto nº 15.682 de 2014.

Já a Lei nº 11.612 de 2009, ao tratar do uso de recursos hídricos estaduais para geração de energia elétrica, determina que a cobrança será regida pela legislação federal.

Com o objetivo de diversificar ainda mais a matriz elétrica baiana, foi instituída a Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar no Estado da Bahia, através da Lei nº 13.914 de 2018. O caput do artigo 5º estabelece como instrumentos da política o incentivo fiscal e tributário, a pesquisa tecnológica, a assistência técnica e a promoção dos produtos.

Embora não sejam normas estaduais propriamente ditas, os Convênios 101 de 1997 e 16 de 2015, assinados no âmbito do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), tem repercussões no âmbito estadual entre os seus signatários. O primeiro, isenta do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), um imposto estadual, as operações com equipamentos e componentes destinados ao aproveitamento de energias solar e eólica. O segundo, isentou do mesmo imposto, o consumidor inserido no sistema de compensação de créditos sobre o saldo que receber e não conseguir compensar.

Em termos de licenciamento, além das normativas federais, o Conselho Estadual de Meio Ambiente (CEPRAM) publicou duas resoluções específicas para o setor energético: a Resolução nº 4.145 de 2010 que trata do aproveitamento dos potenciais hidrelétricos estaduais e a Resolução nº 4180 de 2011, específica para geração de energia eólica. Ambas tratam da documentação necessária para obtenção das licenças ambientais, mas de maneira semelhante às Resoluções do CONAMA, o fazem no sentido apenas burocrático, sem especificar normas técnicas gerais a serem seguidas. Já a Resolução nº 4327 de 2013, revisada posteriormente pela Resolução nº 4.579/2018, define os limites de atuação dos municípios em relação a empreendimentos de impacto local.

3.3.3 Principais Normas no Âmbito Municipal

Assim como os Estados, os Municípios estão proibidos por força constitucional de legislar diretamente sobre o tema de energia. Por isso, a atuação desses entes federativos se dá na formulação de leis e normas que façam com que o aproveitamento de recursos energéticos se dê de forma racional em seus respectivos territórios. Dessa maneira trazemos aqui as principais normas aplicáveis ao setor de energia nos municípios analisados neste artigo.

No município de Sento Sé, o Código do Meio Ambiente do Município, instituído pela Lei 288/2015 é bastante amplo e alcança vários temas sensíveis à defesa do meio ambiente e à promoção do desenvolvimento sustentável. Apesar de não tratar explicitamente sobre energia, o Código evidencia em seus dispositivos normas aplicáveis ao licenciamento, fiscalização e auditoria ambiental, bem como os processos disciplinares e penalidades aplicáveis. Além disso, o Código reformulou o Sistema Municipal de Meio Ambiente, o Conselho Municipal de Meio Ambiente e o Fundo Municipal de Meio Ambiente, visando integração com as normas federais e estaduais para propiciar o desenvolvimento sustentável do município.

No campo específico da energia, vale citar dois diplomas normativos do município de Sento Sé: as Leis nº 244 de 2011 e nº 297 de 2016. A primeira acrescenta ao Código Tributário Municipal, uma alíquota de 3% no Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISS) sobre execução de obras referentes à construção de serviços referentes à energia eólica (SENTO SÉ, 2011). Em comparação, até a promulgação da lei 244/2011 alíquota de ISS aplicável era de 5%. Já a Lei 297/2016 autorizou o executivo municipal a celebrar convênio com o município de Umburanas, também na Bahia, para entendimento referente à cobrança de impostos de parque eólico instalado no limite entre os dois territórios.

Em relação ao município de Pindaí, não foram encontrados diplomas normativos específicos sobre energia. Vale citar que a Política Municipal de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 411 de 2017, reforça o papel do Município na promoção do desenvolvimento sustentável ao prever os instrumentos necessários para as ações ambientais do governo municipal.

Em Campo Formoso, a Lei Orgânica Municipal de 1990 já demonstrava preocupação com o aproveitamento sustentável da energia no território do município. Isso é evidenciado no artigo 97, inciso V que prevê o uso de resíduos urbanos para geração de energia e, no artigo 109 que determina que o Poder Público Municipal deve estimular a substituição de combustíveis poluentes por combustíveis sustentáveis (CAMPO FORMOSO, 1990). Mais recentemente, a Lei nº 36 de 2017 instituiu o Imposto Predial e Territorial Urbano Verde (IPTUverde), que concede redução no imposto a imóveis residenciais que adotem medidas de preservação,

proteção e recuperação do meio ambiente. Dentre essas medidas, foram incluídas aquelas que utilizam energias renováveis (CAMPO FORMOSO, 2017).

O ambiente normativo de Morro do Chapéu é semelhante ao de Sento Sé. A Lei Orgânica do Município, reformada em 2002, destaca o papel do município na defesa do meio ambiente e no uso sustentável dos recursos energéticos. De maneira específica, a Lei nº 1.185 de 2018 reduz em até 40% a alíquota do ISS para implantação e ampliação de empreendimentos voltados para energias renováveis.

Já em Caetité, destaca-se o Código Municipal de Meio Ambiente instituído pela Lei nº 809 de 2016. Neste código, reafirma-se o dever do Poder Público na defesa do meio ambiente e promoção do desenvolvimento sustentável. Além desse normativo, tem-se a Lei nº 812 de 2016 que reduziu em 30% o valor devido de ISS para pessoas jurídicas que atuam na área de energia solar (CAETITÉ, 2016). Vale citar também a Resolução nº 01 de 2021 da Câmara de Vereadores Municipal, que criou comissão permanente de acompanhamento dos trabalhos das empresas de energias eólica, solar e de urânio no município.

3.4 DISCUSSÃO

A Carta Magna de 1988 elevou o direito a um ambiente sustentável à categoria de direito constitucional em seu artigo 225. De acordo com Krell e Souza (2020) ao incluir a defesa do meio ambiente como um dos princípios constitucionais da ordem econômica, o legislador constituinte intencionava o estabelecimento de um modelo econômico sustentável. Segundo Azevedo Neto (2019), o status de direito constitucional do meio ambiente, coloca o Brasil como um Estado Democrático Ambiental.

Até a crise energética ocorrida em 2001, os diplomas normativos brasileiros eram genéricos ao tratar de energias renováveis e não estabeleceram prazos, ou metas objetivas para difusão do uso de tais fontes no país. Ainda assim, merecem destaque a criação do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM) em 1994 e a criação da Política Energética Nacional em 1997. Uma medida concreta neste período, foi o estabelecimento de obrigatoriedade para empresas concessionárias e permissionárias de energia, de investimentos em

eficiência energética, pesquisa e desenvolvimento tecnológico beneficiando fontes renováveis, no ano 2000.

A criação da ANEEL em 1996 e do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) em 1997, representaram grande avanço no ambiente normativo. O CNPE é de grande importância, pois é este Conselho que tem como função “estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso do gás natural, do carvão, da energia termonuclear, da energia solar, da energia eólica e da energia proveniente de outras fontes alternativas” (BRASIL, 1997). Já a Agência reguladora tem como principal competência “a regulamentação das políticas e diretrizes do governo federal para uso e exploração dos serviços de energia elétrica pelos agentes do setor, pelos produtores independentes e pelos autoprodutores”. (REIS et al., 2021, p. 65023).

Uma importante inovação foi o Decreto nº 2003 de 1996, que cria a figura do produtor independente e do autoprodutor de energia elétrica. No texto do Decreto são estabelecidos critérios para concessão e/ou autorização da exploração dos potenciais energéticos, da licitação e contratação dos serviços, do acesso aos sistemas de tratamento e distribuição, encargos financeiros dentre outros. Entretanto, a norma citada peca por tratar em seu texto somente das energias hidrelétrica e termelétrica (BRASIL, 1996 a).

Após a crise energética do início do século XXI, houve a percepção por parte do governo federal, da necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira. Dessa maneira, observa-se que os diplomas relativos à energia passaram a tratar de maneira mais objetiva do tema, envolvendo a ampliação e disseminação das energias renováveis na matriz nacional, como uma meta a ser perseguida.

O PROINFA, instituído em 2002, foi a primeira iniciativa a trazer metas objetivas no crescimento da oferta de energias renováveis no Brasil. A primeira etapa do Programa tinha como alvo a contratação de 3.300 MW no Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio de fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100 MW por cada fonte, até 2008 (BRASIL, 2002; BRASIL, 2004).

Em 2007 o REIDI estabeleceu um regime especial para uso de créditos da Contribuição do PIS/PASEP e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade

Social (COFINS) para o setor de infraestrutura e incluiu empreendimentos energéticos com base em fonte solar, eólica, biomassa e PCHs (BRASIL, 2007). O REIDI mostra que os agentes políticos brasileiros passaram a compreender que ações fiscais poderiam funcionar como catalisadoras da expansão da oferta das energias renováveis.

Em 2009 foi promulgada a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Tal lei ainda carece de regulamentação da maioria dos seus dispositivos, o que denota a morosidade do Estado na matéria, mas prevê que as ações governamentais em qualquer nível devem ser tomadas no sentido de promover uma economia de baixo consumo de carbono através da mitigação e da adaptação das mudanças climáticas. Dentre os setores elencados, ressalta-se a geração, a transmissão e a distribuição de energia elétrica.

A Resolução nº 482 de 2012 da ANEEL, depois revisada e ampliada pela Resolução nº 687 de 2015, pode ser considerada como um marco no incentivo à participação da sociedade na produção de energia limpa, ao permitir que o consumidor comum possa acessar o sistema de distribuição. O sistema de compensação de energia, no qual a fatura de energia elétrica é sensivelmente diminuída é sem dúvida o principal fator do sucesso do sistema de micro e minigeração distribuída.

Entretanto, a lei n. 14300/2022 ao estabelecer o marco legal da geração distribuída (GD), trouxe em seus dispositivos imposições que tornam o ambiente da GD incerto. Ao instituir a cobrança da taxa de distribuição, a lei permite o ressarcimento às distribuidoras de energia pela manutenção e operação das linhas de distribuição. Contudo, as mudanças tarifárias propostas podem desacelerar a inserção de novos geradores no ambiente da GD. É necessário observar como irá se comportar o mercado, a partir da entrada em vigor da lei, o que ocorreu em janeiro de 2023.

Percebemos assim que o ambiente normativo no âmbito federal tem abordagens distintas antes e após a crise energética de 2001. Se anteriormente os diplomas legais em sua maioria eram genéricos em demasia, após a crise os programas instituídos passaram a trazer metas a serem alcançadas, bem como incentivos e benefícios fiscais para o investidor do setor energético. Contudo, notamos

também que a maioria das iniciativas constituem em programas de governo e não em políticas de Estado, e desta maneira, ficam suscetíveis às inclinações político-ideológicas do governo de ocasião.

Ao analisar a legislação baiana e dos municípios citados no estudo, fica evidente que a ação dos governos a nível estadual e municipal, têm se concentrado na concessão de benefícios fiscais para geração e uso de energia por fonte renovável. Como não lhes é permitido legislar diretamente sobre energia, estes entes da Federação, atuam de forma marginal, especialmente na regulamentação do licenciamento ambiental e na concessão de incentivos fiscais como redução de ICMS, ISS e IPTU, conforme o caso, para promoverem a atração de investimentos e o fomento ao uso de fontes de energia renováveis.

Em relação ao licenciamento ambiental faltam normas técnicas objetivas a serem seguidas, como a fixação de limites máximos de declividade do terreno para cada fonte, ou os tipos de solo permitidos para implantação de parques eólicos, por exemplo. De maneira geral, as normas apenas trazem diretrizes de caráter burocrático, deixando a análise técnica para o caso concreto, através da avaliação do impacto de cada projeto a ser licenciado.

Um exemplo da subjetividade das definições normativas nacionais é a Res. 462 de 2014 do CONAMA, que em seu artigo 3º determina que cabe ao órgão licenciador o enquadramento do empreendimento quanto ao impacto ambiental, limitando-se a explanar uma lista não exaustiva de empreendimentos que não podem ser considerados de baixo impacto. Contudo, não há definição sobre os graus de impacto ambiental o que fica a cargo de cada licenciador.

O recente Decreto 10.946 de 2022 que trata do aproveitamento da energia eólica *offshore*, é vago ao trazer instruções técnicas para o uso de tal potencial. Como exemplo, o Decreto não deixa claro limites de distância da costa, ou de santuários animais.

O Código Florestal estabelece em seu texto as Áreas de Preservação Permanente (APP). A priori, tais áreas ficariam isentas de intervenção humana, visando a proteção dos recursos ambientais. Entretanto, a mesma Lei que estabelece

o Código permite que, havendo declarada utilidade pública do empreendimento, este pode ser instalado em APP, desde que o agente empreendedor apresente plano de mitigação de impactos, aprovado pelo órgão licenciador.

Quando se trata de outros impactos, além dos ambientais como sobre as terras dos povos tradicionais, patrimônio cultural e histórico e potenciais danos à saúde pública, também se observa a falta de normatização de critérios técnicos de avaliação.

A Portaria Interministerial 60/2015 traz em seu Anexo I, limites de distância que devem ser observados na elaboração dos estudos de impactos ambientais. Tais limites não são restritivos, mas orientativos. Em outras palavras, as distâncias ali descritas não impedem que sejam implantados empreendimentos nas localidades (terras indígenas, por exemplo), apenas exige-se a caracterização dos impactos previstos. Outra lacuna neste dispositivo é que o mesmo Anexo I peca por trazer como empreendimentos de geração elétrica, somente as termelétricas e hidrelétricas, sendo omissos em relação a outras formas de geração.

Percebe-se que por falta de normas técnicas orientadoras gerais, a decisão sobre o grau de impacto, a efetividade de medidas mitigadoras propostas pelo empreendedor e, portanto, da outorga da licença ambiental na maioria dos casos, fica a cargo de órgãos locais. Se por um lado, pode-se considerar que quanto mais próximo do local do empreendimento, maior o conhecimento dos licenciadores para o processo avaliativo, por outro, tais órgãos ficam mais suscetíveis a pressões externas, não raramente levando a decisões de cunho mais político do que técnico. Quando há um choque entre desenvolvimento econômico e a defesa do meio ambiente, não raro os governos têm optado pelo primeiro (MYSZCZUK e SILVA, 2019)

Outro ponto observado nas normas de licenciamento ambiental é a falta de padronização entre os entes federativos brasileiros. Como o legislador permite certa liberdade normativa a Estados e Municípios, os critérios podem ser divergentes para situações semelhantes.

As próprias normas baianas do CEPRAM seguem o modelo de generalidade das normas nacionais do CONAMA. O máximo que as normas fazem é fixar o potencial poluidor de acordo com a abrangência do empreendimento, determinar a

competência de fiscalização e a relação de documentos a serem apresentados para obtenção das licenças.

A falta de objetividade e padronização das normas de licenciamento em empreendimentos energéticos pode ser considerada uma barreira tanto para o investidor, quanto para a proteção ambiental. Essa constatação também é vista em uma Nota Técnica Conjunta da Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S/A) e EPE (Empresa de Pesquisa Energética) sobre a legislação aplicada ao licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia solar, mas que pode ser ampliado para as outras fontes de energia alternativas (ELETROBRÁS/EPE, 2021). Contudo, a participação de Estados e Municípios na padronização dessas normas não pode ser descartada, uma vez que de acordo com Costa et al. (2021), sem eles as questões locais tendem a ser desconsideradas e muitas vezes, as soluções encontradas não são as mais benéficas.

Reis et al. (2021) apontam como benefícios para a população, dentre outros, a geração de empregos no setor elétrico com a diversificação da matriz. Outro benefício apontado pelos autores se dá com o Sistema de Compensação da Geração Distribuída, na qual o consumidor passou a receber créditos pela energia gerada e inserida na rede elétrica. Krell e Souza (2020) afirmam que o aumento do uso de fontes limpas de energia depende da eficiência dos instrumentos normativos das políticas públicas do setor. Mas, muitas vezes, a legislação brasileira abre brechas para que essa eficiência não seja alcançada. Um exemplo disso, conforme Tronco (2017) é que o PROINFA incluiu em seu texto fontes não renováveis de energia.

Outra questão de relevância, é a postura do Estado frente às questões de sustentabilidade, incluindo o fomento às energias limpas. Neste sentido, para alcançar metas de desenvolvimento sustentável é preciso desenvolver o conceito de cidadania ambiental (BEZER et al., 2021). Contudo, Krell e Souza (2020) apontam que muitas vezes os atores que estão no poder, impõem sua visão em relação à sustentabilidade sobre a sociedade, interferindo nas ações de movimentos sociais, organizações não governamentais e nas diretrizes políticas.

3.5 CONCLUSÃO

A Constituição Federal de 1988 elevou os municípios brasileiros à categoria de unidades da federação, ao lado da União, dos Estados e do Distrito Federal. Por um lado, este fato levou a uma melhor distribuição de competências ao definir limites de alcance da atuação dos entes federativos, especialmente dos municípios. Por outro, aumentou o nível de complexidade do arcabouço legal brasileiro, o que inclui temas ambientais, dentre eles a energia.

Fica claro que tanto no texto da Constituição Federal, como nas demais normas, o princípio do desenvolvimento sustentável deve ser perseguido em todos os níveis de governo e deve balizar as ações e decisões políticas. Sob essa ótica, notamos que, a participação da União na formulação de políticas públicas, em especial as de fomento e regulamentação do setor energético e, as de caráter fiscal e tributário em todos os entes federativos, criou um ambiente promissor para o desenvolvimento da geração elétrica por fontes renováveis no Brasil.

Entretanto, observa-se que a diversificação da matriz elétrica brasileira não ocorre de maneira tão rápida quanto deveria. O principal entrave para isso é a participação diminuta de Estados e Municípios na formulação de políticas públicas para o setor. Enquanto a União atua para estabelecer as normas gerais e os planos de desenvolvimento, os limites constitucionais fazem com que os outros entes federativos atuem de maneira periférica, sobretudo na execução dos planos, especialmente na área fiscal. Faz-se necessário então, abrir mais espaço para que os poderes locais participem mais ativamente tanto da elaboração, quanto da execução das políticas energéticas brasileiras.

Outro ponto crítico que precisa ser tratado é a falta de uniformidade e objetividade nas normas de licenciamento. A União como “reguladora geral”, deve exercer o papel de fixar os critérios técnicos gerais de licenciamento, deixando a cargo dos órgãos licenciadores a análise do caso concreto, sem a possibilidade de flexibilização dos limites técnicos, uma vez estabelecidos. Tal ação, se implementada, viabilizaria certa uniformidade no ambiente normativo e deve ter como princípio norteador a promoção da proteção ambiental aliada ao desenvolvimento sustentável.

Percebemos também, que boa parte das políticas criadas para incentivar a adoção das fontes renováveis de energia se caracterizam como programas de governo, ou seja, ficam suscetíveis à visão político-ideológica dos governos que se sucedem, correndo o risco de serem interrompidas e terem sua eficácia diminuída. Dessa maneira, é evidente a necessidade dos entes políticos tornarem as políticas de incentivo às energias limpas em políticas de Estado.

A adoção de um pacto federativo em torno do desenvolvimento sustentável, no qual o papel de cada ente na formulação e expansão das políticas energéticas nacionais seja definido é um caminho para que a ação estatal seja dirigida de maneira estruturada e se torne cada vez mais eficiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETO, Jorge M. C. de. Energia eólica e solar: fontes alternativas de geração ou indispensáveis ao desenvolvimento sustentável? **Complexitas** – Ver. Fil. Tem. Belém, v. 4, n. 2, p. 48-68, jul./dez. 2019

BEZER, Ana K. L.; NETO REIS, Afonso F.; ANDRADE, Maristela O. de. Cidadania ambiental e participação popular: efetividade da legislação ambiental em um parque de energia solar no Piauí. **Direito da Cidade**. Vol. 13, n. 1, pp. 207-203, 2021.

BAHIA. Constituição Estadual (1989). **Constituição do Estado da Bahia**: atualizada até a Emenda Constitucional nº 26, de 31 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/70433>. Acesso em: 09 out. 2021.

_____. **Lei nº 10.431**, de 20 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia e dá outras providências. Disponível em: <http://www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/lei-no-10431-de-20-de-dezembro-de-2006>. Acesso em: 09 out. 2021.

_____. **Lei nº 11.612**, de 08 de outubro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e

dá outras providências. Disponível em: www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/lei-no-11612-de-08-de-outubro-de-2009. Acesso em: 09 out. 2021.

____. **Lei nº 13.914**, de 29 de janeiro de 2018. Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar no Estado da Bahia e dá outras providências. Disponível em: www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/lei-no-13914-de-29-de-janeiro-de-2018. Acesso em: 09 out. 2021.

____. **Decreto nº 14.024**, de 06 de junho de 2012. Aprova o regulamento da lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009 que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/decreto-no-14024-de-06-de-junho-de-2012. Acesso em: 09 out. de 2021.

____. **Decreto nº 15.682**, de 19 de novembro de 2014. Altera o regulamento da lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006 e da lei nº 11.612 de 08 de outubro de 2009, aprovado pelo decreto nº 14.024 de 06 de junho de 2012. Disponível em: www.legislabahia.ba.gov.br/documentos/decreto-no-15682-de-19-de-novembro-de-2014. Acesso em: 09 out. 2021.

____. Conselho Estadual de Meio Ambiente – CEPRAM. **Resolução nº 4145**, de 26 de novembro de 2010. Aprova a Norma Técnica NT 03/2010, que dispõe sobre a Análise Ambiental Integrada no âmbito do licenciamento de Aproveitamentos Hidrelétricos no Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/resolucoes/resolu-o-cepram-n-4145>. Acesso em: 09 out. 2021.

____. _____. **Resolução nº 4.180**, de 29 de abril de 2011. Aprova Nota Técnica 01/2011 e seus anexos, que dispõe sobre o Processo de Licenciamento Ambiental de Empreendimentos de Geração de Energia Elétrica a partir de fonte eólica no Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/resolucoes/resolu-o-cepram-n-4180>. Acesso em 09 out. 2021.

____. _____. **Resolução nº 4.327**, de 31 de outubro de 2013. Dispõe sobre as atividades de impacto local de competência dos Municípios, fixa normas gerais de cooperação federativa nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente e ao combate da poluição em qualquer das suas formas, conforme previsto na Lei Complementar nº 140/2011, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado da Bahia, Salvador, BA, 03/12/2013.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, compilado até a Emenda Constitucional nº 105/2019. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2020. 397 p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/566968/CF88_EC105_livro.pdf. Acesso em: 06 out. 2021.

____. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em 08 out. 2021.

____. **Lei nº 9.427**, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, disciplina o regime de concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427compilada.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 9.478**, de 06 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9478.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 9991**, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá

outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9991.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 10.438**, de 26 de abril de 2020. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), a Conda de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996, nº 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10438.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 11.488**, de 15 de junho de 2007. Cria o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura – REIDI; reduz para 24 (vinte e quatro) meses o prazo mínimo para utilização dos créditos da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS decorrentes da aquisição de edificações; amplia o prazo para pagamento de impostos e contribuições; altera a Medida Provisória nº 2.158-35, de 24 de agosto de 2001, e as Leis nºs 9.779, de 19 de janeiro de 1999, 8.212, de 24 de julho de 1991, 10.666, de 8 de maio de 2003, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 4.502, de 30 de novembro de 1964, 9.430, de 27 de dezembro de 1996, 10.426, de 24 de abril de 2002, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 10.892, de 13 de julho de 2004, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 10.865, de 30 de abril de 2004, 10.925, de 23 de julho de 2004, 11.196, de 21 de novembro de 2005; revoga dispositivos das Leis nos 4.502, de 30 de novembro de 1964, 9.430, de 27 de dezembro de 1996, e do DecretoLei no 1.593, de 21 de dezembro de 1977; e dá outras providências. Disponível em:

www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm. Acesso em 05 out. 2021.

____. **Lei nº 12.187**, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei Complementar nº 140**, de 08 de dezembro de 2011. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do caput e do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora; e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

____. **Lei nº 13.169**, de 06 de outubro de 2015. Altera a Lei nº 7.689, de 15 de dezembro de 1988, para elevar a alíquota da Contribuição Social sobre o Lucro Líquido - CSLL em relação às pessoas jurídicas de seguros privados e de capitalização, e às referidas nos incisos I a VII, IX e X do § 1º do art. 1º da Lei Complementar nº 105, de 10 de janeiro de 2001; altera as Leis nºs 9.808, de 20 de julho de 1999, 8.402, de 8 de janeiro de 1992, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 11.033, de 21 de dezembro de 2004, 12.715, de 17 de setembro de 2012, 9.249, de 26 de dezembro de 1995, 11.484, de 31 de maio de 2007, 12.973, de 13 de maio de 2014, 10.150, de 21 de dezembro de 2000, e

10.865, de 30 de abril de 2004; e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13169.htm. Acesso em: 08 out. 2021.

_____. **Lei nº 14.300**, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), altera as Leis nº 10.848, de 15 de março de 2004 e, 9.427, de 26 de dezembro de 1996 e, dá outras providências. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em : 22 dez. 2022.

_____. **Decreto**, de 27 de dezembro de 1994. Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios – PRODEEM, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/anterior_a_2000/1994/dnn2793.htm. Acesso em: 09 out. 2021.

_____. **Decreto nº 2003**, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2003.htm. Acesso em: 05 out. de 2021.

_____. **Decreto nº 3520**, de 21 de junho de 2000. Dispõe sobre a estrutura e funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE e dá outras providências. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3520.htm. Acesso em 05 out. 2021.

_____. **Decreto nº 5.025**, de 30 de março de 2004. Regulamenta o inciso I e os §§ 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do art. 3º da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5025.htm. Acesso em: 05 out. 2021.

_____. **Decreto nº 9.578**, de 22 de novembro de 2018. Consolida atos normativos editados pelo Poder Executivo federal que dispõem sobre o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.114, de 9 de dezembro de 2009, e a

Política Nacional sobre Mudança do Clima, de que trata a Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-018/2018/Decreto/D9578.htm#art25. Acesso em: 05 out. 2021.

_____. **Decreto nº 10.946**, de 25 de janeiro de 2022. Dispõe sobre a cessão dos espaços físicos e o aproveitamento dos recursos naturais em águas interiores de domínio da União, no mar territorial, na zona econômica exclusiva e na plataforma continental para geração de energia elétrica a partir de empreendimento offshore. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.946-de-25-de-janeiro-de-022-376016988>. Acesso em: 11 fev. 2022.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria Interministerial nº 60**, de 24 de março de 2015. Estabelece procedimentos administrativos que disciplinam a atuação dos órgãos e entidades da administração pública federal em processos de licenciamento ambiental de competência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=71&data=25/03/2015>. Acesso em 02 mar. 2022.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 05 out. de 2021.

_____. _____. **Resolução Normativa nº 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em 05 out. 2021.

_____. _____. **Resolução Normativa nº 876**, de 10 de março de 2020. Estabelece os requisitos e procedimentos necessários à obtenção de outorga de autorização para exploração e à alteração da capacidade instalada de centrais geradoras Eólicas, Fotovoltaicas, Termelétricas, Híbridas e outras fontes alternativas, bem como para

centrais geradoras associadas que contemplem essas tecnologias de geração, e à comunicação de implantação de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020876.pdf>. Acesso em 02 mar. 2022.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 6**, de 16 de setembro de 1987. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0006-160987.PDF>. Acesso em: 06 out. 2021.

_____. _____. **Resolução CONAMA nº 279**, de 27 de junho de 2001. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=277. Acesso em: 06 out. 2021.

_____. _____. **Resolução CONAMA nº 462**, de 24 de julho de 2014. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração elétrica a partir de fonte eólica em superfície terrestre, altera o art. 1º da Resolução CONAMA nº 279 de 27 de julho de 2001 e dá outras providências. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=677. Acesso em 06 out. 2021.

_____. Ministério da Fazenda. Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ. **Convênio ICMS 101/97**. Concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica que específica. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/1997/CV101_97. Acesso em: 09 out. 2021.

_____. _____. _____. **Convênio ICMS 16**, de 22 de abril de 2015. Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica sujeitas a faturamento sob o Sistema de Compensação de Energia Elétrica de que trata a Resolução Normativa nº 482 de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em:

https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15. Acesso em 09 out. 2021.

_____. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2030**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em 24 maio 2022.

CAETITÉ. **Lei nº 809**, de 19 de setembro de 2016. Institui o Código do Meio Ambiente do Município de Caetité, cria o Fundo Municipal de Preservação do Meio Ambiente e dá outras providências. Disponível em: https://sapl.caetite.ba.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2016/759/lei_no._809.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

_____. **Lei nº 812**, de 27 de outubro de 2016. Dispõe sobre redução fiscal, relativa ao imposto ISSQN e dá outras providências. Disponível em: https://sapl.caetite.ba.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2016/293/lei_n_812_de_27_de_outubro_de_2016.pdf. Acesso em 10 out. 2021.

_____. Câmara de Vereadores do Município de Caetité. **Resolução nº 01**, de 04 de março de 2021. Fica criada Comissão Permanente de Acompanhamento dos Trabalhos de Mineração, das empresas de energias eólicas, energia solar e de urânio em nosso município. Disponível em: https://sapl.caetite.ba.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2021/770/resolucao_no._01-2021.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

CAMPO FORMOSO. **Lei nº 001/90**, Lei Orgânica do Município de Campo Formoso – BA. Disponível em: http://campoformoso.ba.gov.br/downloads/Lei%20Organica%20Campo%20Formoso_Lei%20001_90.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

_____. **Lei nº 036**, de 31 de outubro de 2017. Dispõe sobre incentivo denominado “IPTU Verde”, no âmbito do Município de Campo Formoso e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Campo Formoso – BA, 07/11/2017.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. – ELETROBRÁS; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica Conjunta Eletrobrás/EPE: levantamento da legislação para licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar.** Maio de 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Paginas/Nota-Tecnica-Levantamento-da-legislacao-para-licenciamento-ambiental-de-empreendimentos-de-geracao-de-energia-eletrica-por-.aspx>. Acesso em: 16 fev. 2022.

COSTA, Bruno B. F. da; MALAGUETA, Diego C.; MANHÃES, Alfredo L. P.; COSTA, Suellen C. B. da; THOMPSON, Samir J. G. S. Análise da expansão da energia solar fotovoltaica nas cidades da região das baixadas litorâneas e norte fluminense. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**. Rio de Janeiro, n. 20, ed. especial, 2021. p. 53-76.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2021: ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 26 mar. 2023.

KRELL, Andreas J.; SOUZA, Carolina B. de C. e. A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável. **Direito Econômico Socioambiental**. Curitiba, v.11, n. 2, p. 157-188, maio/ago., 2020.

MORRO DO CHAPÉU. Lei Orgânica Municipal (2002). **Lei Orgânica do Município de Morro do Chapéu**. Disponível em: <https://morrodochapeu.ba.gov.br/transparencia/index.php/transparencia/openFile/aHR0cHM6Ly9tZGhvdXNlM1IL3VwbG9hZHMvbW9ycm9fY2hhcGV1LzgwNWUyNjUyMWY0ZDQ3YTg1NWQ5YTYwMjQ0ZDZhNzUxLnBkZg==>. Acesso em: 10 out. 2021.

_____. **Lei nº 1.185**, de 23 de novembro de 2018. Institui incentivos fiscais para implantação e ampliação de empreendimentos voltados ao desenvolvimento da infraestrutura da indústria de energias renováveis, vinculados ao Programa Desenvolver Morro do Chapéu nos termos do artigo 237 da Lei nº 995 de 14 de

dezembro de 2012 – Código Tributário e de Rendas do Município de Morro do Chapéu/BA e dá outras providências. Disponível em: <https://www.morrodochapeu.ba.leg.br/leis/legislacao-municipal/leis-ano-2018/lei-1185>. Acesso em: 10 out. 2021.

MYSZCZUK, Ana P.; SILVA, Cristian L. Política pública para empreendimentos do setor elétrico: estudo comparativo entre a regulação brasileira e cubana sobre meio ambiente e uso dos recursos naturais. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 15, n. 2, ed. especial, p. 100-110, mar./2019.

PIETROSEMOLI, Licia; RODRÍGUEZ-MONROY, Carlos. The venezuelan energy crisis: renewable energies in the transition towards sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 105, p. 415-426, 2019.

PINDAÍ, **Lei nº 411**, de 22 de dezembro de 2017. Institui a Política Municipal de Meio Ambiente, seus princípios, objetivos e diretrizes, cria o Sistema Municipal de Meio Ambiente – SISMUMA, estabelece os instrumentos para gestão municipal e dá outras providências. Diário Oficial do Município, Pindaí – BA, 22/12/2017.

REIS, Alan K. C. dos; FIGUEIRA, A. A.; SILVA, Maria R. A.; REIS, Olavo A. de O. Energia fotovoltaica: historicidade e legislação pertinente. **Brazilian Journal of Development**. Curitiba, V. 7. N. 6, p. 65012-65032, jun. 2021.

RUEDA-BAYONA, Juan G.; GUZMÁN, Andres; ERAS, Juan J. C.; SILVA-CASARÍN, Rodolfo; BASTIDAS-ARTEAGA, Emilio; HORRILLO-CARABALLO, José. Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology. **Journal of Cleaner Production**. V. 220, p. 529-543, 2019.

SEETHARAMAN, Krishna M.; PATWA, Nitin; SARAVANAN, Yash G. Breaking barriers in deployment of renewable energy. **Heliyon**. v. 5, 23 p., 2019.

SENTO SÉ, **Lei nº 244**, de 22 de novembro de 2011. Acrescenta subitem 7.02.01 aos anexos I e II da Lei Municipal nº 98/2003, Código Tributário e de Rendas, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.sentose.ba.gov.br/leis-de-2011/>. Acesso em: 10/10/2021.

____. **Lei nº 288**, de 14 de outubro de 2015. Código do Meio Ambiente do Município de Sento Sé do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.sentose.ba.gov.br/leis-de-2015/>. Acesso em: 10 out. 2021.

____. **Lei nº 297**, de 14 de outubro de 2016. Autoriza o Poder Executivo a celebrar convênio com o município de Umburanas/BA para fins de lançamento, cobrança e recebimento do Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza – ISSQN incidente sobre as obras de construção dos Parques Geradores Eólicos, pertencentes às empresas CLWP Eólica Parque V LTDA., CLWP Eólica Parque VI LTDA., CLWP Eólica Parque XV LTDA. e CLWP Eólica Parque XXI LTDA., localizados nas divisas dos convenentes.

TRONCO, Renan Z. O princípio constitucional do desenvolvimento sustentável e as fontes renováveis de geração de energia elétrica. 2017. 128 f. Dissertação (Mestrado em Direito). Programa de Pós-Graduação em Direito, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2017.

CAPÍTULO 4 – MAPEAMENTO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM ESCALA LOCAL: ESTUDO DE CASO EM VITÓRIA DA CONQUISTA/BA

RESUMO

A diversificação da matriz elétrica tornou-se uma preocupação mundial. No Brasil, apesar de ter uma matriz essencialmente renovável, a forte dependência da geração hídrica, indica a necessidade de maior participação de outras fontes. A geração fotovoltaica se mostra como a mais promissora para os próximos anos. Mapear os potenciais de geração de energia em uma localidade, é a tarefa inicial para que um plano de diversificação da matriz seja elaborado. A implantação de empreendimentos geradores se dá em escala local, entretanto, existem poucos estudos de detecção de potencial de geração fotovoltaica nessa escala geográfica. Dessa maneira o presente artigo propõe um mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica em escala local, tendo como área de estudo o município de Vitória da Conquista, na Bahia. Para tanto empregamos como técnicas de análise multicritério de decisão a Análise Hierárquica Ponderada, análise booleana e modelagem Fuzzy. Geramos o mapa do potencial de geração de energia fotovoltaica do município classificado em 5 categorias: áreas restritas, baixo, potencial, alto e excelente. Os resultados mostraram que no cenário de referência obtido, as áreas correspondentes aos potenciais alto ou excelente somaram 571,65 km² ou 17,62% do território municipal. Considerando somente as áreas de potencial excelente, estimamos a produção anual de energia entre 15,9 GWh e 16,4 GWh. A partir do cenário de referência fizemos ainda uma análise de sensibilidade do modelo na qual foram gerados 4 cenários alternativos, com o objetivo de observar como cada tipo de critério afeta o mapeamento final. Essa análise revelou que as características do relevo do município são preponderantes para a formação da classe excelente. Os resultados obtidos apontam para um panorama promissor para geração solar fotovoltaica em Vitória da Conquista, além disso o modelo proposto pode ser replicado em outros municípios e para outras fontes de energia.

Palavras-chave: energias renováveis; modelamento; energia solar; análise multicritério; análise hierárquica ponderada.

ABSTRACT

The diversification of the electric matrix has become a worldwide concern. In Brazil, despite having an essentially renewable matrix, the strong dependence on hydroelectric generation indicates the need for greater participation of other sources. The photovoltaic generation shows itself as the most promising for the next years. To map the potentials of energy generation in a locality is the initial task for a plan of

diversification of the matrix to be elaborated. The implementation of generating enterprises occurs on a local scale, however, there are few studies of the detection of potential photovoltaic generation on this geographical scale. In this way the present article proposes a mapping of the potential of photovoltaic energy generation on the local scale, having as the area of study the city of Vitória da Conquista, in Bahia. To this end, we employ techniques of multicriteria decision analysis the Analytic Hierarchy Process, Boolean analysis, and Fuzzy modeling. We generated the map of the potential of photovoltaic energy generation of the municipality classified into 5 categories: restricted areas, low, potential, high, and excellent. The results showed that in the obtained reference scenario, the areas corresponding to the high or excellent potential added 571.65 km² or 17.62% of the municipal territory. Considering only the areas with excellent potential, we estimated the annual energy production between 15.9 GWh and 16.4 GWh. From the reference scenario, we also performed a sensitivity analysis of the model in which 4 alternative scenarios were generated, to observe how each type of criterion affects the final mapping. This analysis revealed that the municipality's relief characteristics are preponderant for the formation of the excellent class. The results obtained point to a promising outlook for solar photovoltaic generation in Vitória da Conquista, and the proposed model can be replicated in other municipalities and for other energy sources.

Key words: renewable energies; modeling; solar energy; multicriteria analysis; analytic hierarchy process.

4.1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica constituiu-se como insumo importante para a sociedade na forma como a conhecemos. Basicamente todos os processos industriais e todo desenvolvimento tecnológico dependem desse recurso e, durante algum tempo, os combustíveis fósseis constituíram a principal fonte para geração de energia na maior parte dos países.

A partir da década de 1980, em resposta às crises do petróleo ocorridas na década anterior, muitos países, inclusive da América Latina, reformularam suas respectivas políticas energéticas, para incluir as fontes renováveis na matriz elétrica (PIETROSEMOLI e RODRÍGUEZ-MONROY, 2019). Este foi o caso do Brasil, que escolheu como principal fonte a geração hidráulica. Tal fato, fez com que a matriz brasileira se tornasse uma das mais sustentáveis do mundo tendo aproximadamente

84% da geração de eletricidade no ano de 2020, obtida por meio de fontes renováveis (EPE, 2021).

Contudo, a escolha pela fonte hídrica, fez com que a matriz elétrica nacional se tornasse fortemente dependente do regime das chuvas, o que leva nos períodos de seca a uma redução na produção de energia das hidrelétricas e um aumento na participação das fontes complementares, em especial as térmicas movidas a combustíveis fósseis. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 (EPE, 2021) entre os anos de 2019 e 2020, houve um aumento na participação dos derivados de petróleo na geração elétrica brasileira, o que coincidiu com um período de seca severa pelo qual o país passou.

Aliada a necessidade de superar a dependência das hidrelétricas, podemos citar alguns problemas socioambientais associados a esse tipo de geração, como emissão de gases de efeito estufa, caso a produção seja inferior a 100 W/m² de área alagada (SPERLING, 2012), diminuição da variedade dos peixes locais (O'HANLEY et al., 2020), aumento da sedimentação causando fragmentação do leito do rio (GRILL et al., 2019), dentre outros.

Surge então, a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira com o incremento da participação de fontes renováveis. Dentre elas, a que mais cresce no mundo é a solar fotovoltaica (DAHOOIE et al., 2022). De acordo com Agyekum et al. (2018), a diminuição dos custos de produção dos painéis solares, bem como a evolução tecnológica que permitiu o aumento da eficiência da geração são os principais responsáveis pela popularização desta tecnologia ao redor do mundo. No Brasil espera-se que até o final de 2030 haja um crescimento de 187% na participação da fonte solar na matriz elétrica nacional (BRASIL, 2021).

O investimento em uma fonte de energia requer o prévio conhecimento do potencial do local de interesse. No Brasil, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017) mapeou a distribuição de radiação solar em todo território nacional, indicando regiões com maior potencial de geração. Entretanto, Fang et al. (2018) afirmam que escolher um local para implantação de uma usina fotovoltaica é uma tarefa complexa, pois tem que ser satisfeitas as adequações geográficas, socioambientais e ter um bom nível de radiação simultaneamente.

Em outras palavras, o mapeamento do potencial de geração de energia fotovoltaica em uma região é uma tarefa que envolve variáveis de diferentes naturezas. Assim, essa tarefa deve ser executada através de técnicas de análise multicritério de decisão (AMD). Aliado às técnicas AMD, faz-se necessário o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por se tratar de um problema de análise territorial.

Outro ponto a se destacar é a necessidade de adequação de escala. No estudo de Pereira et al. (2017), além de priorizarem uma variável, a escala em nível nacional impede que questões locais como elevação, declividade, uso e cobertura da terra e hidrografia sejam tratadas detalhadamente. Identifica-se aqui, a necessidade de regionalizar os estudos para que estas variáveis sejam avaliadas em suas especificidades na tarefa do mapeamento do potencial energético.

A instalação de uma usina fotovoltaica se dá a nível local, portanto, é importante que haja estudos para mapear áreas de um município onde é atrativa a instalação de empreendimentos geradores. Dessa maneira, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um protocolo de mapeamento do potencial de geração de energia por meio de usinas solares fotovoltaicas (USF) de grande porte, em escala municipal e testar o modelo no município de Vitória da Conquista, Bahia.

4.2 REVISÃO DE LITERATURA

A pesquisa bibliográfica foi feita nas bases indexadas da *Scopus* e da *Web of Science*. Selecionamos 54 artigos publicados em periódicos revisados por pares, publicados entre 2013 e 2022.

Destacamos que em relação à escala de estudo analisada 33% adotaram escala nacional, 50% escala regional e apenas 17% escala local. Vale ressaltar que dos trabalhos que adotaram escala nacional ou regional, 4 foram realizados em territórios de dimensões comparadas a muitos municípios brasileiros (com até de 5000 km² de área).

Quanto às técnicas de análise multicritério utilizadas, foram identificadas 7 técnicas principais, sendo a mais utilizada a AHP (Análise Ponderada Hierárquica, do inglês *Analytical Hierarchy Process*) presente em 72% das publicações. Também foram mencionadas como técnicas AMD: BWM (do inglês *Best-Worst Method*), ELECTRE (do inglês *Elimination and Choice Translating Reality*), modelagem Fuzzy, OWA (do inglês, *Ordered Weighted Averaging*) TOPSIS (do inglês, *Technique for Order of Preference by Similarity Solution*) e SWARA (do inglês, *Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis*). Foram observados ainda, trabalhos que agregaram duas ou mais técnicas, ou que os autores desenvolveram métodos próprios, partindo das técnicas conhecidas.

4.2.1 Padrão de Análise Observado

De maneira geral, o mapeamento de potenciais de geração de energia fotovoltaica segue cinco etapas: (i) definição da área de estudo, (ii) levantamento dos critérios de análise, (iii) processamento dos dados via SIG, (iv) aplicação da técnica de análise multicritério escolhida e (v) análise dos resultados. Em sua maioria, as pesquisas dividem os critérios de análise em critérios de restrição, cuja presença deles na área de interesse impede o aproveitamento do potencial energético e, critérios de ponderação, muitas vezes chamados de fatores, que maximizam ou minimizam o potencial local.

O Quadro 4.1 descreve uma síntese dos procedimentos de análise observados nesta revisão de literatura.

Quadro 4.1: Procedimentos de análise observados na literatura científica.

(continua)

Técnica Aplicada	Procedimento	Escala Geográfica	Referências
AHP	São levantados os fatores e os critérios de restrição, após isso é gerado um mapa de áreas restritas e a técnica AHP é aplicada usando os mapas de cada fator como entrada, gerando o mapa de áreas potenciais. O mapa final do potencial de geração é obtido a partir da sobreposição dos mapas de áreas restritas, com o mapa de áreas potenciais.	Nacional	Noorollahi et al. (2016), Al Garni e Awasthi (2017), Doljak e Stanojevic (2017), Doorga et al. (2019), Doorga et al. (2019 a), Rios e Duarte (2021), Elboshy et al. (2022) e Villacreses et al. (2022).

Quadro 4.1: Procedimentos de análise observados na literatura científica.

(continuação)

Técnica Aplicada	Procedimento	Escala Geográfica	Referências
AHP	São levantados os fatores e os critérios de restrição, após isso é gerado um mapa de áreas restritas e a técnica AHP é aplicada usando os mapas de cada fator como entrada, gerando o mapa de áreas potenciais. O mapa final do potencial de geração é obtido a partir da sobreposição dos mapas de áreas restritas, com o mapa de áreas potenciais.	Regional	Asakereh et al. (2017), Suuronen et al. (2017), Sarmiento et al. (2017), Merrouni et al. (2018), Shorabeh et al. (2019), Ghasemi et al. (2019), Mensour et al (2019), Colak et al. (2020), Rediske et al. (2020), Ouchani et al. (2020), Zambrano-Asanza et al. (2021), Sun et al (2021), Ibrahim et al. (2021), Adedeji et al. (2021), Noorollahi et al. (2022), Alhammad et al. (2022).
		Local	Georgiou e Skarlatos (2016), Suh e Browson (2016), Vitkovska et al. (2020), Vagiona (2021), Gunen (2021 a).
	Tanto os fatores, como os critérios restritivos são analisados juntamente na aplicação da técnica AHP. As restrições aparecem no mapa final formando uma das categorias do mapa classificado.	Nacional	Settou et al. (2020), Finn e McKenzie (2020)
		Regional	Xiao et al. (2013), Tercan et al. (2021) e Gunen (2021)
		Local	Settou et al. (2022)
	Utilizam o método AHP para ponderar os pesos de cada critério, e aplicam outras técnicas para ranquear localidades mais promissoras para a geração de energia fotovoltaica.	Nacional	Samanlioglu e Ayag (2017), Solangi et al. (2019)
		Regional	Thanh e Lan (2022)
A técnica de densidade de clusters é utilizada para agrupar áreas diferentes de acordo com os critérios escolhidos, após isso, aplica a técnica AHP para identificar os clusters mais promissores.	Nacional	Agyekum et al. (2021)	
TOPSIS	Quatro localidades distintas são escolhidas e é aplicada a técnica TOPSIS para classificar da mais promissora, para a menos promissora.	Nacional	Fang et al. (2018)
OWA	Utilizam OWA para ponderar os pesos dos critérios, e através da mudança dos pesos constrói cenários otimistas e pessimistas.	Nacional	Firozjaei et al. (2019)

Quadro 4.1: Procedimentos de análise observados na literatura científica.

(continuação)

Técnica Aplicada	Procedimento	Escala Geográfica	Referências
Modelagem Fuzzy	Através de modelagem fuzzy os pesos dos fatores são ponderados e, utilizando álgebra de mapas é obtido o mapa final de áreas potenciais.	Regional	Yousefi et al. (2018) e Türk et al. (2021)
BWM	O método BWM é usado para calcular o peso dos critérios e através das técnicas GRA e VIKOR as áreas potenciais são ranqueadas.	Regional	Kannan et al. (2021)
	O método Best-Worst, aplicado sobre os critérios de ponderação, após excluir as áreas restritas.	Local	Hashemizadeh et al. (2020)
SWARA	Os pesos dos critérios são calculados via SWARA e métodos diferentes são testados a fim de compará-los.	Local	Dahooie et al. (2022)
ELECTRE	Após gerar o mapa de restrições foi utilizada a técnica ELECTRE-TRI para ponderar e analisar os fatores.	Local	Sánchez-Lozano et al. (2014)
Combinações	Três métodos diferentes são aplicados: ISM para determinar as relações entre os critérios, FANP para calcular os pesos dos critérios e VIKOR para ranquear as localidades promissoras.	Nacional	Lee et al. (2017)
	É aplicada uma combinação dos métodos SWARA e DEMATEL, denominado SWATEL para comparar as interrelações entre os critérios e analisar os fatores.	Regional	Badi et al. (2021)
Métodos Próprios	Aplica um filtro na área de estudo para eliminar os piores locais, com base no menor número de critérios possível, após isso aplica técnicas MDCA diferentes, com vistas a obter um ranqueamento de áreas mais promissoras.	Nacional	Rogna (2020)

Quadro 4.1: Procedimentos de análise observados na literatura científica.**(conclusão)**

Técnica Aplicada	Procedimento	Escala Geográfica	Referências
Métodos Próprios	Atribuem pesos aos critérios e através da álgebra de mapas faz uma soma ponderada para determinar as áreas potenciais.	Nacional	Vrinceanu et al. (2022)
		Regional	Majumdar e Pasqualetti (2019)
	Os critérios que influenciam na geração de energia solar, são identificados e comparados com os dados de regiões onde já existem usinas fotovoltaicas em funcionamento para apontar a potencialidade da área de estudo.	Regional	Katkar et al. (2021)
	Foi testado um método em que estima a potencialidade do local escolhido com base na topografia do terreno, do sombreamento e da radiação solar.	Local	Jung et al (2019)

Fonte: autoria própria.

4.2.2 Análise Hierárquica Ponderada (AHP)

A Análise Hierárquica Ponderada (AHP) foi introduzida por Saaty (1977) e de acordo com Al Garni e Alwasthi (2017), Redisk et al. (2020) e Kannan et al. (2021), tem sido largamente empregada em modelagem de potenciais de geração de energias renováveis em conjunção com o uso dos SIG.

Além do mapeamento de potencial de energia fotovoltaica, observa-se a aplicação da AHP na modelagem de potenciais de outras fontes energéticas. Os trabalhos de Watson e Hudson (2015), Latinopoulos e Kechagia (2015), Delivand et al. (2015) e Mahdy e Bahaj (2018) são exemplos de aplicação da AHP, na detecção de potenciais de outras fontes renováveis.

A AHP se apresenta como uma ferramenta de estrutura multinível, construída de forma hierárquica, envolvendo critérios, subcritérios e parâmetros, sendo, portanto, indicada para tratar problemas complexos que envolvem variáveis diversas (SETTOU et al., 2022). Para Mensour et al. (2019), Ibrahim et al. (2020) e Vagiona (2021) o

método AHP é o mais indicado para mapear potenciais de geração de energia fotovoltaica.

O objetivo do método AHP é obter os pesos relativos dos critérios, através de uma comparação pareada. A técnica se baseia em 3 princípios: (i) detectar o problema e determinar uma hierarquia entre os critérios; (ii) criar uma matriz de comparação e (iii) calcular os pesos (COLAK et al, 2020; GUNEN, 2021 a). A comparação pareada é a fase mais sensível, pois é nela que o peso de cada critério será estabelecido, o que influenciará diretamente no resultado da análise (IBRAHIM et al, 2020).

As etapas metodológicas do AHP são descritas a seguir (SAATY, 1977; SAATY 1990; AL GARNI e AWASTHI, 2017):

- Etapa 1: Após identificar um número n de critérios, deve-se construir a matriz de comparação M de ordem $n \times n$, de acordo com a Tabela 4.1, na qual o critério C_i (linha) é comparado com o critério C_j (coluna), com i e j variando de 0 a n , em grau de importância para a solução buscada. Cada elemento m_{ij} da matriz, representa o quanto o critério ' i ' supera o critério ' j '. Essa comparação deve ser feita de acordo com a escala definida por Saaty (1977), apresentada na Tabela 4.2. O elemento m_{ji} deve ser o recíproco de m_{ij} , conforme a equação (1).

$$m_{ji} = \frac{1}{m_{ij}} \quad (1)$$

- Etapa 2: Normalizar a matriz de comparação M , onde cada elemento \bar{m}_{ij} da matriz normalizada é encontrado dividindo cada elemento pelo somatório da respectiva linha, de acordo com a equação (2). Os pesos w_i de cada critério, devem ser encontrados calculando a média da respectiva linha que representa cada critério, na matriz normalizada, conforme a equação (3).

$$\bar{m}_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_{ij}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{m}_{ij}}{n} \quad (3)$$

- Etapa 3: Para atestar a confiabilidade dos resultados, deve ser calculada a razão de consistência da matriz (CR) por meio das equações (4) e (5). Se CR for menor ou igual a 0,10 o resultado é considerado consistente.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5)$$

onde CI é o índice de consistência, RI é um índice randômico, dependente do número de critérios da análise, conforme Tabela 4.3 e λ_{max} é o autovalor máximo da matriz de comparação.

Tabela 4.1: Construção da matriz de comparação M dos critérios.

Critérios	C₁	C₂	C₃	...	C_n
C₁	1	m_{12}	m_{13}	...	m_{1n}
C₂	m_{21}	1	m_{23}		m_{2n}
C₃	m_{31}	m_{32}	1		m_{3n}
.
.
.
C_n	m_{n1}	m_{n2}	m_{n3}	...	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Tabela 4.2: Escala de comparação entre os critérios.

Grau de importância do critério i sobre o critério j	Descrição
1	Igual importância
3	Importância moderada
5	Importância essencial
7	Importância muito alta
9	Importância extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Tabela 4.3: Variação do índice randômico (RI) de acordo com o número de critérios.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.54

Fonte: Adaptado de Saaty (2008).

De acordo com a Tabela 4.3 nota-se que o valor de RI é diretamente proporcional à quantidade de critérios, de modo que, a partir de um determinado número, ele atinge a saturação, indicando que a importância dos critérios se iguala. Já o valor de λ_{max} é obtido fazendo a média dos valores do vetor resultante do produto

da matriz de comparação M pelo vetor normalizado de pesos \bar{w} , dividindo cada componente pelo correspondente \bar{w} , conforme a equação (6) (SAATY, 1977).

$$\lambda_{max} = \text{média do vetor } \left(\frac{M \cdot \bar{w}}{\bar{w}} \right) \quad (6)$$

Onde λ_{max} é o autovalor máximo da matriz de comparação, M é a matriz de comparação e $\bar{w} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n]$ é o vetor de pesos normalizado.

4.2.3 Análise Booleana e Modelagem Fuzzy

A análise booleana é um tipo de técnica na qual as variáveis assumem somente dois valores: 0 (ou totalmente falso) ou 1 (ou totalmente verdadeiro) (YOUSEFI et al., 2018, IBRAHIM et al., 2020). Em estudos de detecção do potencial de geração de energia, a análise booleana tem sido amplamente utilizada para tratar as áreas restritas, retirando-as da análise multicritério (SUH e BROWNSON, 2016; DOLIJK e STANOJEVIC, 2017).

Embora a álgebra booleana seja útil para tratar restrições, ela falha por não considerar diferentes graus de adequação, ou seja, os valores que as variáveis podem assumir entre 0 e 1 (NOOROLLAHI et al., 2022). Neste contexto, ganha espaço a modelagem Fuzzy.

A teoria do conjunto de funções Fuzzy foi proposta por Zadeh (1965) e, de acordo com Noorollahi et al. (2016), ela considera as incertezas e imprecisões associadas à análise do processo. Em outras palavras, as funções Fuzzy levam em conta os valores que as variáveis assumem entre 0 e 1. Assim, de acordo com Yousefi et al. (2018), a modelagem Fuzzy apresenta resultados mais próximos da realidade do que a álgebra booleana. O Quadro 4.2 traz as principais funções Fuzzy utilizadas em mapeamento de potenciais de geração de energia renovável.

Quadro 4.2: Principais funções Fuzzy utilizadas em mapeamento de potenciais de geração de energia renovável.

Função	Expressão Matemática	Gráfico
Linear ascendente	$u(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$	
Linear descendente	$u(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b}, & a < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$	
Triangular	$u(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b < x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$	
Trapezoidal	$u(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$	

Fonte: Yousefi et al. (2018), Noorollahi et al. (2022)

4.2.4 Levantamento dos Critérios e Parâmetros

Uma das tarefas mais importantes no mapeamento de potenciais de geração de energia numa região, é de determinar quais os critérios que serão levados em conta na análise (COLAK et al., 2020). No caso da energia fotovoltaica, além da radiação solar local, variáveis socioambientais, questões de relevo (como elevação e declividade) e técnicas influenciam no resultado do modelamento (GEORGIU e SKARLATOS, 2016; FANG et al., 2018).

A disponibilidade de radiação solar em um bom nível, de maneira constante é a principal variável que determina a potencialidade de geração solar fotovoltaica em uma região, pois quanto maior a radiação recebida, maior será a geração de energia (MERROUNI et al., 2018; MENSOUR et al., 2019). De acordo com Al Garni e Awasthi

(2017), a radiação solar é composta por 3 índices principais: a irradiância normal direta (IDN), a irradiância horizontal difusa (IDH) e a irradiância global horizontal (IGH) que corresponde à soma das anteriores. No caso da geração fotovoltaica, a IGH é a componente que deve ser levada em consideração para estimativa da produção energética (SUN et al., 2021). Segundo Noorollahi et al. (2016) o valor mínimo requerido de IGH é 1300 kWh/m²/ano, enquanto Ouchani et al. (2020) afirmam que áreas com IGH abaixo de 1700 kWh/m²/ano devem ser desconsideradas.

Em conjunto com a radiação solar, um dos critérios a se considerar é o uso e cobertura da terra. Essa variável, determina as principais restrições quanto ao uso da terra para geração de energia. Áreas florestais, vegetação densa, vegetação nativa, pântanos, áreas de preservação, cursos e nascentes d'água, áreas de proteção de fauna e flora, locais de preservação histórica e cultural, proximidades de aeródromos, terras agricultáveis dentre outras classes de uso, constituem restrições totais ou exigem que uma distância mínima (a depender do caso) deva ser respeitada para construção de usinas fotovoltaicas de grande porte (SARMIENTO et al., 2017; FINN e MCKENZIE, 2020; NOOROLLAHI et al., 2022). Áreas com solo exposto, afloramento rochoso, ou sem uso são ideais para implantação geração fotovoltaica e, de acordo com Massimo et al. (2014) é possível conciliar o uso do solo para geração fotovoltaica com atividades agropastoris e no contexto urbano.

Boa parte das restrições é retirada da legislação local aplicável. No Brasil, não existe no arcabouço legal nenhum diploma específico sobre geração fotovoltaica, no que se refere aos critérios e parâmetros de exploração do recurso. Contudo, a partir da legislação sobre licenciamento ambiental, é possível retirar alguns critérios, como por exemplo distância mínima para cursos d'água e rodovias federais.

A lei n.º 6.766 de 19/12/1979 estabelece como limite mínimo 15 m de distância para obras às margens de rodovias federais (BRASIL, 1979). Já a lei n.º 12.651 de 25/05/2012, estabelece os limites de áreas de preservação permanente (APP) em torno de cursos, massas e nascentes d'água. O limite mínimo, mais rigoroso estabelecido na lei para o caso de cursos d'água é de 500 m, quando a distância entre as margens for de no mínimo 600 m e, para reservatórios naturais de água é de 100 m. No caso de nascentes o limite mínimo exigido é de 50 m (BRASIL, 2012).

Outro aspecto importante a se considerar é o relevo e, neste sentido destacam-se 3 critérios: declividade do terreno, elevação e orientação. Em relação à declividade é importante que o terreno onde os painéis fotovoltaicos serão instalados, sejam o mais plano possível, caso contrário, pode haver sombreamento sobre painéis vizinhos, diminuindo a eficiência da produção (ASAKEREH et al., 2018; NOOROLLAHI et al., 2016). Quanto aos valores limites de declividade, não existe um consenso na literatura, variando de 3% em Aly et al. (2017) e Villacreses et al. (2022), até 30% em Ibrahim et al. (2021). Contudo valores de 5%, 10% e 11% foram bastante recorrentes nos estudos analisados, como por exemplo em: Hashemizadeh et al. (2019), Rios e Duarte (2021) e Elboshy et al. (2022), respectivamente.

Em relação à elevação, os estudos divergem quanto à influência deste critério. Para Noohorollahi et al. (2016) e Elboshy et al. (2022) quanto maior a altitude, maior será a produção de energia, pois a espessura da atmosfera diminui com o aumento da elevação, o que permite uma maior penetração da radiação solar. Entretanto, Merrouni et al. (2018) e Vrinceanu et al. (2022) argumentam que elevações maiores aumentam os custos iniciais de investimento com transporte de equipamentos e instalação de linhas de transmissão.

Sobre a orientação do terreno, enquanto no hemisfério norte, os painéis devem evitar a face norte dos terrenos, no hemisfério sul a instalação dos painéis nas faces ao sul deve ser descartada (SUURONEN et al. 2017; AL GARNI e AWASTHI, 2017; VITKOVSKA et al., 2020). Isso se deve ao movimento do Sol na direção Leste-Oeste, que no hemisfério Sul ocorre com leve inclinação ao norte, enquanto no hemisfério Norte ocorre o contrário.

Por fim, como critério técnico a ser considerado, vale citar a distância para a conexão com a rede elétrica. No caso de usinas de grande porte, este critério é relevante especialmente na análise de custo inicial, pois quanto maior a distância do ponto de conexão à rede, maior será o investimento. Neste aspecto, duas variáveis ganham destaque: a distância para as subestações e a distância para as linhas de transmissão (SUH e BROWSON, 2016; GHASEMI et al., 2019; COLAK et al., 2020; VAGIONA, 2021; ALHAMMAD et al., 2022).

No caso do Brasil, usinas com até 3 MW de potência instalada, podem acessar diretamente a rede de distribuição (BRASIL, 2022). Acima dessa capacidade, a conexão deve ser feita no Sistema Interligado Nacional (SIN), através das subestações de transmissão.

4.3.5 Integração com SIG

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são ferramentas que permitem analisar, processar, armazenar, recuperar e produzir informações geoespaciais. Dentre os arquivos manipuláveis em softwares SIG destacam-se dois tipos: os arquivos raster (ou matriciais) e os arquivos vetoriais (VILLACRESES et al., 2022).

Os SIG têm sido amplamente utilizados na análise de problemas que envolvem a espacialização de variáveis ambientais (SÁNCHEZ-LOZANO et al, 2014; REDISK et al 2020). Este é o caso do mapeamento de potenciais de geração de energia, para o qual o uso do SIG juntamente com a análise multicritério tornou-se indispensável (GEORGIOU e SKARLATOS, 2016; SOLANGI et al., 2019; ZAMBRANO-ASANZA et al., 2021).

Em estudo de mapeamento de potenciais de geração de energia fotovoltaica, Al Garni e Awasthi (2017) apontam como principal vantagem do uso de SIG os seguintes pontos:

- Garantia de escolha de um local com melhor radiação solar e condições de temperatura;
- Melhor escolha do local em relação às condições do terreno (inclinação e regiões sem sombra);
- Minimização de custos do projeto ao indicar locais próximos à infraestrutura da rede elétrica;
- Possibilidade de indicar locais onde serão reduzidos os impactos ambientais, sociais e de infraestrutura;

- O tratamento das restrições leva à exclusão dos locais impróprios para instalação de usinas;
- Permite desenvolver um sistema de suporte à decisão que pode levar à ampliação e desenvolvimento da infraestrutura elétrica.

Assim, na detecção de potenciais energéticos, os SIG constituem a ferramenta principal de análise e processamento dos dados. Cada critério integra o SIG como um dado de entrada, onde serão feitas operações geoespaciais, em conjunto com a álgebra necessária à técnica de análise multicritério escolhida. Como resultado, é possível obter um mapa da região de estudo indicando os locais mais adequados para geração de energia elétrica.

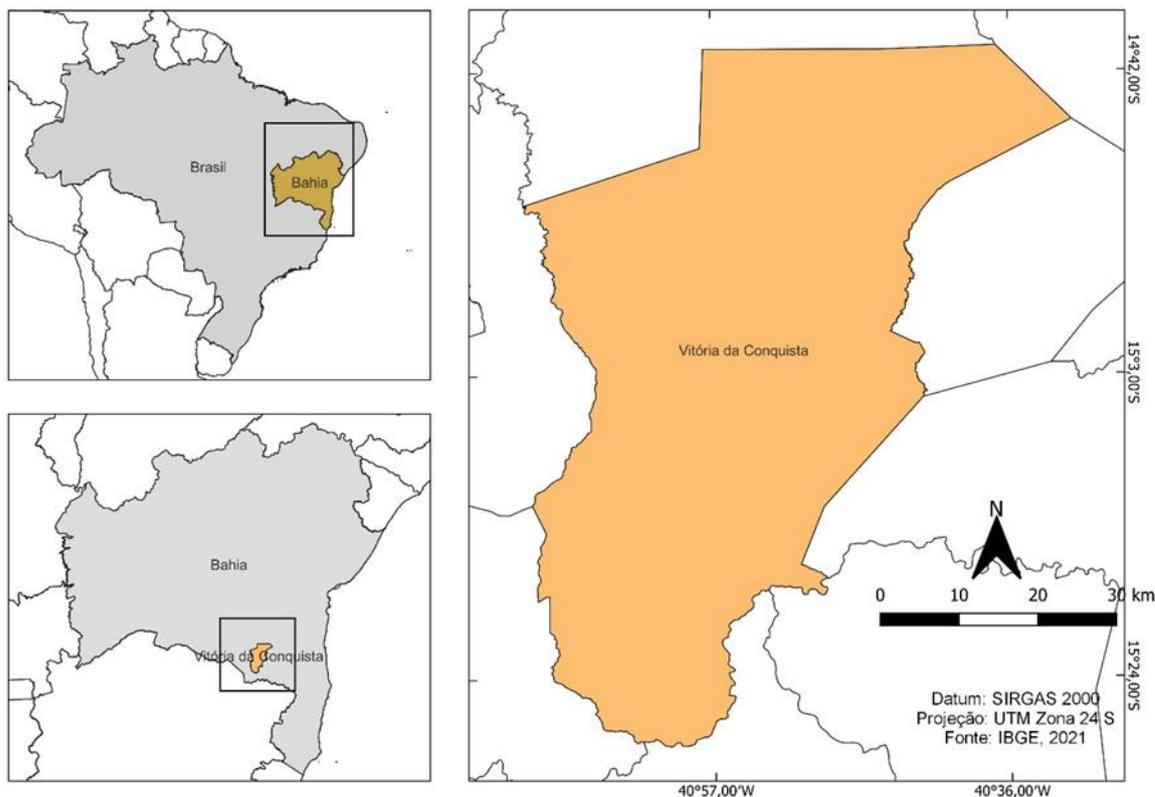
4.3 METODOLOGIA

Nesta seção caracterizamos e justificamos a escolha da área de estudo. A descrição da metodologia empregada neste artigo também é detalhada na sequência.

4.3.1 Área de Estudo

O município de Vitória da Conquista está localizado na mesorregião Centro-Sul e microrregião Vitória da Conquista, do estado da Bahia. Tem uma área de aproximadamente 3.244 km² e tem uma população estimada no ano de 2021 de 343.643 habitantes (IBGE, 2022). Na hierarquia urbana do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município é classificado como capital regional 2B, sendo o centro de influência de uma região com mais de 2 milhões de habitantes. A maior parte do território municipal faz parte do bioma Caatinga e uma pequena porção do bioma Mata Atlântica. A Figura 4.1 mostra o mapa de localização do município.

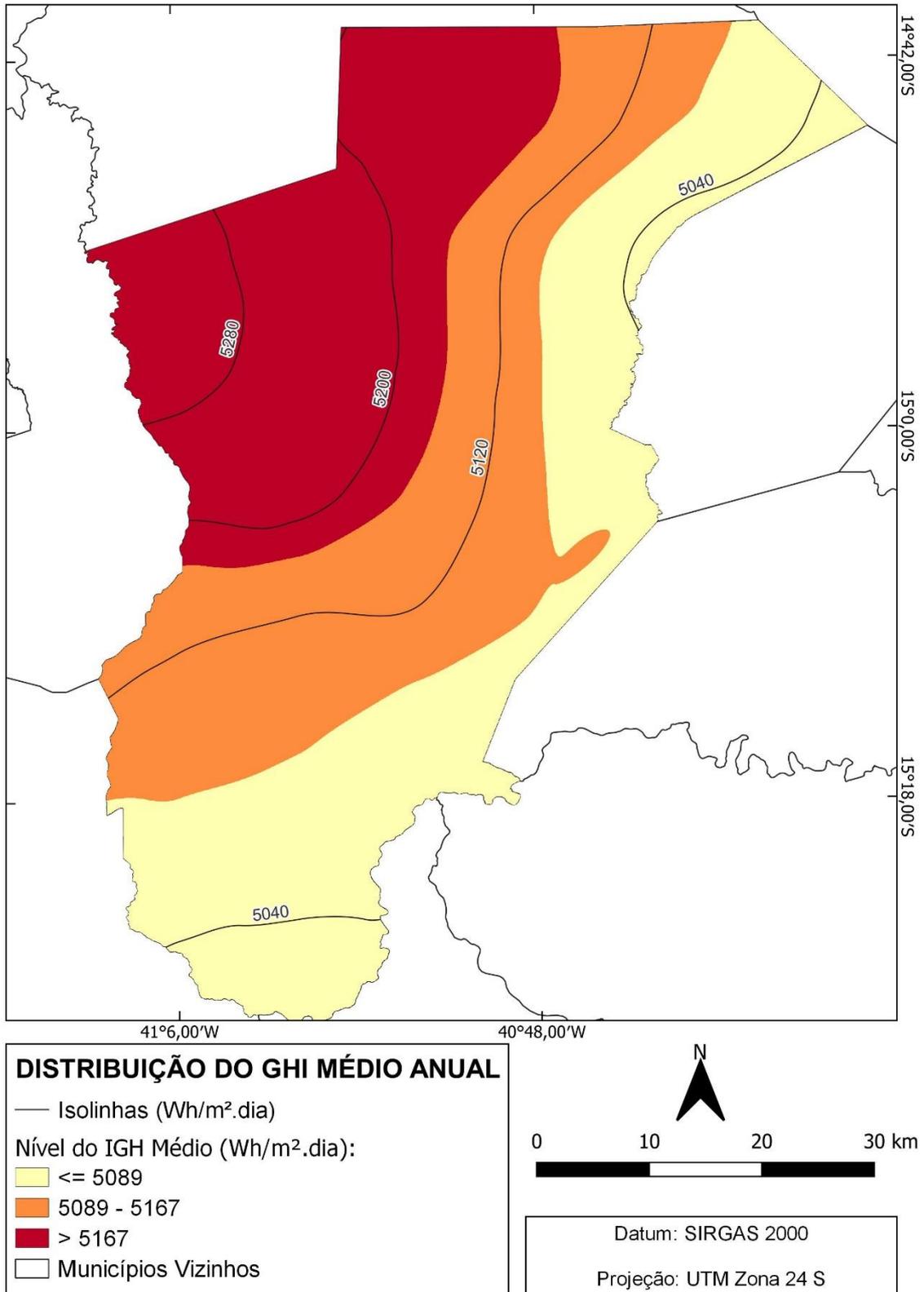
Figura 4.1: Mapa de localização de Vitória da Conquista/BA



Fonte: Autoria própria.

Quanto a radiação solar, os dados do Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia (LABREN), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), mostram que a IGH média anual no município conquistense é de 5081 Wh/m².dia, o que equivale a aproximadamente 1854 kWh/m² por ano. Tal valor é semelhante a outros municípios onde existe a presença de usinas fotovoltaicas de grande porte como Terenos (MS) e Guaimbê (SP), com 5084 e 5049 Wh/m².dia, respectivamente. Ou seja, existe um potencial de geração fotovoltaica ainda inexplorado no município. Dessa maneira, se justifica a escolha de Vitória da Conquista como área de estudo. A Figura 4.2 ilustra o mapa da distribuição da IGH média anual em Vitória da Conquista.

Figura 4.2: Distribuição de IGH médio anual em Vitória da Conquista.



Fonte: Autoria própria (Dados LABREN/Inpe).

4.3.2 Fluxo Metodológico

Após determinar a área de estudo, foi feita uma revisão de literatura com o objetivo de escolher a técnica de análise multicritério que seria utilizada, bem como os critérios de análise. Outra fonte que serviu de base para levantar os critérios foi a legislação aplicável. Os critérios, uma vez definidos, foram classificados em restrições, que indicam áreas onde não é possível aproveitar o potencial de geração fotovoltaica, e fatores de ponderação, cuja presença deles aumenta, ou diminui o potencial.

Foram considerados critérios de restrição: uso e cobertura da terra, distância mínima para nascentes, cursos e massas d'água, distância mínima para rodovias, presença de áreas quilombolas, orientação e declividade do terreno. Enquanto IGH médio anual, distância para subestações, orientação, declividade e elevação do terreno, foram considerados os fatores

Os dados geoespaciais foram obtidos a partir de fontes de dados abertos disponíveis na internet, a saber: Projeto Mapbiomas, Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pelo Projeto TOPODATA e LABREN/Inpe. O Quadro 4.3 traz uma síntese dos critérios utilizados, bem como seus respectivos formatos e fontes.

Quadro 4.3: Critérios utilizados no mapeamento do potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista/BA.

Critério	Classificação	Formato	Fonte
Uso e cobertura do solo	Restrição / Fator	Raster	Coleção MapBiomas 6
Nascentes, cursos e massas d'água	Restrição	Vetorial	ANA
Rodovias	Restrição	Vetorial	Coleção MapBiomas 6
Áreas quilombolas	Restrição	Vetorial	Incra
Orientação	Restrição /Fator	Raster	MDE / TOPODATA
Declividade	Restrição / Fator	Raster	MDE / TOPODATA
Elevação	Fator	Raster	MDE / TOPODATA
IGH médio anual	Fator	Vetorial	LABREM / Inpe
Distância para subestações	Fator	Vetorial	Coleção MapBiomas 6

Fonte: Autoria própria.

O *software* SIG utilizado foi o QGIS versão 3.22.10, que é um *software* livre, com ferramentas diversas para tratamento de dados geoespaciais. O QGIS tem sido

utilizado no mapeamento de potenciais energéticos em suas mais variadas versões como em Rogna (2020), Vitkovska et al. (2020) e Agyekum et al. (2021). Os dados obtidos na forma vetorial foram convertidos para raster e todos foram reprojatados para o sistema de referência de coordenadas EPSG: 31984 – SIRGAS 2000 / UTM zona 24S.

Como técnica de análise multicritério, optamos por utilizar a técnica AHP conjugada com a análise booleana e modelagem Fuzzy. Os critérios de restrição foram tratados através da análise booleana, na qual as áreas restritas receberam o valor 0 e as áreas disponíveis receberam o valor 1. Ao final, realizamos a operação booleana AND, gerando o mapa de áreas restritas e áreas disponíveis para geração de energia fotovoltaica.

Os fatores foram tratados inicialmente através da modelagem Fuzzy, com vistas a padronizar a escala de valores de cada critério entre 0 e 1 e levar em consideração os valores intermediários. A análise AHP foi aplicada de modo a gerar os pesos dos fatores e, para obter o mapa de áreas potenciais para geração fotovoltaica, foi aplicada a combinação linear ponderada conforme equação (7)

$$AP = \sum_{i=1}^n f_i * w_i \quad (7)$$

onde AP representa as áreas potenciais, f_i representa os fatores modelados pelas funções Fuzzy e w_i representa os pesos obtidos.

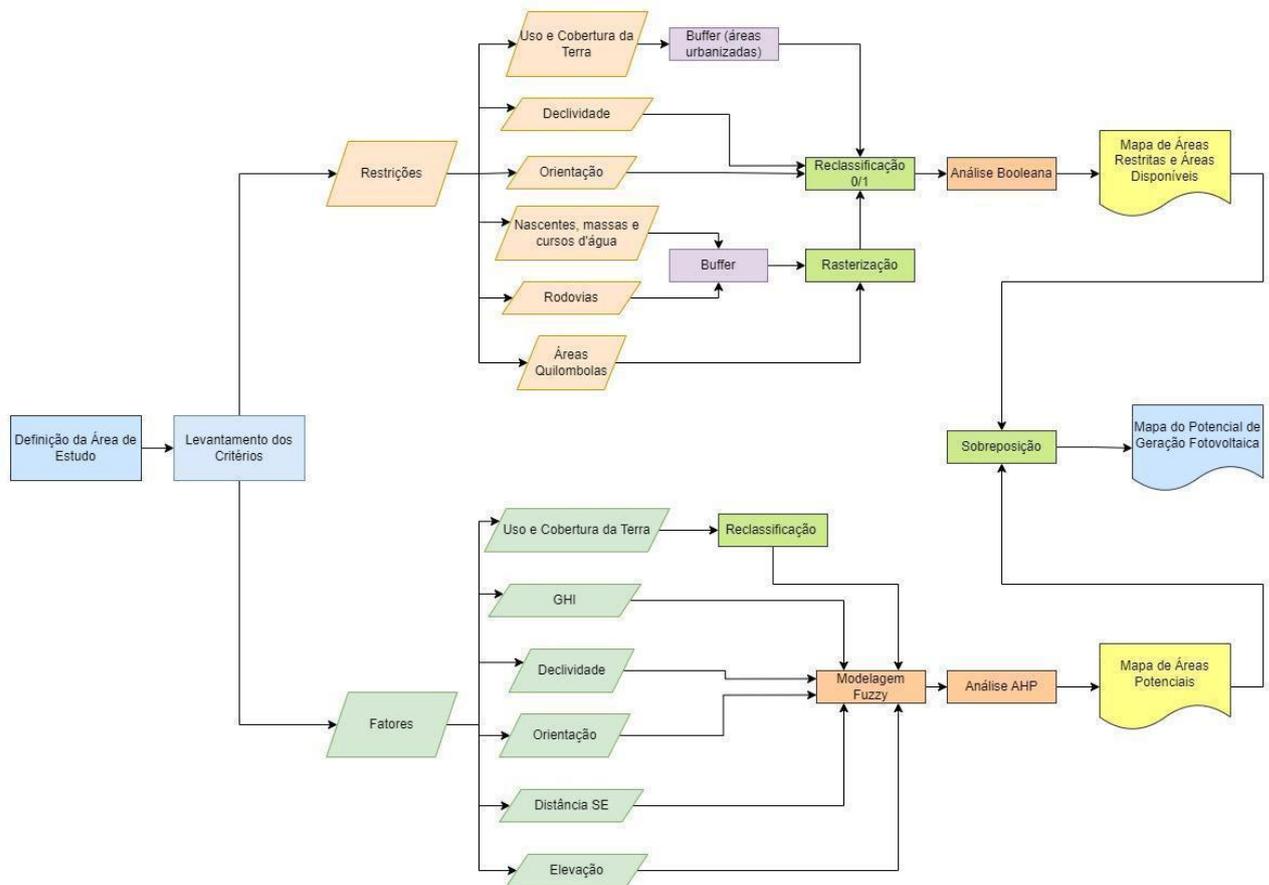
O mapa final foi obtido através da sobreposição do mapa de áreas restritas com o mapa de áreas potenciais, sendo classificado em 5 categorias: áreas restritas, baixo, moderado, alto e excelente. Após a obtenção deste mapa, que consiste no cenário de referência, realizamos uma análise de sensibilidade, na qual os fatores foram classificados em técnicos, orográficos e socioambientais. Os valores de peso foram alterados, gerando quatro cenários alternativos, nos quais é possível perceber como a valoração de importância de cada critério pode influenciar no resultado da análise.

Por fim, foi feita uma estimativa da geração de energia elétrica nas áreas com potencial excelente, seguindo a equação (8).

$$GP = SR * CA * AF * \eta \quad (8)$$

onde GP é a geração em potencial, SR é o IGH médio da área, CA é área total disponível, AF é a porcentagem da área do terreno que será ocupada pelos painéis solares (normalmente 70%) e η é a eficiência de conversão do painel fotovoltaico, definido pelos fabricantes (GASTLI e CHARABI, 2010; DOORGA et al., 2019a; NOOROLAHY et al., 2022). A Figura 4.3 ilustra o fluxograma da metodologia adotada nesta pesquisa.

Figura 4.3: Fluxograma da metodologia utilizada.



Fonte: Autoria própria.

De acordo com o Quadro 4.3, três critérios se comportam como restrição ou fator, dependendo do parâmetro, como por exemplo uso e cobertura da terra que algumas classes restringem o uso para geração de energia, enquanto outras são propícias. Dessa maneira, temos seis critérios restritivos e seis fatores.

Após a obtenção do mapa do potencial de geração fotovoltaica no município, para testar a sensibilidade do modelo e analisar como cada tipo de fator pode

influenciar no resultado do mapeamento, geramos quatro cenários a partir da mudança dos pesos nas análises. Para tanto, agrupamos os fatores em técnicos (IGH e distância para subestações), orográficos (declividade, orientação do terreno e elevação) e socioambientais (uso e cobertura da terra). Dentro de cada grupo foi feita uma comparação pareada para determinar qual dos fatores é mais relevante.

No primeiro cenário, todos os grupos de fatores têm a mesma importância, portanto, os pesos são iguais para todos. No segundo cenário, os critérios técnicos ganham importância sobre os demais. No terceiro, são as variáveis ligadas ao relevo que sobressaem na análise. E por fim, no quarto cenário, os fatores socioeconômicos são mais relevantes.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Áreas Restritas

Em relação ao parâmetro de restrição adotado para declividade, levamos em consideração a média dos valores identificados na revisão de literatura. A distância mínima de 500 m para áreas urbanizadas foi tomada para evitar interferências eletromagnéticas na rede de distribuição. Quanto à distância para nascentes e cursos d'água, adotamos o limite mínimo de 500 m de distância das margens, como critério de segurança em caso de enchentes e para garantir maior proteção aos corpos aquáticos. No caso das massas d'água a distância de 100 m foi considerada independentemente do caso de a massa ser um corpo natural ou artificial.

As restrições de uso e cobertura do solo visam garantir que as classes indicadas sejam preservadas da intervenção necessária para implantação de uma usina fotovoltaica (USF). A distância mínima tomada em relação às rodovias foi de 100m para garantir a segurança dos condutores em relação ao ofuscamento causado pelos painéis solares.

Cada uma das restrições constituiu uma camada de entrada no processamento via SIG. Na calculadora *raster*, realizamos o produto entre as camadas (equivalente à operação booleana AND), o que gerou o mapa de áreas restritas e áreas disponíveis para geração de energia fotovoltaica no município de Vitória da Conquista. O Quadro 4.4 indica os parâmetros restritivos adotados neste trabalho.

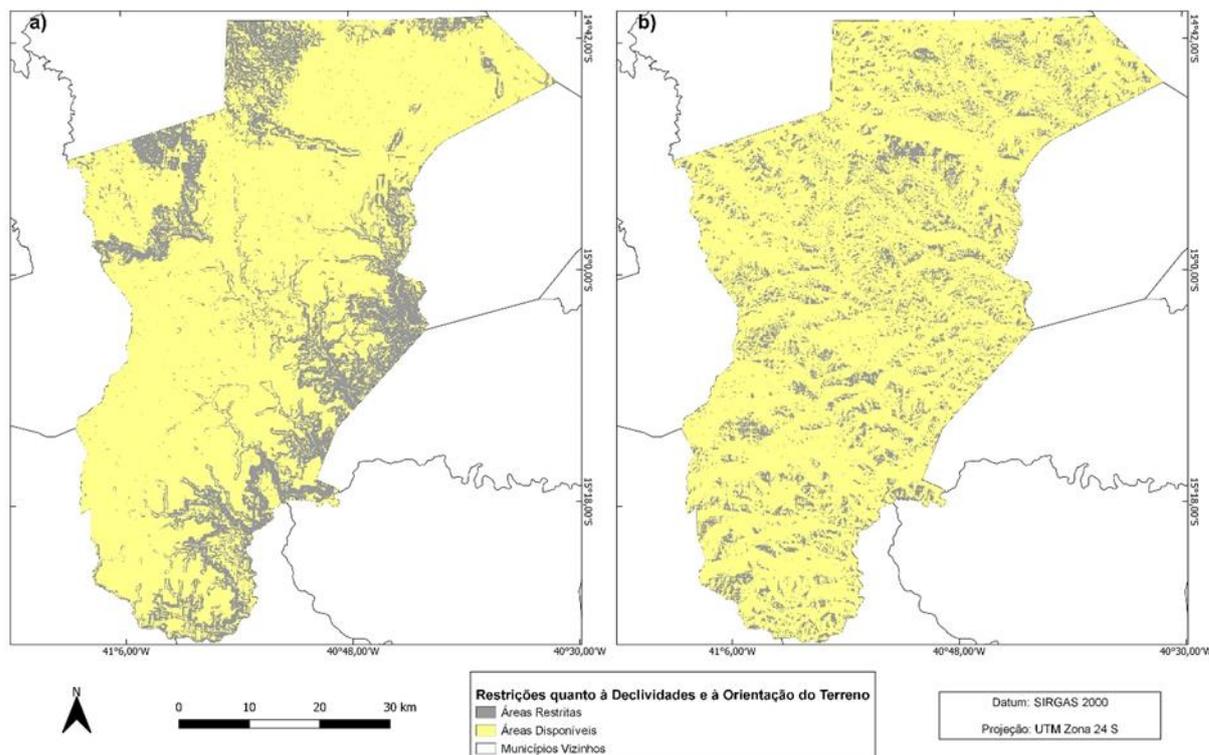
Quadro 4.4: Parâmetros restritivos considerados no mapeamento do potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista

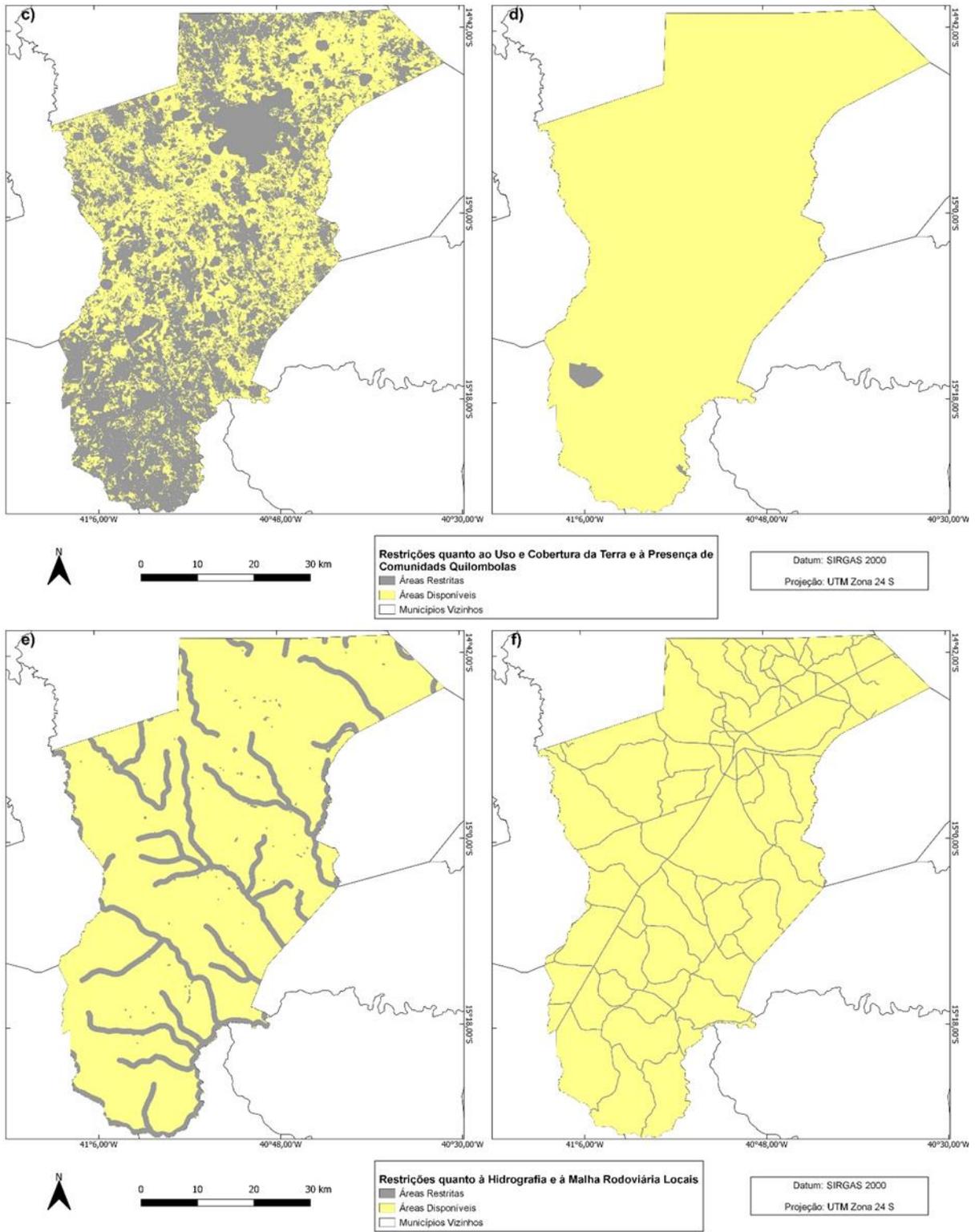
Critério	Parâmetros
Declividade	> 12%
Orientação	Face Sul
Uso e Cobertura da Terra	Formação florestal, formação savânica, formação campestre, silvicultura, café, área urbanizada (buffer 500 m), rios e lagos – conforme classificação do Mapbiomas Coleção 6
Assentamentos de Povos Tradicionais	Áreas quilombolas
Distância para Nascentes e Cursos d'Água / Massas d'Água	500 m / 100 m
Distância para rodovias	100 m

Fonte: Autoria própria.

A Figura 4.4 mostra os mapas de cada critério restritivo separadamente, enquanto a Figura 4.5 mostra o mapa de áreas restritas e áreas disponíveis para geração fotovoltaica no município de Vitória da Conquista. De toda área do município, 2.382,37 km² constituem áreas restritas, enquanto 861,81 km² constituem as áreas disponíveis, ou 73,4% e 26,6% respectivamente.

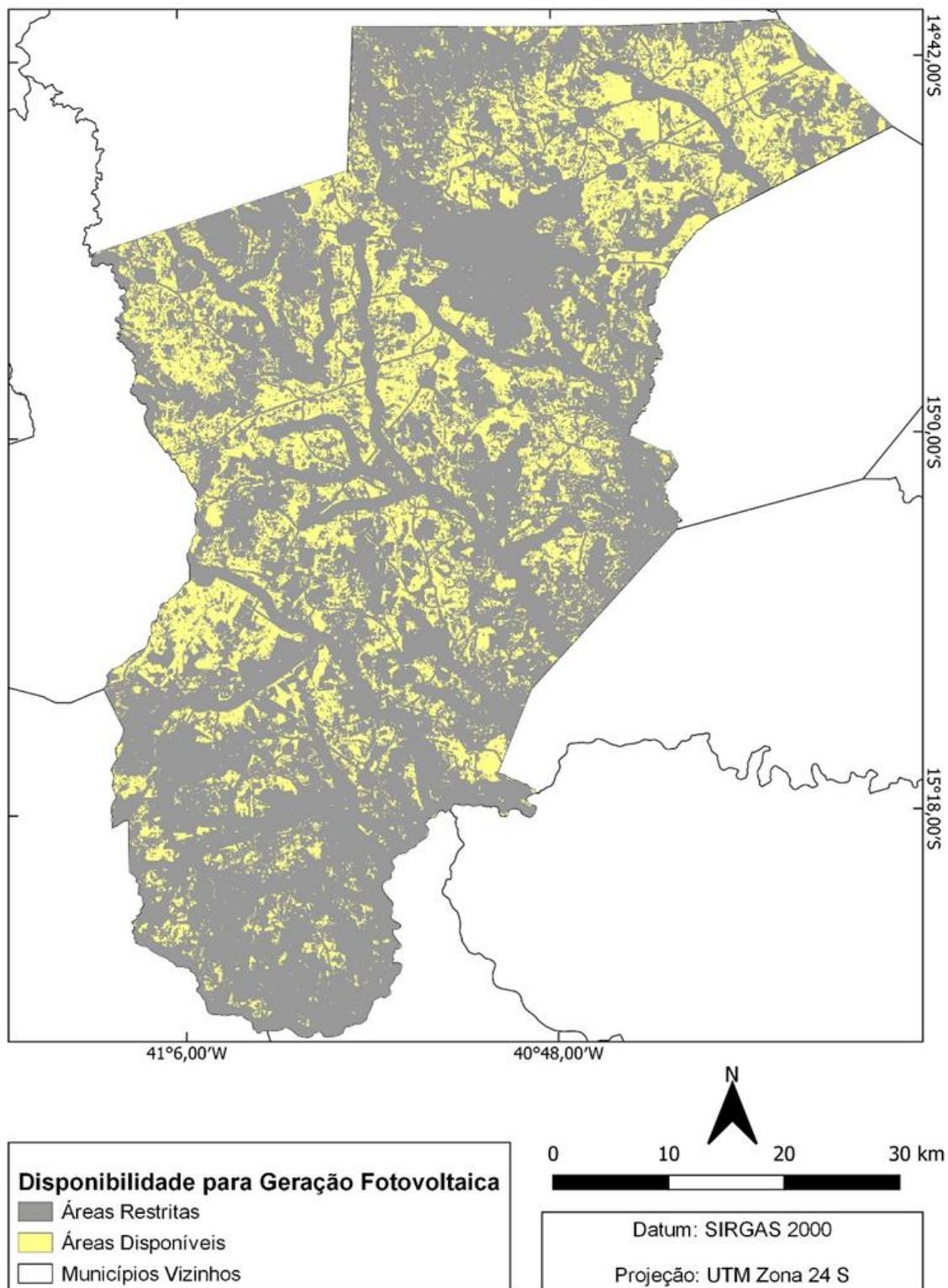
Figura 4.4: Mapas dos critérios de restrição: a) declividade; b) orientação do terreno; c) uso e cobertura do solo (considerando também o buffer de 500 m das áreas urbanizadas); d) áreas quilombolas; e) hidrografia local (distância de margens de cursos d'água, nascentes e massas d'água); f) distância para rodovias.





Fonte: Autoria própria.

Figura 4.5: Mapa de áreas restritas e áreas disponíveis para geração de energia fotovoltaica em Vitória da Conquista.



Fonte: Autoria própria.

4.4.2 Áreas Potenciais

Modelamos os fatores através de conjuntos Fuzzy, de modo a permitir a ponderação de valores intermediários entre os limites associados à total restrição e à total potencialidade. A Quadro 4.5 descreve os fatores utilizados, bem como as funções Fuzzy escolhidas para modelar cada um.

Quadro 4.5: Descrição dos fatores utilizados no estudo.

Fator	Descrição	Função Fuzzy	Parâmetros
IGH	Quanto maior o IGH, maior o potencial de geração.	Linear Crescente	a = 4989 Wh/m ² dia b = 5250 Wh/m ² dia
Distância para Subestações	Quanto maior a distância para subestações, maiores serão os custos iniciais, diminuindo a potencialidade.	Linear Decrescente	a = 25 km b = 150 km
Declividade	Terrenos mais planos favorecem o aproveitamento solar.	Linear Decrescente	a = 3 % b = 12 %
Orientação	Faces voltadas ao norte são mais indicadas.	Trapezoidal inversa	a = 22,5° b = 157,5° c = 202,5° d = 337,5°
Elevação	Quanto maior a altitude local, melhor a penetração da radiação solar.	Linear Crescente	a = 390 m b = 990 m
Uso e Cobertura da Terra	Determinadas classes de uso, com pouca ou nenhuma vegetação favorecem a implantação de usinas solares.	Linear Crescente	a = 1 b = 4

Fonte: Autoria própria.

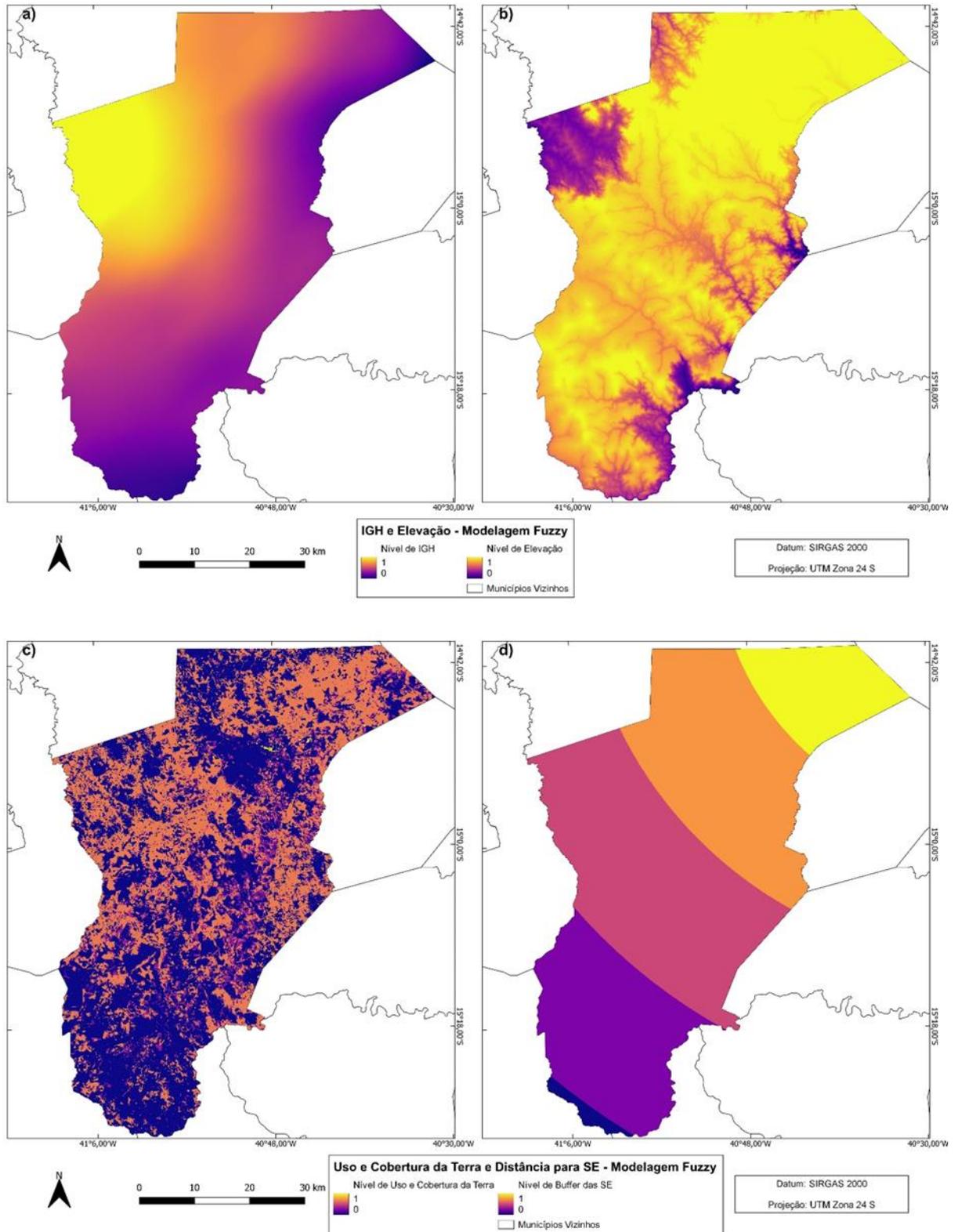
No caso da camada de uso e cobertura do solo, por ser um mapa de valores discretos, foi feita uma reclassificação, em valores que variaram de 0 a 4, de acordo com a Tabela 4.4 antes de aplicar a função Fuzzy determinada. Enquanto A Figura 4.6 mostra os mapas individuais de cada fator, modelados através de funções Fuzzy.

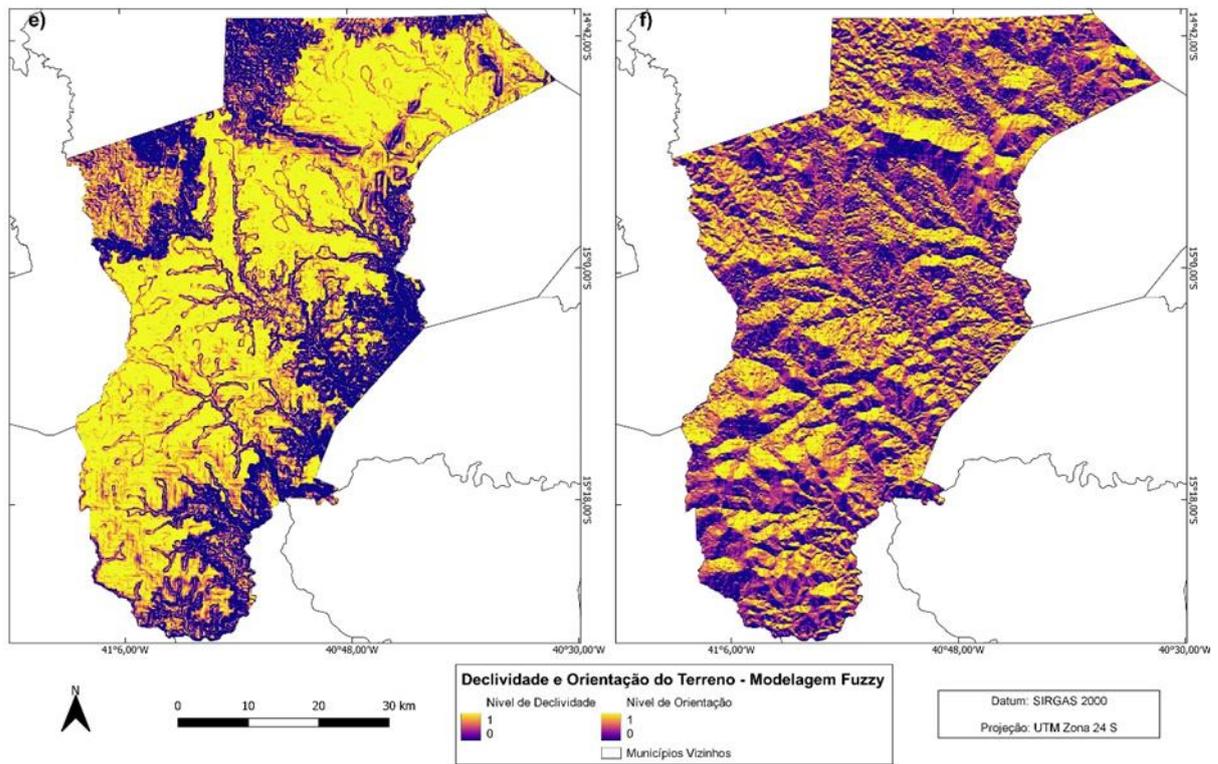
Tabela 4.4: Reclassificação do mapa de uso e cobertura da terra.

Classe	Reclassificação
Formação Florestal	0
Formação Savânica	0
Silvicultura	0
Formação Campestre	0
Café	0
Rios e Lagos	0
Mineração	1
Mosaico agricultura-pastagem	1
Pastagem	2
Afloramento Rochoso	4
Outras áreas não-vegetadas	4

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.6: Mapas individuais dos fatores modelados por função Fuzzy. a) IGH, b) elevação, c) uso e cobertura da terra, d) distância das subestações, e) declividade, f) orientação do terreno.





Fonte: Autoria própria.

Para a aplicação da técnica AHP geramos a matriz de comparação mostrada na Tabela 4.5. Após a normalização, foi efetuada a análise de consistência obtendo um CR = 0,05, o que indica que o resultado foi consistente, portanto, os pesos dos critérios obtidos podem ser utilizados. Os pesos calculados estão demonstrados na Tabela 4.6.

Tabela 4.5: Matriz de comparação.

	IGH	Declividade	Uso e Cobertura	Orientação	Distância SE	Elevação
IGH	1	3	3	5	7	9
Declividade	1/3	1	1	3	5	9
Uso e Cobertura	1/3	1	1	3	3	7
Orientação	1/5	1/3	1/3	1	3	5
Distância SE	1/7	1/5	1/3	1/3	1	5
Elevação	1/9	1/9	1/7	1/5	1/5	1

Fonte: Autoria própria.

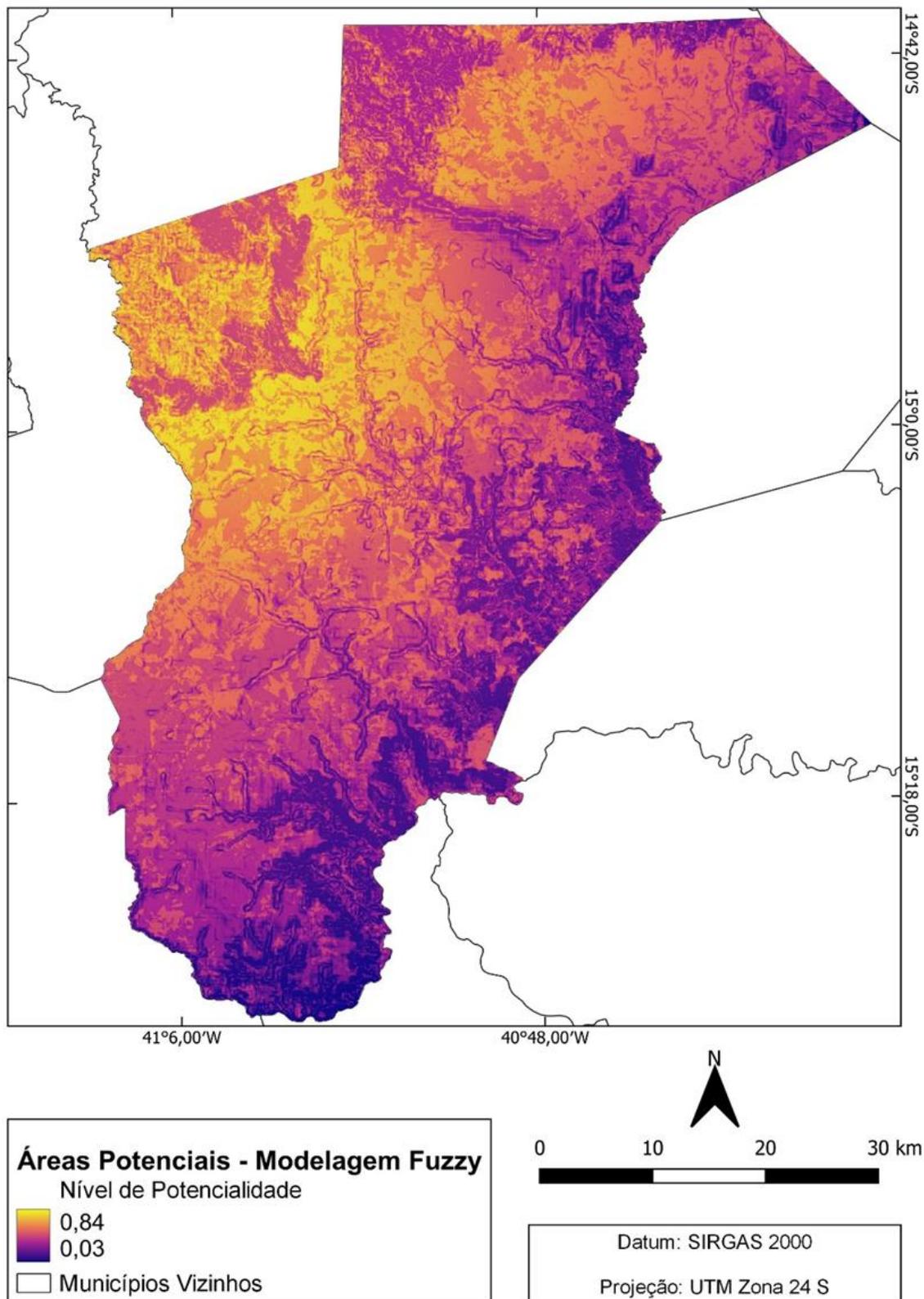
Tabela 4.6: Pesos dos fatores obtidos via técnica AHP.

Fator	Peso (em %)
IGH	42,75
Declividade	20,99
Uso e Cobertura	18,38
Orientação	9,59
Distância SE	5,90
Elevação	2,39

Fonte: Autoria própria.

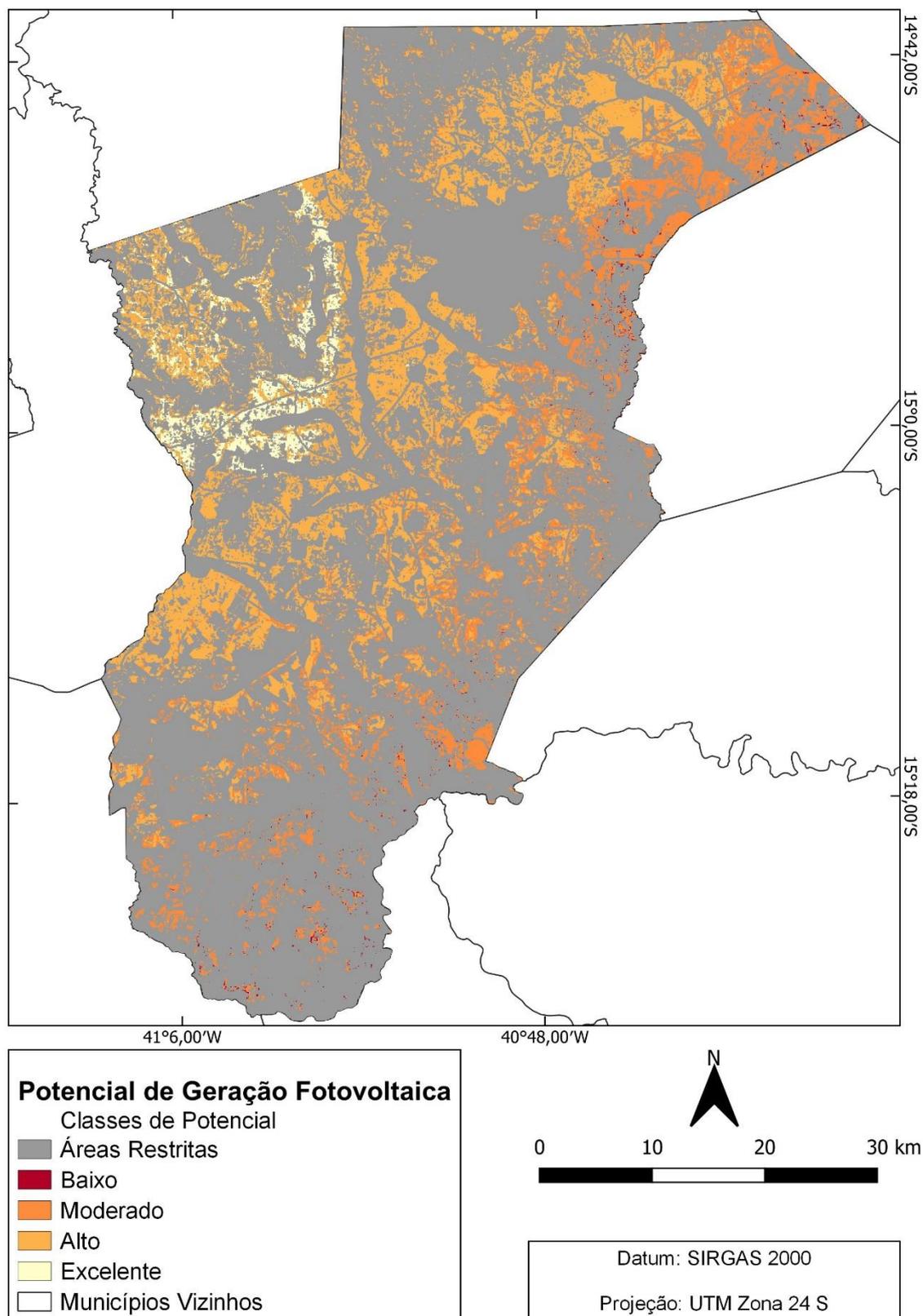
Utilizando a calculadora raster do QGIS, foi processada a combinação ponderada, conforme equação (7), obtendo como resultado o mapa de áreas potenciais, conforme ilustra a Figura 4.7. A partir da sobreposição do mapa de potencialidade, com o mapa de áreas restritas, é possível obter o mapa do potencial de geração de energia fotovoltaica do município, classificado em 5 categorias, o qual é apresentado na Figura 4.8. A Tabela 4.7 traz a área correspondente a cada classe.

Figura 4.7: Mapa de potencialidade para geração de energia fotovoltaica em Vitória da Conquista.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.8: Mapa do potencial de geração de energia fotovoltaica no município de Vitória da Conquista/BA



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.7: Área correspondente a cada classe de potencial de geração fotovoltaica em Vitória da Conquista/BA

Classe	Área (em km²)
Áreas Restritas	2.382,37
Baixo	6,99
Moderado	283,23
Alto	511,41
Excelente	60,24

Fonte: Autoria própria.

Para estimar a produção de energia elétrica, foi aplicada a equação (8) na área total da classe excelente. Para tanto, levamos em consideração valores de eficiência dos módulos mais eficazes das três fabricantes mais vendidas no Brasil em 2021, de acordo com estudo da consultoria Grenner (GRENNER, 2022). Conforme revisão de literatura, a porcentagem da área a ser coberta pelos painéis solares deve ser estimada em 70%. Foi considerada a IGH média anual do município de Vitória da Conquista. A Tabela 4.8 traz os resultados.

Tabela 4.8: Estimativa de produção de energia elétrica.

Marca	Modelo	Tipo	Potência Nominal	Eficiência	Produção Anual Estimada
Canadian	HiKu7 CS7N	Monocristalino bifacial	670 W	21,6 %	16,9 GWh
Trina	TSM.DEG19C.20	Monocristalino bifacial	550 W	21 %	16,4 GWh
Longi	LR6-720PH	Monocristalino PERC	405 W	20,4 %	15,9 GWh

Fonte: Autoria própria.

4.4.3 Análise de Sensibilidade

Para análise de sensibilidade, geramos 4 cenários alternativos. Variamos os pesos dos critérios conforme a Tabela 4.9.

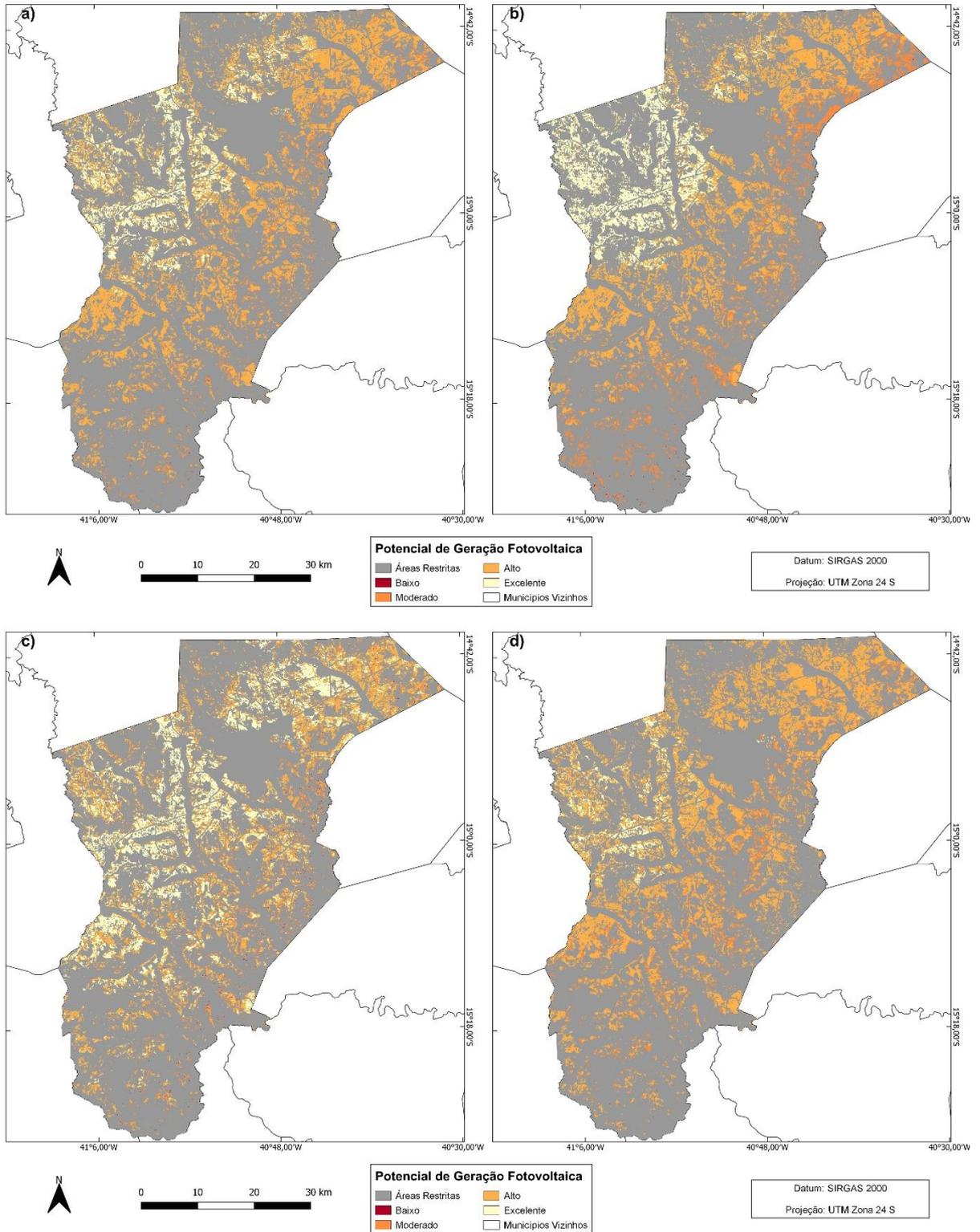
Tabela 4.9: Variação de pesos para cada cenário analisado

Grupos de Fatores	Fatores	Pesos Individuais	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Técnicos	IGH	0,875	33,3 %	60 %	20 %	20 %
	Distância SE	0,125				
Orográficos	Declividade	0,672	33,3 %	20 %	60 %	20 %
	Orientação	0,265				
	Elevação	0,063				
Socioambientais	Uso e Cobertura	1,000	33,3 %	20 %	20 %	60 %

Fonte: Autoria própria.

As áreas potenciais foram determinadas na calculadora raster do QGIS, fazendo uma soma ponderada das camadas, na qual cada uma foi multiplicada pelo respectivo peso individual e pelo peso do grupo correspondente. O mapa de potencial de geração fotovoltaica de cada cenário foi encontrado sobrepondo o mapa de áreas restritas e áreas disponíveis com o mapa de áreas potenciais obtido. A Figura 4.9 mostra os mapas obtidos para cada cenário, enquanto a Tabela 4.10 traz as áreas correspondentes para cada classe em cada cenário obtido.

Figura 4.9: Mapas obtidos para cada cenário da análise de sensibilidade. a) cenário 1, b) cenário 2, c) cenário 3, d) cenário 4.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.10: Áreas em km² correspondentes a cada classe por cenário.

Classes de Potencial	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Áreas Restritas	2.382,37	2.382,37	2.382,37	2.382,37
Baixo	0,46	0,83	3,05	0,03
Moderado	86,41	175,97	83,37	137,09
Alto	598,76	472,08	445,27	668,29
Excelente	176,24	212,99	330,18	56,56

Fonte: Autoria própria.

4.5 DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos na análise das restrições, 73,4 % do território analisado não estão aptos para instalação de usinas fotovoltaicas. Desta área cerca de 1.687 km², ou 78,8% das áreas restritas, correspondem às restrições de uso e cobertura da terra, destacando a relevância deste critério.

No cenário de referência, cerca de 66,3% do total das áreas disponíveis foram classificadas como potencial alto ou excelente. Cabe destacar que as áreas classificadas como potencial excelente estão localizadas na porção oeste do município, onde a média da IGH é maior. Um fator importante a ser mencionado também, é a distância para subestações. As áreas com excelente potencial estão localizadas numa faixa do município em que a distância para a subestação mais próxima é entre 75 km e 100 km. Caso, haja a implantação de uma subestação de transmissão, no território municipal, é provável que outras áreas que foram classificadas com potencial alto, passem a integrar a classe excelente.

As áreas classificadas com potencial baixo ou moderado, apresentam-se em menor proporção em relação às outras duas, porque a maioria dos critérios que afetam negativamente o potencial de geração já foi tratada previamente na análise de restrições. Dessa forma, os fatores que indicam a potencialidade do local de estudo, em sua maioria são aqueles que favorecem a geração de energia solar local.

Em relação à estimativa de produção das áreas com potencial excelente, no cenário de referência, a menor produção estimada corresponde a cerca de 3,9 % do consumo de energia total do município de Vitória da Conquista, no ano de 2016 (SEI-BA, 2022). Considerando que o consumo médio residencial na Bahia, no ano de 2020

foi de 143,1 kWh/mês (EPE, 2021), a produção estimada seria capaz de abastecer aproximadamente 9.300 famílias.

Quanto à análise de sensibilidade do modelo, os dados mostram que a mudança nos pesos dos critérios, causou alterações significativas nos valores das áreas de cada classe do mapa de potencial de geração. A tabela 4.11 mostra a variação entre as classes, em comparação com o cenário de referência.

Tabela 4.11: Comparação dos cenários da análise de sensibilidade com o cenário de referência.

Classe	Varição Cenário 1	Varição Cenário 2	Varição Cenário 3	Varição Cenário 4
Áreas restritas	-	-	-	-
Baixo	- 93,4%	- 88,1%	- 56,4%	- 99,6%
Moderado	- 69,5%	- 37,9%	- 70,6%	- 51,6%
Alto	+ 17,1%	- 7,7%	- 12,9%	+ 30,7%
Excelente	+ 192,6%	+ 253,6%	+ 448,1%	- 6,1%

Fonte: Autoria própria.

Em qualquer dos quatro cenários obtidos, a classe com maior área é a que representa o potencial alto para geração fotovoltaica. Entretanto, a mudança de pesos entre os grupos de fatores, afeta a área de todas as classes.

Comparando com as áreas obtidas no cenário 1, quando os pesos dos grupos de fatores são iguais, com o cenário de referência, houve aumento nas classes alto e excelente, enquanto as classes baixo e moderado tiveram diminuição de suas áreas. Já nos cenários 2 e 3 a única classe que apresentou acréscimo de área foi a classe excelente. Por fim, no cenário 4, somente a classe alto obteve ganho de área.

Em nenhum dos cenários obtidos, houve aumento de área na classe baixo. A redução mais significativa foi identificada no cenário 4, no qual a área de potencial baixo foi de somente 0,03 km², o que representa um decréscimo de 99,6% em relação à área obtida no cenário de referência. Isso mostra que os fatores socioambientais, representados pela camada de uso e cobertura da terra, exerceram influência considerável para diminuição desse nível de potencial.

A classe moderado também apresentou redução de área em todos os cenários da análise de sensibilidade, sendo os maiores decréscimos de 69,5% e 70,6%

registrados nos cenários 1 e 3 respectivamente. Como no cenário 1 os pesos dos grupos de fatores são os mesmos, esse resultado revela que as questões de relevo têm importância maior para diminuição das áreas com potencial moderado para geração fotovoltaica.

A classe alto apresentou redução nos cenários 2 e 3 e, aumento de área nos cenários 1 e 4, sendo neste último de 30,7% em comparação com o cenário de referência. Aqui observa-se a influência dos fatores socioambientais para aumentar a área desta classe.

Por fim, em relação à classe excelente, os resultados mostram que somente no último cenário, houve redução da área. O melhor resultado obtido foi registrado no cenário 3, na qual esta classe obteve 330,18 km² de área, um aumento de 448,1% em relação à área obtida no cenário de referência. Tal resultado indica que as características de relevo de Vitória da Conquista, levando em consideração os parâmetros adotados, amplificam o potencial de geração fotovoltaica local.

4.6 CONCLUSÃO

O futuro da matriz elétrica nacional, passa pela diversificação das fontes renováveis tendo como principal fonte a ser desenvolvida a energia solar fotovoltaica. Dessa maneira, apontar localidades com alto potencial para o uso dessa fonte, torna-se importante na medida que pode fomentar tanto ações dos agentes governamentais, quanto dos agentes privados para o incremento dessa fonte renovável na geração brasileira.

A modelagem dos dados por meio da análise booleana, conjuntos Fuzzy e da técnica AHP mostrou-se eficaz no propósito de indicar na área de estudo, locais passíveis de uso para implantação de USF, que estejam situados nas áreas de maior incidência de radiação solar, ao mesmo tempo que respeite os limites dos critérios socioeconômicos, de relevo e ambientais. A aplicação do modelo em escala local, garantiu que os parâmetros de relevo e uso e cobertura da terra fossem tratados na modelagem, exercendo real influência nos resultados obtidos.

A análise de sensibilidade revelou que a escolha dos pesos dos critérios influencia diretamente nos resultados, de maneira que se um tipo de fator for valorado de maneira exacerbada, acaba por gerar distorções quanto à verdadeira potencialidade local. Depreendemos, que a escolha dos critérios de avaliação, bem como dos parâmetros de análise e ponderação dos pesos constitui a fase mais sensível do mapeamento de potenciais de geração de energia.

O principal critério que pode aumentar as áreas potenciais no município é a distância para subestações. Assim, caso haja a instalação de uma subestação de transmissão no território conquistense, a área equivalente às classes alto ou excelente tende a aumentar consideravelmente.

A partir dos resultados obtidos, concluímos que o território do município de Vitória da Conquista constitui-se como um ótimo candidato para possíveis implantações de empreendimentos de geração fotovoltaica, portanto, é salutar que o Poder Público, bem como a sociedade local reúnam esforços para desenvolver um plano de atração de investimentos para o município.

Por fim cabe mencionar, que o modelo como foi implementado, pode ser adaptado para outras regiões e fontes de energia, uma vez que os dados utilizados encontram-se disponíveis facilmente, bastando adaptar à região de estudo e à fonte analisada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEDEJI, Paul A.; AKINLABI, Stephen A.; MADUSHELE, Nkosinathi; OLATUNJI, Obafemi O. Beyond site suitability: investigating temporal variability for utility-scale solar-PV using soft computing techniques. **Renewable Energy Focus**. V. 39, p. 72-89, 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Base hidrográfica otocodificada multiescalas 2012**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/1a2dfd02-67fd-40e4-be29-7bd865b5b9c5>. Acesso em: 21.07.2022.

AGYEKUM, Ephraim B.; AMJAD, Fahd; SHAH, Liaqat; VELKIN, Vladimir I. Optimizing photovoltaic power plant site selection using analytical hierarchy process and density-based clustering – policy implications for transmission network expansion, Ghana. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. V. 47, 12 pp., 2021.

AL GARNI, Hassan Z.; AWASTHI, Anjali. Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. **Applied Energy**. V. 2016, p. 1225-1240, 2017.

ALHAMMAD, Abdulaziz; SUN, Qian; TAO, Yaguang. Optimal solar plant site identification using GIS and remote sensing: framework and case study. **Energies**. V. 15, 21 pp., 2022.

ASAKEREH, Abbas; SOLEYMANI, Mohsen; SHEIKHDAVOODI, Mohammad J. A GIS-based fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms location: case study in Khuzestan province, Iran. **Solar Energy**. V. 155, p. 342-353, 2018.

BADI, Ibrahim; PAMUCAR, Dragan; GIGOVIC, Ljubomir; TATOMIROVIC, Slavisa. Optimal site selection for siting a solar park using a novel GIS-SWA'TEL model: a case study in Libya. **International Journal of Green Energy**. V. 8, p. 336-350, 2021.

BRASIL. **Lei nº 6.766**, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Disponível em: planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 26 jul. 2022.

_____. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Disponível em: planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 02 mar. 2022.

_____. **Lei nº 14.300**, de 06 de janeiro de 2022. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), altera as Leis nº 10.848 de 15 de março de 2004 e 9.247 de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 07 set. 2022.

____. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia 2030**. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Acesso em 24 mai. 2022.

COLAK, H. E.; MEMISOGLU, Tugba; GERCEK, YASIN. Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: a case study of Malatya Province, Turkey. **Renewable Energy**. V. 149, p. 565-576, 2020.

DAHOOIE, Jalil H.; KASHAN, Ali H.; NAEINI, Zahra S.; VANAKI, Amir S.; ZAVADSKAS, Edmundas K.; TURSKIS, Zenonas. A hybrid multi-criteria-decision-making aggregation method and geographic information system for selecting optimal solar power plants in Iran. **Energies**. V. 15, 20 pp., 2022.

DELIVAND, Mitra Kami; CAMMERINO, Anna R. B.; GAROFALO, Pasquale; MONTELEONE, Massimo. Optimal locations of bioenergy facilities, biomass spatial availability logistics costs and GHG (greenhouse gas) emissions: a case study on electricity productions in South Italy. **Journal of Cleaner Production**. V. 99, p. 129-139, 2015.

DOLJAK, Dejan; STANOJEVIC, Gorica. Evaluation of natural conditions for site selection of ground-mounted photovoltaic power plants in Serbia. **Energy**. V. 127, p. 291-300, 2017.

DOORGA, Jay R. S.; RUGHOPUTH, Soonil D. D. V.; BOOJHAWON, Ravindra. Multi-criteria GIS-based modelling technique for indentifying potential solar farms sites: a case study in Mauritius. **Renewable Energy**. V. 133, p. 1201-1219, 2019.

DOORGA, Jay R. S.; RUGHOPUTH, Soonil D. D. V.; BOOJHAWON, Ravindra. High resolution spatio-temporal modelling of solar photovoltaic for tropical islands: case of Mauritius. **Renewable Energy**. V. 133, p. 1201-1219, 2019 a.

ELBOSHY, Bahaa; ALWETAISHI, Mamdooh; ALY, Reda M. H.; ZALHAF, Amr S. A suitability mapping for the PV solar farms in Egypt based on GIS-AHP to optimize multi-criteria feasibility. **Ain Shams Engineering Journal**. V. 13, 12 pp., 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2021: ano base 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

FANG, Hong; LI, Jing; SONG, Wenyan. Sustainable site selection for photovoltaic power plant: an integrated approach based on prospect theory. **Energy Conversion and Management**. V. 174, p. 755-768, 2018.

FINN, Thomas; MCKENZIE, Paul. A high-resolution suitability index for solar farm location in complex landscapes. **Renewable Energy**. V. 158, p. 520-533, 2020.

FIROZJAEI, Mohammad K.; NEMATOLLAHI, Omid; MIJANI, Naeim; SHORABEH, Saman N.; FIROZJAEI, Hamzeh K.; TOOMANIAN, Ara. An integrated GIS-based ordered weighted averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: current conditions and future planning. **Renewable Energy**. V. 136, p. 1130-1146, 2019.

GASTLI, Adel; CHARABI, Yassine. Solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 14, p. 790-797, 2010.

GEORGIU, Andreas; SKARLATOS, Dimitrios. Optimal site selection for siting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems. **Geoscientific Instrumentation Methods and Data Systems**. V. 5, p. 321-332, 2016.

GHASEMI, Golar; NOOROLLAHI, Younes; ALAVI, Hamed; MARZBAND, Mousa; SHAHBAZI, Mahmoud. Theoretical and technical potential evaluation of solar power generation in Iran. **Renewable Energy**. V. 138, p. 1250-1261, 2019.

GRENNER. Estudo estratégico: geração distribuída 2021 – mercado fotovoltaico. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategicogeracao-distribuida-2021-mercado-fotovoltaico-2-semester/>. Acesso em: 30 set. 2022.

GRIL, G.; LEHNER, B; THIEME, M.; GEENEN, B.; TICKNER, D.; et al. Mapping the world's free-flowing rivers. **Nature**. V. 569, p. 215-221, 2019.

GUNEN, Mehmet. A comprehensive framework based on GIS-AHP for the installation of solar PV farms in Kahramanmaraş, Turkey. **Renewable Energy**. V. 178, p. 212-225, 2021.

GUNEN, Mehmet A. Determination of the suitable sites for constructing solar photovoltaic (PV) power plants in Kayseri, Turkey using GIS-based ranking and AHP methods. **Environmental Science and Pollution Research**. V. 28, p. 27232-57247, 2021 a.

HASHEMIZADEH, A.; JU, Y.; DONG, P. A combined geographical information system and best-worst method approach for site selection for photovoltaic power plant projects. **International Journal of Environmental Science and Technology**. V. 17, p. 2027-2042, 2020.

IBRAHIM, Gaylan R. F.; HAMID, Arieann A.; DARWESH, Umkalthum M.; RASUL, Azad. A GIS-based boolean logic-analytical hierarchy process for solar power plant (case study: Erbil Governatore – Iraq). **Environmet, Development and Sustainability**. V. 23, p. 6066-6083, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/panorama>. Acesso em 26 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Acervo fundiário**. Disponível em: <https://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/acv.php>. Acesso em: 27 jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TOPODATA: Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 24 fev. 2022.

JUNG, Jaehoon; HAN, SangUk; KIM, Byungil. Digital numerical map-oriented estimation of solar energy potential for site selection of photovoltaic solar panels on nation highway slopes. **Applied Energy**. V. 242, p.57-68, 2019.

KANNAN, Devika; MOAZZENI, Sahar; DARMIAN, Sobhan M.; AFRASIABI, Ahmadsreza. A hybrid approach based on MDCM methods and Monte Carlo Simulation for sustainable evaluation of potential solar sites in east of Iran. **Journal of Cleaner Production**. V. 279, 19 pp., 2021.

KATKAR, Venktesh V.; SWARD, Jeffrey A.; WORSLEY, Alex; ZHANG, K. M.; Strategic land use analysis for solar energy Development in New York state. **Renewable Energy**. V. 173, p. 861-875, 2021.

LAREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia. **Dados de irradiação para o estado da Bahia**. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017_BA.html. Acesso em: 27 jan. 2022.

LATINOPOULOS, D.; KECHAGIA, K. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale applications in Greece. **Renewable Energy**. V. 78, p. 550-560, 2015.

LEE, Amy H.; KANG, He-Yau; LIOU, You-Jyun. A hybrid multiple-criteria decision making approach for photovoltaic solar plant location selection. **Sustainability**. V. 9, 21 pp. 2017.

MAHDY, Mostafa; BAHAJ, AbuBakr S. Multi criteria decision analysis for offshore wind energy potential in Egypt. **Renewable Energy**. V. 118, p. 278-289, 2018.

MAJUMDAR, Dabaleena; PASQUALETTI, Martin J. Analysis od land availability for utility-scale power-plants and assessment of solar photovoltaic developpment in the state of Arizona, USA. **Renewable Energy**. V. 134, p. 1213-1231, 2019.

MASSIMO, Angelamaria; DELL'ISOLA, Marco; FRATTOLILLO, Andrea; FICCO, Giorgio. Development of a geographical information system (GIS) for the integration of solar energy in the energy planning of a wide area. **Sustainability**, V. 6, p. 5730-5744, 2014.

MENSOUR, O. N.; GHAZZANI, B. El; HLIMI, B.; IHLAL, A. A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms location: a case study in Souss-Massa area, Southern Morocco. **Energy**. V. 182, p. 900-919, 2019.

MERROUNI, Ahmed A.; ELALAOUI, Fakhreddine E.; MEZRHAB, Ahmed; MERZHAB, Abdelhamid; GHENNIQUI, Abdellatif. Large scale PV sites seleciton by combine GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco. **Renewable Energy**. V. 119, p. 863-873, 2018.

NOOROLAHI, Ehsan; FADAI, Dawud; SHIRAZI, Mohsen A.; GHODSIPOUR, Seyed H. Land suitability analysis for solar farms exploitation using GIS and Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) – a case study of Iran. **Energies**. V. 9, 24 pp. 2016.

NOOROLAHI, Younes, SENANI, Ali G.; FADAEI, Ahmad; SIMAEE, Mobina; MOLTAMES, Rahim. A framework for GIS-based site selection and technical potential evaluation of PV solar farm using fuzzy-boolean logic and AHP multi-criteria decision-making approach. **Renewable Energy**. V. 186, p. 89-104, 2022.

O'HANLEY, Jesse R.; POMPEU, Paulo S.; LOUZADA, Marina; ZAMBALDI, Ludmilla P.; KEMP, Paul S. Optimizing hydropower dam location and removal in the São Francisco river basin, Brazil to balance hydropower and river biodiversity tradeoffs. **Landscape and Urban Planning**. V. 195, 9 p., 2020.

OUCHANI, Fatima-zahra; JBAIHI, Ouafae; MAAROUFI, Mohammed; GHENNIQUI, Abdellatif. Identification of suitable sites for large-scale photovoltaic installations through a geographic information system and analytical hierarchy process combination: a case study in Marrakesh-Safi region, Morocco. **Progress in Photovoltaics Res. Appl.** p.1-11, 2020.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L. de; RÜTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L. de; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Sílvia V.; SOUZA, Jefferson G. de. **Atlas brasileira de energia solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017, 80p.

PIETROSEMOLI, Licia; RODRÍGUEZ-MONROY, Carlos. The venezuelan energy crisis: renewable energies in the transition towards sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 105, p. 415-426, 2019.

Projeto Mapbiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra no Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 20 mar. 2022.

REDISKE, Graciele; SILUK, Julio C. M.; MICHELS, Leandro; RIGO, Paula D.; ROSA, Carmen B.; CUGLER, Gilberto. Multi-criteria decision-making model for assessment of large photovoltaic farms in Brazil. **Energy**. V. 197, 16 pp. 2020.

RIOS, R.; DUARTE, S. Selection of ideal sites for the Development of large-scale solar photovoltaic projects through analytical hierarchical processes – geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 149, 17 pp., 2021.

ROGNA, Marco. A first-phase screening method for site selection of large-scale solar plants with an applications to Italy. **Land Use Policy**. V. 99, 12 pp., 2020.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**. V. 15, p. 234-281, 1977.

_____. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**. V. 48, p. 9-26, 1990.

_____. Relative measurements and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factor the analytic hierarchy/network process. **Ver. R. Acad. Serie A. Mat.** V. 102, p. 251-318, 2008.

SAMANLIOGLU, Funda; AYAG, Zeki. A fuzzy AHP-PROMETHEE II approach for evaluation of solar power plant location alternatives in Turkey. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**. V. 33, p. 859-871, 2017.

SÁNCHEZ-LOZANO, Juan M.; ANTUNES, Carlos H.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; DIAS, Luis C. Gis-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: evaluating case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain. **Renewable Energy**. V. 66, p. 478-494, 2014.

SARMIENTO, Francisco S.; VERA, Francisca R. A.; PÉREZ, Petra de S. The competitive value of territorial resources for photovoltaic energy on the island of Gran Canaria. **Island Studies Journal**. V. 12, n. 1, p. 223-241, 2017.

SETTOU, Belkhir; SETTOU, Noureddine; GOUAREH, Abderrahmane; NEGROU, Belkhir; MOKHTARA, Charafeddine; MESSAOUDI, Djilali. A high-resolution geographic information system-analytical hierarchy process-based method for solar

PV power plant site selection: a case study Algeria. **Clean Technologies and Environmental Policy**. V 23, p. 219-234, 2020.

SETTOU, Belkhir; SETTOU, Nouredine; GAHRAR, Youcef; NEGROU, Belkhir; BOUFERROUK, Abdessalem; GOUAREH, Abderrahmane;; MOKHTARA, Charafeddine. Geographic information-driven two-stage optimization model for location decision of solar power plant: a case study of an Algerian municipality. **Sustainable Cities and Society**. V. 77, 16 pp., 2022.

SHORABEH, Saman N.; FIROZJAEI, Mohammad K.; NEMATOLLAHI, Omid; FIROZJAEI, Hamzeh K.; JELOKHANI-NIARAKI, Mohammadreza. A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in diferente climates: a case study in Iran. **Renewable Energy**. V. 143, p. 958-973, 2019.

SOLANGI, Yasir A.; SHAH, Syed A. A.; ZAMEER, Hashim; IKRAM, Muhammad; SARACOGLU, Burak O. Assesing the solar PV Project site selection in Pakistan: based on AHP-fuzzy Vikor approach. **Environmental Science and Pollution Research**. V. 26, p. 30286-30302, 2019.

SPERLING, Eduardo Von. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**. V. 18, p. 110-118, 2012.

SUH, Jangwon; BROWNSON, Jeffrey R. S. Solar farm suitability using geografic information system fuzzy sets and analytic hierarchy process: case study of Ulleung Island, Korea. **Energies**. V. 9, 24 pp. 2016.

SUN, Lijian; JIANG, Yuncheng; GUO, Quingsheng; JI, Ling; XIE, Yulei; QIAO, Qinhua; HUANG, Guohe; XIAO, Kun. A GIS-based multi-criteria decision making method for the potential assessment and suitable sites selection of PV and CSP plants. **Resouces, Conservation & Recycling**. V. 168, 13 pp., 2021.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA (SEI-BA). **Consulta banco de dados**. Disponível em: <http://sim.sei.ba.gov.br/side/tv.wsp?tmp.codpai=sg14>. Acesso em 30 set. 2022.

SUURONEN, Anna; LENSU, Anssi; KUITUNEN, Markku; ANDRADE-AVELAR, Rodrigo; CELIS, Natalia G.; MIRANDA, Marcelo; PEREZ, Marcelo; KUKKONEN, Jussi V. K. Optimization of photovoltaic solar power plant locations in Northern Chile. **Environmental Earth Sciences**. V. 76, 14 pp. 2017.

TERCAN, Emre; EYMEN, Abdurrahman; URFALI, Tugrul; SARACOGLU, Burak O. A sustainable framework for spatial planning of photovoltaic solar farms using GIS and multi-criteria assessment approach in Central Anatolia, Turkey. **Land Use Policy**. V. 102, 14 pp., 2021.

THANH, Nguyen; LAN, Nguyen T. K. Solar energy deployment for the sustainable future of Vietnam: hybrid SWOC-FAHP-WASPAS analysis. **Energies**. V. 15, 11 pp., 2022.

TÜRK, Seda; KOÇ, Ahmet; SAHIN, Gökhan. Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province / Turkey. **Scientifi Reports**. V. 11, 23 pp., 2021.

VAGIONA, Dimitra G. Comparative multicriterial analysis methods for ranking sites for solar farm deployment: a case study in Greece. **Energies**. V. 14, 23 pp., 2021.

VILLACRESES, Geovanna; MARTÍNEZ-GÓMEZ, Javier; JIJÓN, Diego; CORDOVEZ, Martin. Geolocation of photovoltaic farms using geographic information systems (GIS) with multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: case of the ecuadorian energy regulation. **Energy Reports**. V. 8, p. 3526-3548, 2022.

VITKOVSKA, Liubov Y.; PERESUNKO, Bohdan; WYCZALEK, Ireneusz; PAPIS, Joanna. Site selection for solar power plant in Zaporizhia city (Ukraine). **Geodesy and Cartography**. v. 69, n. 1, p. 97-116, 2020.

VRINCEANU, Alexandra; DUMITRASCU, Monica; KUCSICSA, Gheorghe. Site suitability for photovoltaic farms and current investment in Romania. **Renewable Energy**. V. 187, p. 320-330, 2022.

WATSON, Joss J. W.; HUDSON, Malcolm. Regional scale wind farm and solar farm suitability assessment using GIS-assisted multi-criteria evaluation. **Landscape and Urban Planning**. V. 138, p. 20-31, 2015.

XIAO, Jianhua; YAO, Zhengyi; QU, Jianjun; SUN, Jiahuan. Research on an optimal site selection model for desert photovoltaic power plants based on analytic process and geographic information system. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**. V. 5, 15 pp. 2013.

YOUSEFI, Hossein; HAFEZNIA, Hamed; YOUSEFI-SAHZABI, Amin. Spatial site selection for solar power plants using a GIS-based boolean-fuzzy logic model: a case study of Markazi Province, Iran. **Energies**. V. 11, 18 pp. 2018.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**. V. 8, p. 338-353, 1965.

ZAMBRANO-ASANZA, S.; QUIROS-TORTOS, J.; FRANCO, John F. Optimal site selection for photovoltaic power plants using a GIS-based multi-criteria decision making and spatial overlay with electric load. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 143, 16 pp., 2021.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O uso de combustíveis fósseis na produção de energia elétrica mostra-se um problema na medida que contribui sensivelmente para o agravamento do aquecimento global. Além disso, motivados por questões econômicas, como as crises do petróleo ocorridas a partir da década de 1970, muitos países, incluindo países emergentes como o Brasil, passaram a incentivar a produção de eletricidade a partir das fontes renováveis.

A matriz elétrica brasileira, apesar de contar com forte presença das fontes renováveis, apresenta grande dependência da fonte hidráulica o que leva ao acionamento das térmicas movidas por fontes fósseis, para manter a produção de eletricidade nos períodos de forte estiagem. O incremento da participação das fontes renováveis na matriz elétrica mostra-se estratégico para o desenvolvimento social e econômico do país, além de ser fundamental para a conservação do meio ambiente.

De acordo com o Plano Decenal de Energia 2030, a demanda por energia deve-se manter em crescimento constante nos próximos anos, com a expectativa para o crescimento das fontes renováveis na matriz elétrica nacional, sobretudo da energia fotovoltaica. Dessa maneira faz-se necessário a organização dos entes políticos para a elaboração e implementação de políticas para atrair investimentos no setor.

O mapeamento do potencial de geração de energia elétrica para as mais variadas fontes, é um passo fundamental para estabelecer a melhor estratégia para aproveitá-lo. Entretanto, a maioria dos estudos para orientar as políticas públicas no Brasil, estão em uma escala geográfica abrangente sendo, portanto, limitadas para aplicação nas escalas municipal e local (i.e., de projetos) entendimento do potencial gerador na localidade em que se pretende estabelecer o empreendimento de geração.

Verificamos também, que embora existam políticas de incentivo à inserção de energias renováveis no Brasil, elas se caracterizam por serem prioritariamente políticas de governo e não de Estado. Além disso, não existem critérios normativos técnicos específicos que orientem o aproveitamento de forma sustentável das fontes de energia, sendo esta tarefa, em grande medida, orientada pelas normas de

licenciamento ambiental, o qual ocorre geralmente pela ação de autoridades locais, sem padronização e replicabilidade.

Este estudo contribui com um modelo de mapeamento do potencial geração de energia fotovoltaica com aplicação nas escalas local e municipal. O modelo foi desenvolvido e aplicado no município de Vitória da Conquista, podendo ser replicado em outros municípios do Brasil. O mapeamento aponta áreas restritas com base em regras booleanas; o potencial com base na técnica AHP, conjugada com o modelamento Fuzzy, indicando um gradiente de potencial de baixo a excelente. De acordo com o método aplicado, o município de Vitória da Conquista tem 17% da sua área com potencial alto ou excelente para geração fotovoltaica.

Ante o exposto, sugerimos como recomendações:

- i) A realização de estudos de potencial de geração em escala municipal, para as outras fontes de geração elétrica renovável, como forma de embasamento para a elaboração de políticas públicas para atração de investimentos. Tais estudos, precisam ser estruturados e organizados pelo poder público, em parceria com as instituições de pesquisa. As técnicas AMD desenvolvidas nesta pesquisa têm o potencial para serem aplicadas a outras fontes de energia renovável, e são flexíveis para usar variáveis locais na modelagem;
- ii) Integrar a União, Estados e Municípios na elaboração das políticas estruturais do setor energético. Desta maneira, as variáveis locais poderão ser contempladas na avaliação do potencial de geração de energia.
- iii) Transformar as políticas de incentivo às fontes renováveis, em políticas de Estado como forma de garantir que mudanças de governo, não interfiram no planejamento do setor;
- iv) Definir normativas técnicas que orientem o aproveitamento das fontes energéticas, especialmente os parâmetros que devem ser observados para que a geração seja possível. Esses limites, uma vez definidos, devem ser seguidos na avaliação do licenciamento ambiental;

v) No caso específico de Vitória da Conquista, orientamos o poder público local a elaborar políticas de incentivo para implantação de usina fotovoltaica nas áreas consideradas de potencial excelente e/ou alto, como forma de dinamizar a economia, bem como de contribuir com a ampliação da diversificação da matriz elétrica nacional.